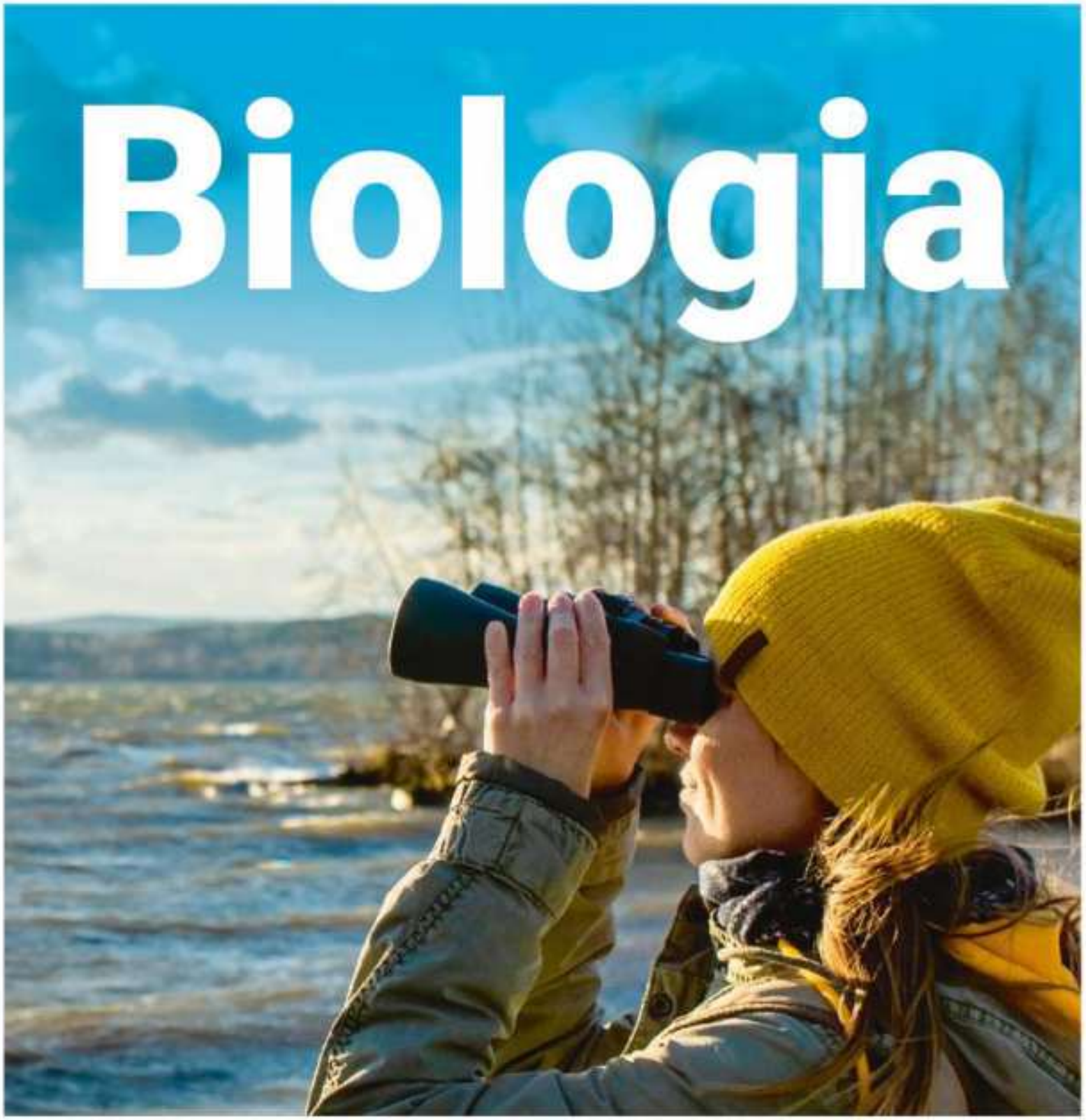
OPERON
Edukacja jest podróżą

ZAKRES ROZSZERZONY

Biologia



Zmiana MEN 2024

Oznaczono usunięte i zmienione treści

3

Podręcznik dla **szkół ponadpodstawowych**

Beata Jakubik

Renata Szymańska

Biologia

Podręcznik dla **szkół ponadpodstawowych**

3

ZAKRES ROZSZERZONY

OPERON
Edukacja jest podróżą

2023

Projekt okładki: Paweł Kwacz
Redaktor prowadzący: Izabela Kulaszewicz
Redakcja językowa: Marlena Dobrowolska, Monika Turała
Redakcja graficzna i skład: Andrzej Puzyński, Roman Osiński
Fotoedycja: Marta Jasińska
Korekta techniczna: Marlena Dobrowolska

Zdjęcia: BE&W, Shutterstock, Wikipedia/CC

OPERON Sp. z o.o. oświadcza, że z należytą starannością podjął wszelkie działania zmierzające do powiadomienia podmiotów majątkowych praw autorskich do utworów słownych i fotograficznych wykorzystanych w podręczniku o zamiarze ich publikacji celem uzyskania od twórców lub ich następców prawnych wymaganej zgody za przysługującym wynagrodzeniem w stosownej wysokości. Osoby, których prawa w sposób niezawiniony przez wydawnictwo zostały naruszone, prosimy o bezpośredni kontakt z wydawcą.

Podręcznik dopuszczony do użytku szkolnego przez ministra właściwego do spraw oświaty i wychowania i wpisany do wykazu podręczników przeznaczonych do kształcenia ogólnego do nauczania biologii w zakresie rozszerzonym na poziomie szkoły ponadpodstawowej, na podstawie opinii rzeczoznawców: prof. dr. hab. Jacka Bieleckiego, dr Marii Pedryc-Wrony, prof. dr. hab. Piotra Zbróga.
Etap edukacyjny: III
Typ szkoły: szkoła ponadpodstawowa
Rok dopuszczenia: 2021
Numer dopuszczenia: 1056/3/2021

© Copyright by OPERON Sp. z o.o. & Beata Jakubik, Renata Szymańska
Gdynia 2021
Wszelkie prawa zastrzeżone. Kopiowanie w całości lub we fragmentach bez zgody wydawcy zabronione.
N7337

Wydawca:
OPERON Sp. z o.o.
81-212 Gdynia, ul. Hutnicza 3
tel. centrali 58 679 00 00
e-mail: info@operon.pl
www.operon.pl

ISBN 978-83-8197-114-0

05/23/V/AH80

Zgodnie z decyzją MEN od września 2024 r. obowiązuje zmieniona, uszczuplona o ok. 20% podstawa programowa. W związku z tym **w podręczniku znalazły się stosowne oznaczenia**.

Takim symbolem oznaczono treści usunięte z podstawy programowej.

Takim symbolem oznaczono treści, które zostały zmienione. Nauczyciel przedstawi uczniowi zmiany i wyjaśni, czego powinien się nauczyć.

Spis treści

I. Różnorodność zwierząt

1. Klasyfikacja zwierząt ... 8
2. Gąbki – wielokomórkowe zwierzęta beztkankowe ... 15
3. Parzydełkowce – tkankowe zwierzęta dwuwarstwowe o symetrii promienistej ... 19
4. Płazińce – robaki płaskie o dwubocznej symetrii ciała ... 25
5. Wrotki i nicienie – zwierzęta z drożnym przewodem pokarmowym ... 31
6. Pierścienice – segmentowane zwierzęta z wtórną jamą ciała ... 37
7. Stawonogi – najliczniejsza grupa zwierząt ... 43
8. Mięczaki – bezkręgowce o najbardziej zróżnicowanych rozmiarach ciała ... 54
9. Szkarłupnie – zwierzęta wtórouste o symetrii promienistej ... 65
10. Charakterystyka strunowców ... 70
11. Różnorodność i przegląd systematyczny kręgowców ... 77

II. Funkcjonowanie zwierząt

1. Hierarchiczna struktura ciała zwierząt ... 104
2. Hierarchiczna organizacja budowy zwierząt ... 125
3. Sposoby odżywiania się zwierząt ... 131
4. Rola składników odżywczych w funkcjonowaniu organizmu ... 139
5. Rola witamin i minerałów w diecie ... 145
6. Zasady zdrowego żywienia ... 151
7. Budowa i funkcje układu pokarmowego ... 153
8. Dodatkowe narządy układu pokarmowego. Trawienie i wchłanianie substancji odżywczych ... 161
9. Zaburzenia funkcjonowania układu pokarmowego oraz jego profilaktyka ... 167
10. Budowa i funkcje układu odpornościowego ... 176
11. Zaburzenia funkcjonowania układu odpornościowego ... 192
12. Wymiana gazowa ... 197
13. Układ oddechowy człowieka ... 207
14. Transport gazów oddechowych ... 218
15. Transport wewnętrzny zwierząt ... 225
16. Serce człowieka i krążenie krwi ... 233
17. Bilans wodny zwierząt ... 246
18. Ewolucja narządów wydalniczych zwierząt ... 253
19. Budowa i działanie układu moczowego człowieka ... 257
20. Regulacja dokrewna u zwierząt ... 266
21. Budowa i funkcje układu hormonalnego człowieka ... 272
22. Fizjologiczna rola hormonów ... 278
23. Regulacja nerwowa u zwierząt ... 284
24. Przekazywanie informacji w układzie nerwowym ... 291
25. Budowa układu nerwowego ... 299
26. Percepcja zmysłowa u zwierząt ... 307
27. Budowa i funkcje receptorów człowieka ... 317
28. Choroby układu nerwowego ... 328
29. Sposoby poruszania się zwierząt ... 335
30. Układ ruchu – przekształcenie pracy mięśnia w poruszanie się ... 346
31. Układ ruchu człowieka ... 358
32. Pokrycie ciała u zwierząt ... 375
33. Funkcje skóry u zwierząt ... 382
34. Strategie rozrodcze zwierząt ... 388
35. Cykl życiowy zwierząt ... 396
36. Układ rozrodczy męski ... 404
37. Budowa i funkcjonowanie żeńskiego układu rozrodczego. Gametogeneza ... 408
38. Rozwój prenatalny człowieka ... 418
39. Choroby i profilaktyka układu rozrodczego ... 427
40. Wzrost i starzenie się człowieka ... 431
Indeks ... 471

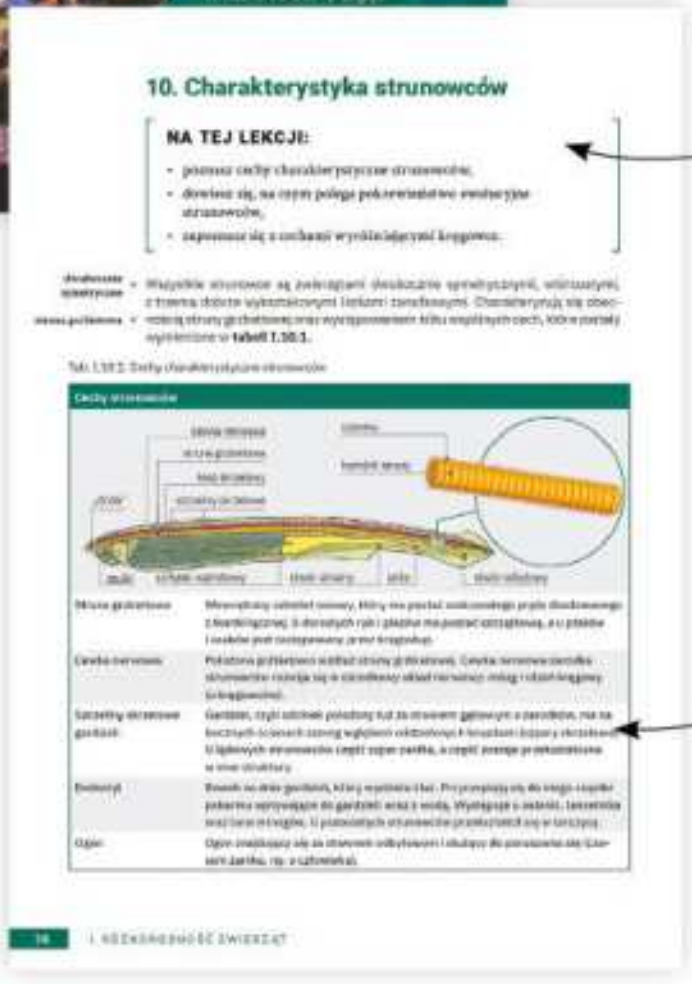
Wstęp

Jak jest zbudowany nasz podręcznik

Podręcznik pozwala na pełne wykorzystanie nowoczesnych metod dydaktycznych w nauczaniu biologii.

Zanim zaczniecie korzystać z podręcznika, zapoznajcie się z jego budową i przyjrzyjcie się wszystkim jego elementom. Zostały one skonstruowane tak, by ułatwić wam naukę i pomóc w błyskawicznym znalezieniu potrzebnych informacji.

Każdy dział podręcznika otwiera **spis tematów** z danego obszaru.



Bezpośrednio pod tytułem rozdziału znajdziecie moduł **„Na tej lekcji”** – jego zadaniem jest ukierunkowanie was na cele realizowane w danym temacie.

Tabele pomogą wam usystematyzować wiedzę.

Przystępny język publikacji ułatwi wam zrozumienie treści i pozytywnie nastawi was do powtarzanego materiału. W tekście pojawiają się wytłuszczenia – dzięki nim łatwiej odnajdziecie najistotniejsze zagadnienia, pojęcia i nazwy.

Hasła na marginesach to treści obowiązkowe do zapamiętania z lekcji. Zostaną powtórzone w podsumowaniu lekcji. Pozostałe ważne hasła zapisano szarym kolorem.

Objaśnienia terminów niewyróżnionych w tekście znajdziecie w poprzednich tomach.

Podsumowanie przed sprawdzianem zawiera najważniejsze treści do zapamiętania z działu. Jeśli ich nie pamiętacie, wróćcie na stronę wskazaną obok i poszukajcie hasła na marginesie.

Zadania do rozwiązania przećwiczycie w toku lekcji lub wykorzystacie do nauki w domu albo przed kartkówką czy sprawdzianem.

Uwaga: odpowiedzi do zadań wymagających pisemnego rozwiązania zapiszcie w zeszycie.

Podsumowanie lekcji to esencja najważniejszych treści do zapamiętania. Jeśli ich nie pamiętacie, wróćcie na stronę wskazaną obok. Znajdziecie tam na marginesie odpowiednie hasło, a w treści lekcji – jego omówienie.

1. Klasyfikacja zwierząt
2. Gąbki – wielokomórkowe zwierzęta beztkankowe
3. Parzydełkowce – tkankowe zwierzęta dwuwarstwowe o symetrii promienistej
4. Płazińce – robaki płaskie o dwubocznej symetrii ciała
5. Wrotki i nicienie – zwierzęta z drożnym przewodem pokarmowym
6. Pierścienice – segmentowane zwierzęta z wtórną jamą ciała

I. Różnorodność zwierząt

7. Stawonogi – najliczniejsza grupa zwierząt
8. Mięczaki – bezkręgowce o najbardziej zróżnicowanych rozmiarach ciała
9. Szkarłupnie – zwierzęta wtórouste o symetrii promienistej
10. Charakterystyka strunowców
11. Różnorodność i przegląd systematyczny kręgowców

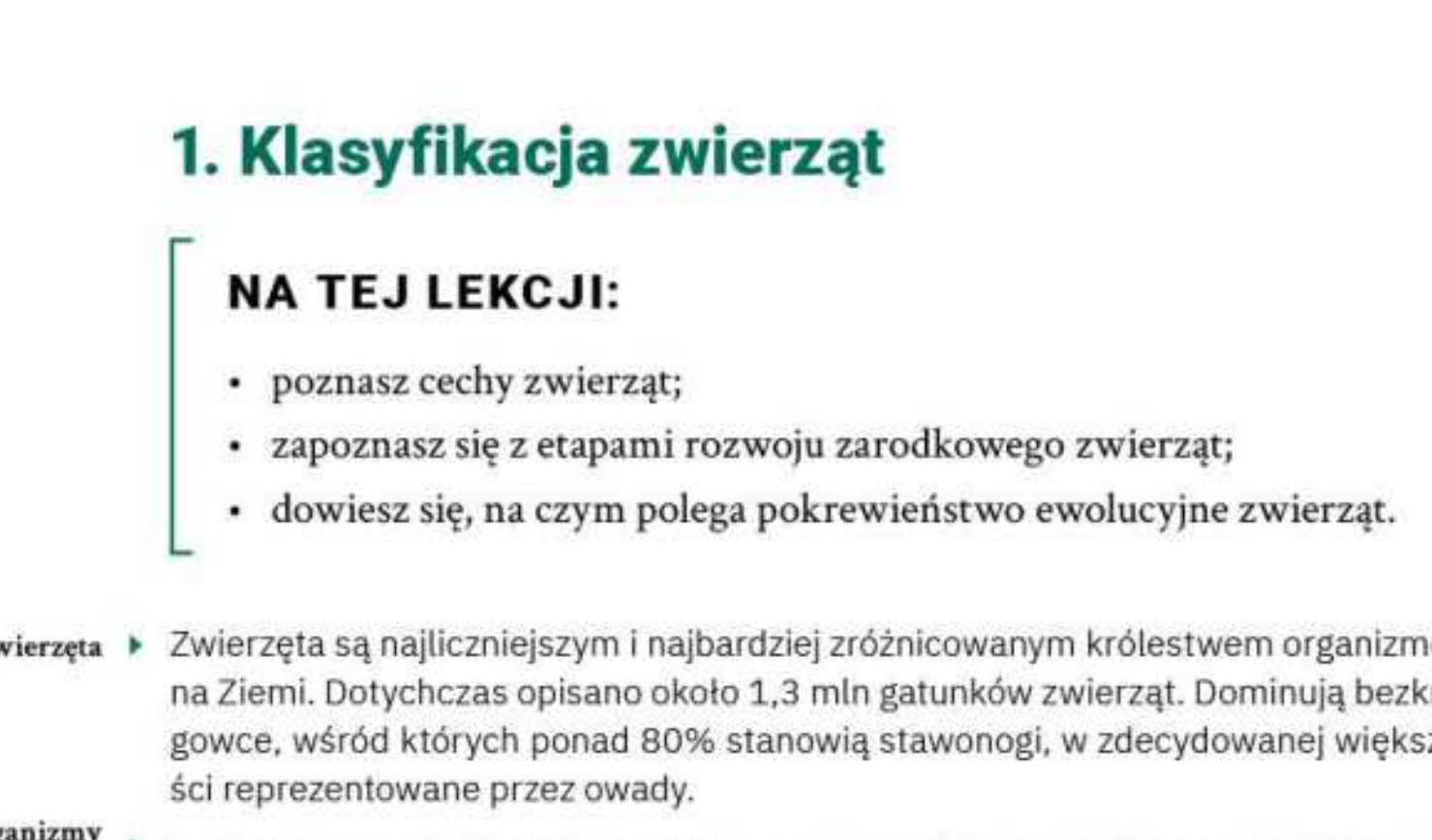
1. Klasyfikacja zwierząt

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz cechy zwierząt;
- zapoznasz się z etapami rozwoju zarodkowego zwierząt;
- dowiesz się, na czym polega pokrewieństwo ewolucyjne zwierząt.

zwierzęta ▸ Zwierzęta są najliczniejszym i najbardziej zróżnicowanym królestwem organizmów na Ziemi. Dotychczas opisano około 1,3 mln gatunków zwierząt. Dominują bezkręgowce, wśród których ponad 80% stanowią stawonogi, w zdecydowanej większości reprezentowane przez owady.

organizmy heterotroficzne ▸
komórki zwierząt ▸ Zwierzęta są wielokomórkowymi organizmami heterotroficznymi zdolnymi do aktywnego ruchu. W odróżnieniu od roślin i grzybów ich komórki są pozbawione ściany komórkowej i chloroplastów. Materiałem zapasowym u zwierząt jest glikogen. W większości zwierzęta (z wyjątkiem gąbek) są zbudowane z tkanek. Mają układy mięśniowy i nerwowy, które nie występują u przedstawicieli innych królestw. Przypuszcza się, że królestwo zwierząt pochodzi od wspólnego przodka – kolonijnych wiciowców (**ryc. I.1.1.**).



Ryc. I.1.1. Schemat drzewa filogenetycznego zwierząt.

Większość zwierząt należy do kladu *Eumetazoa* – tkankowców właściwych. Poza parzydełkowcami są to zwierzęta dwubocznie symetryczne. Lofotrochowce to m.in. płazińce, wrotki, mięczaki i pierścienice, u których występuje wieniec orzęsionych czułków ułatwiających pobieranie pokarmu lub larwa – trochofora. Do wylinkowców zaliczamy nicienie i stawonogi oraz kilka innych typów. Zwierzęta te wytworzyły sztywny pancerz zewnętrzny i twarde okrywy, które zrzucają w miarę wzrostu w procesie linienia. Wtórouste obejmują szkarłupnie i strunowce.

Pokrewieństwa ewolucyjne opierają się na następujących kryteriach:

1. Obecność lub brak tkanek

Wszystkie zwierzęta (z wyjątkiem gąbek) mają ciało zbudowane z tkanek. Podstawowe tkanki budujące ciało zwierząt to tkanka nabłonkowa, mięśniowa, łączna i nerwowa. Tkanki łączą się w zespoły tworzące narządy. Układy narządów wyspecjalizowały się w pełnieniu szeregu funkcji życiowych, takich jak odżywianie, oddychanie, wydalanie, rozmnażanie czy reagowanie na bodźce. Natomiast ciało gąbek stanowią komórki wyspecjalizowane w pełnieniu poszczególnych funkcji życiowych. Ze względu na to kryterium gąbki są zwierzętami **beztkankowymi**, a pozostałe to zwierzęta **tkankowe**.

2. Liczba warstw komórek, z których jest zbudowany zarodek, tzw. listków zarodkowych

Listki zarodkowe powstają podczas rozwoju zarodkowego zwierząt. Utworzona w wyniku zapłodnienia **zygota** ulega podziałom. Od tego momentu rozpoczyna się rozwój zarodkowy organizmu potomnego. Początkowy etap tego rozwoju przed rozpoczęciem tworzenia narządów (**organogeneza**) przebiega podobnie u wszystkich zwierząt tkankowych.

◂ **listki zarodkowe**
◂ zygota

Etapy rozwoju zarodkowego zwierząt są następujące:

◂ **etapy rozwoju zarodkowego**

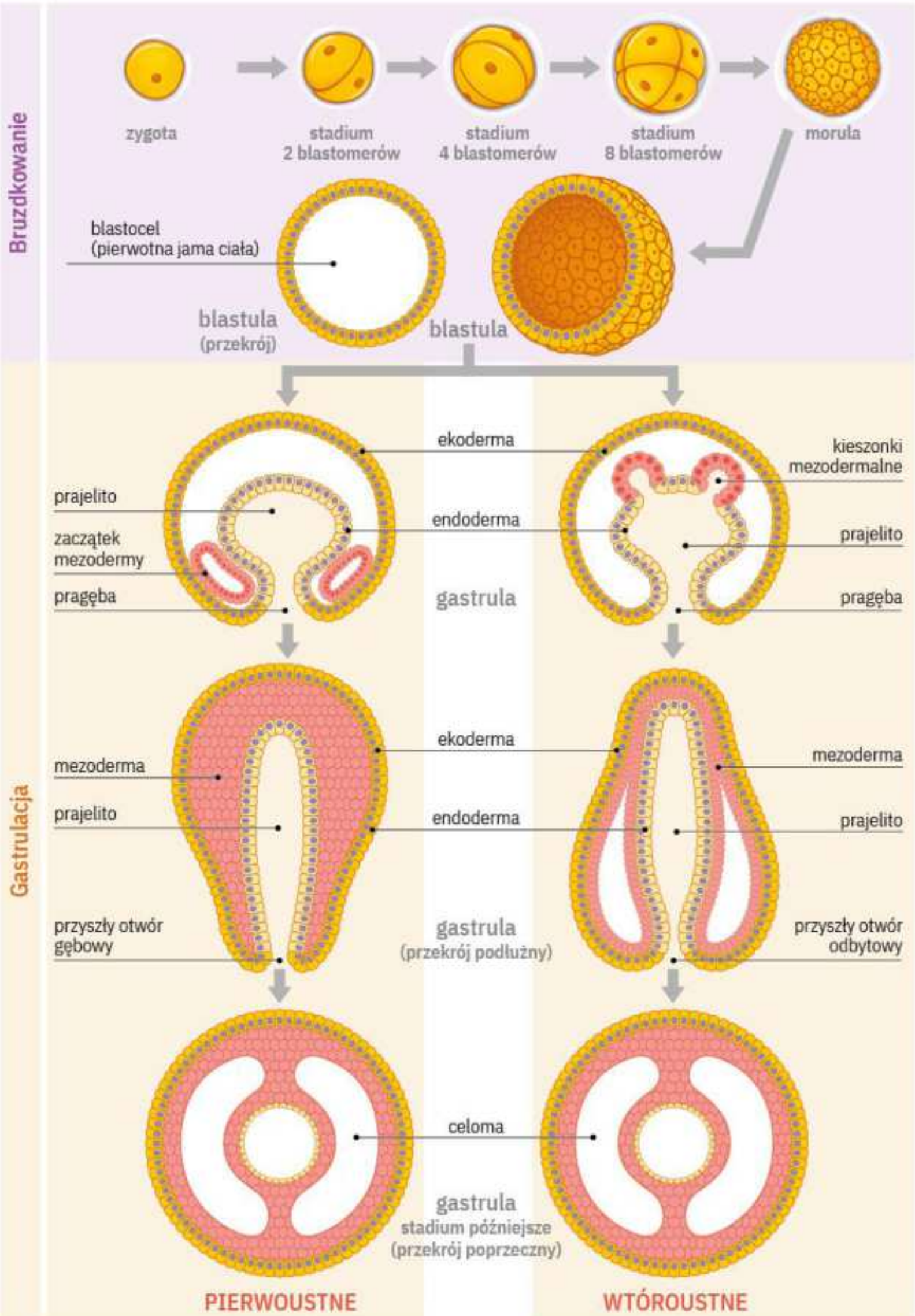
- **bruzdkowanie**, podczas którego zapłodnione jajo (zygota) dzieli się mitotycznie. W wyniku tego podziału powstają komórki potomne – **blastomery**.

  Efektem wielokrotnych podziałów zygoty jest powstanie **moruli**. W wyniku przesuwania się blastomerów tworzy się między nimi przestrzeń wypełniona płynem komórkowym. Formuje się **blastula** – pęcherzyk, którego ściana składa się z jednej warstwy komórek otaczających jamę blastuli – **blastocel** (**pierwotną jamę ciała**).

◂ blastula

- **gastrulacja**, podczas której w wyniku przemieszczania się powierzchniowej warstwy komórek do wnętrza blastuli powstaje **gastrula**. Wykształcone w ten sposób wpuklenie to prajelito zarodka, które otwiera się na zewnątrz otworem – pragębą. Zarodek zbudowany jest z dwóch warstw komórek zwanych także **listkami zarodkowymi**: zewnętrznej **ektodermy** i wewnętrznej **endodermy**. Na etapie dwóch listków zarodkowych zatrzymały się w rozwoju współczesne gąbki oraz parzydełkowce. Są to zwierzęta **dwuwarstwowe** (**ryc. I.1.2.**).

◂ **gastrulacja**
◂ gastrula



Ryc. I.1.2. Schemat początkowych etapów rozwoju zarodkowego zwierząt.

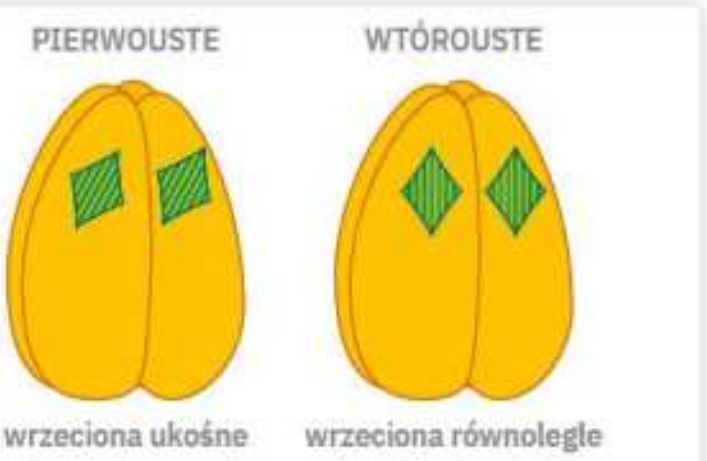
- powstanie **mezodermy** – **trzeciego listka zarodkowego** między ektodermą i endodermą, które prowadzi do wykształcenia się zwierząt **trójwarstwowych**. Mezoderma tworzy się w odmienny sposób w dwóch grupach rozwojowych zwierząt: **pierwoustych** (**bezkręgowce bez szkarłupni**) i **wtóroustych** (**szkarłupnie i strunowce**) (**ryc. I.1.2.**). U zwierząt pierwoustych mezoderma powstaje poprzez wędrowanie określonych blastomerów ektodermy między warstwę ektodermy i endodermy. Wykształca się wówczas **mezenchyma** – warstwa, która występuje u prymitywnych zwierząt trójwarstwowych (płazińców i nicieni). W innym wypadku mezoderma może powstać ze specjalnych komórek. Dzieląc się, tworzą one pęcherzyki, w których różnicuje się wtórna jama ciała (**celoma**). Taki sposób powstawania mezodermy występuje u pierścienic, stawonogów i mięczaków. U zwierząt wtóroustych mezoderma jest efektem wpuklenia do pierwotnej jamy ciała części komórek prajelita w postaci dwóch woreczków, wewnątrz których znajduje się wtórna jama ciała. Wykształcenie listków zarodkowych rozpoczyna organogenezę, czyli wytworzenie narządów, i histogenezę – wytworzenie tkanek. U wszystkich zwierząt tkanki i narządy powstają z tych samych listków zarodkowych.

zwierzęta pierwouste i wtórouste

celoma

3. Sposób wykształcenia otworu gębowego i odbytowego

U zwierząt pierwoustych pragęba przekształca się w otwór gębowy, a otwór odbytowy powstaje na przeciwległym biegunie ciała. U zwierząt wtóroustych pragęba przekształca się w otwór odbytowy, a otwór gębowy powstaje wtórnie na drugim biegunie ciała. Różnice między tymi grupami zwierząt wynikają także ze sposobu bruzdkowania (**ryc. I.1.3.**).



Ryc. I.1.3. Różnice w bruzdkowaniu u zwierząt pierwoustych i wtóroustych.

U pierwoustych bruzdkowanie zachodzi spiralnie – wrzeciona kariokinetyczne dzielących się komórek ustawiają się skośnie do osi blastomerów. Losy blastomerów są na wczesnym etapie zdeterminowane – dają one początek określonym tkankom, a następnie narządom. Bruzdkowanie u wtóroustych jest natomiast promieniste, co oznacza, że wrzeciona kariokinetyczne przebiegają równolegle i prostopadle do osi łączącej oba bieguny zarodka. U tych zwierząt rozwój blastomerów w określone tkanki następuje później.

bruzdkowanie

4. Rodzaje jam ciała

jamy ciała

Jama ciała – przestrzeń w ciele zwierząt, która tworzy się w rozwoju zarodkowym między ektodermą, endodermą i mezodermą. Jest wypełniona płynem, który może pełnić funkcję szkieletu hydraulicznego. U zwierząt dwuwarstwowych wykształca się pierwotna jama ciała, a u trójwarstwowych – wtórna jama ciała, nazywana celomą. Jej obecność decyduje o podziale zwierząt na:

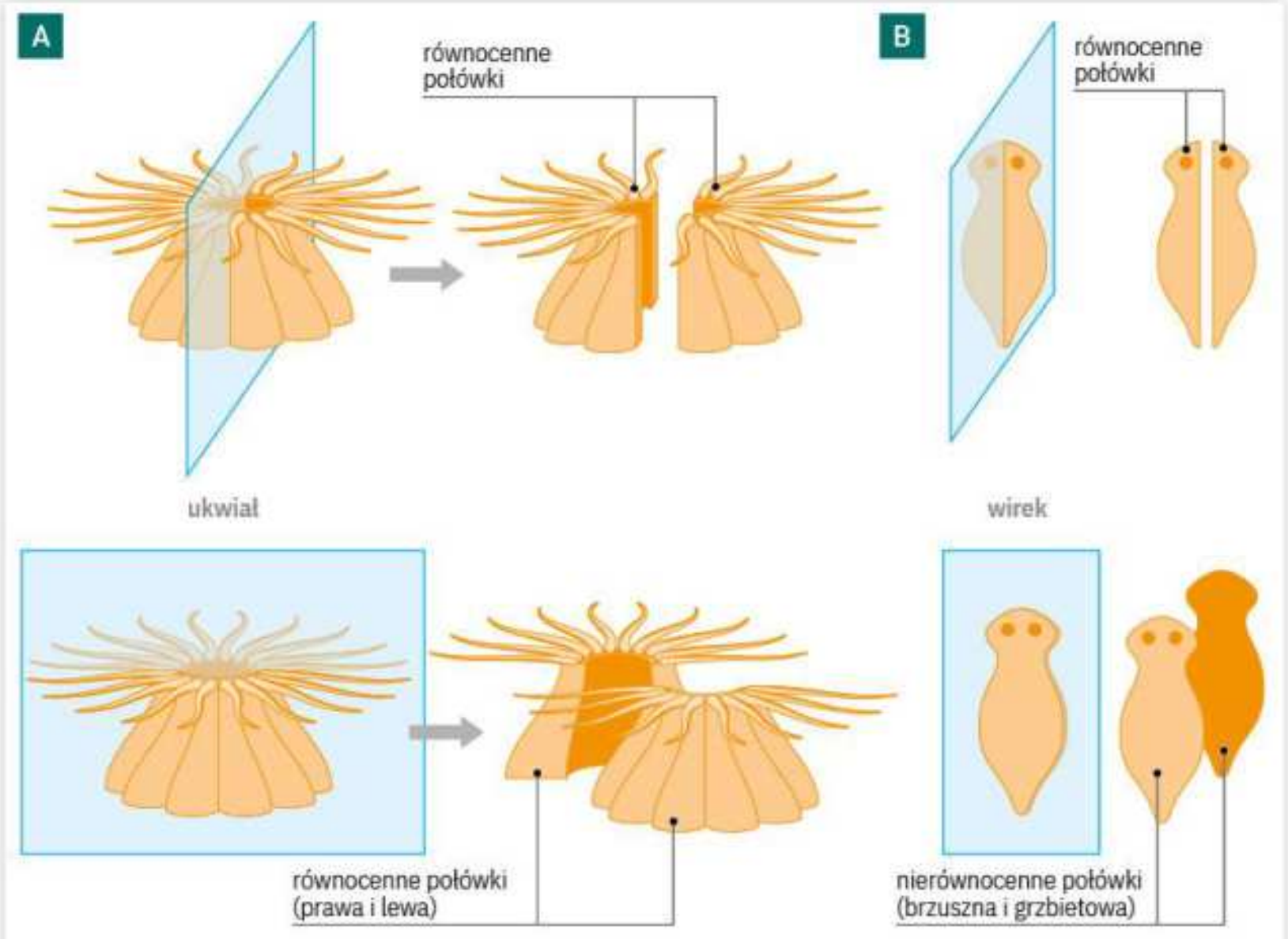
- **acelomatyczne**, pozbawione jamy ciała — wnętrze między ektodermą i endodermą jest wypełnione mezodermą (np. płazińce);

- **pseudocelomatyczne**, u których pierwotna jama ciała powstaje z blastocelu i naśladuje pod względem funkcji wtórną jamę ciała — celomę (np. nicienie);
- **celomatyczne**, z wtórną jamą ciała (pierścienice, stawonogi, mięczaki, szkarłupnie, strunowce).

symetria ciała

5. Rodzaje symetrii ciała

Symetria promienista występuje, jeśli przez ciało zwierzęcia można przeprowadzić kilka płaszczyzn symetrii prostopadle do osi ciała. Połowa ciała zwierzęcia wyznaczona przez płaszczyznę symetrii stanowi lustrzane odbicie drugiej połowy. Wiele zwierząt promieniście symetrycznych prowadzi osiadły tryb życia (spodem ciała są przytwierdzone do podłoża). W związku z tym mają one niewielkie szanse na ucieczkę. Symetria umożliwia im jednakowy odbiór bodźców z każdej strony ciała, a także skuteczną obronę przed drapieżnikami. Ten rodzaj symetrii obserwujemy u parzydełkowców i szkarłupni (**ryc. I.1.4.**).



Ryc. I.1.4. Porównanie symetrii ciała: promienistej (A – ukwiał) i dwubocznej (B – wirek).

Zwierzęta dwubocznie symetryczne mają płaszczyznę symetrii wzdłuż podłużnej osi ciała. Dzieli ona ciało na jednakowe części: lewą i prawą. Są to zwierzęta w większości tkankowe, prowadzą wolny tryb życia i mogą się aktywnie przemieszczać.

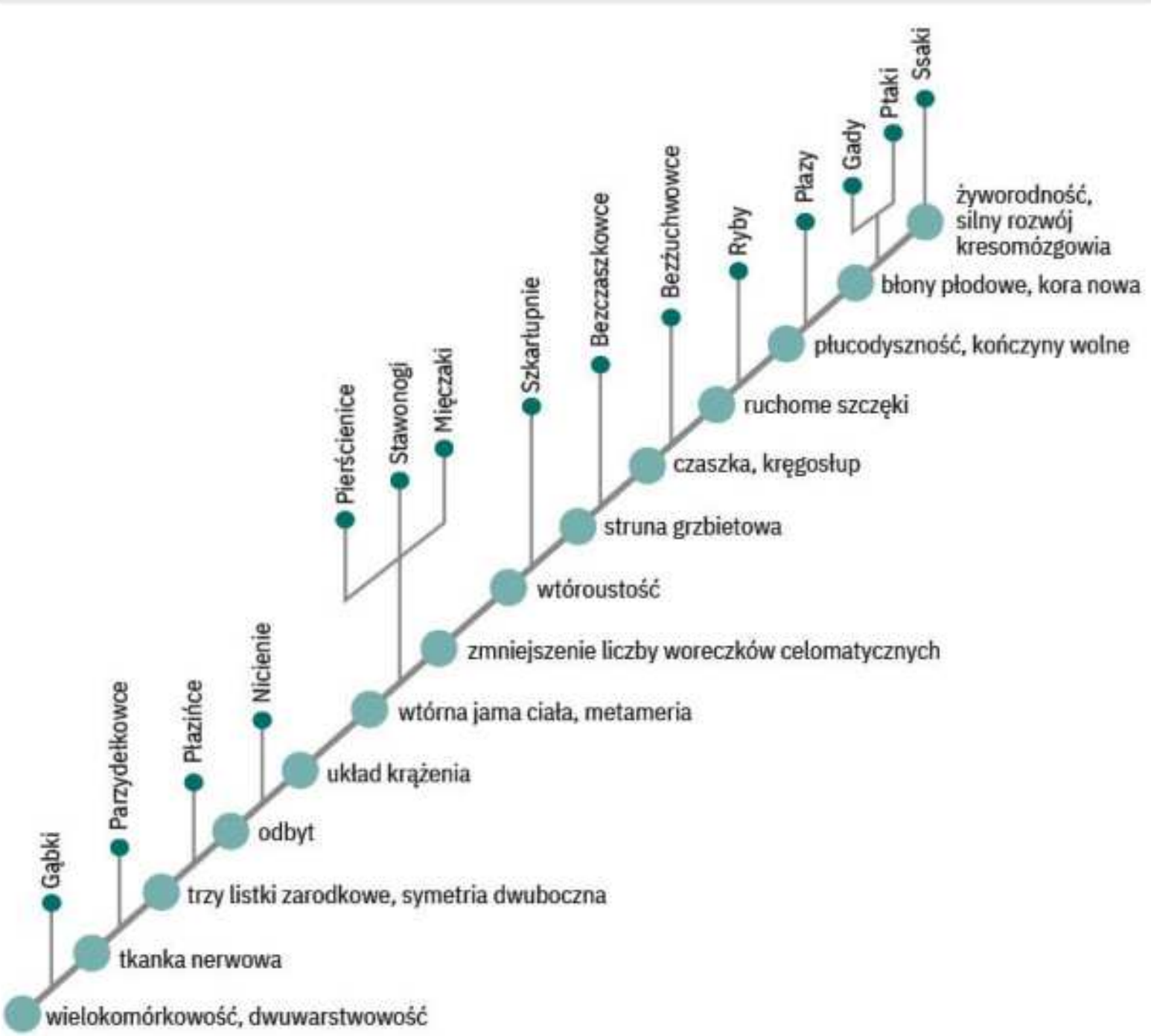
Wykształciły one grzbietową i brzuszną stronę ciała z narządami ruchu oraz dwa końce ciała: tylny i przedni z otworem gębowym i narządami zmysłów. Dwuboczna symetria ciała występuje u większości bezkręgowców i wszystkich kręgowców.

Oprócz wymienionych kryteriów zwierzęta dwubocznie symetryczne różnią się między sobą segmentacją (metamerią), czyli podziałem ciała na szereg powtarzających się odcinków (metamerów) o zbliżonym planie budowy. U skąposzczetów segmenty są podobne i widoczne na zewnątrz (segmentacja homonomiczna). U skorupiaków, owadów i pajęczaków segmenty różnią się między sobą (segmentacja heteronomiczna) i łączą w większe jednostki – tagmy.

Istotne znaczenie w rozwoju scentralizowanego układu nerwowego i narządów zmysłów ma proces **cefalizacji**, czyli wyodrębniania odcinka głowowego. Cefalizacja rozpoczyna się już u prostych zwierząt dwubocznie symetrycznych – płazińców.

cefalizacja

Zróżnicowanie budowy ciała i wykształcenie poszczególnych układów u zwierząt następowało w wyniku adaptacji do warunków życia, np. wykształcenie skrzeli u zwierząt wodnych czy płuc i tchawek u lądowych (**ryc. I.1.5.**).



Ryc. I.1.5. Poziomy organizacji ciała zwierząt ze względu na adaptacje do środowiska.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Wymień pięć charakterystycznych cech organizmów należących do królestwa zwierząt.
2. Określ, z którego listka zarodkowego powstają następujące tkanki i narządy:
   a) serce,
   b) wątroba,
   c) mięśnie gładkie układu pokarmowego,
   d) szkielet,
   e) skóra właściwa kręgowców.
3. Wyjaśnij, w jaki sposób symetria ciała ułatwia funkcjonowanie organizmu w środowisku.

PODSUMOWANIE LEKCJI

s. 8
- **Zwierzęta** są najliczniejszą i najbardziej zróżnicowaną grupą organizmów na Ziemi.

s. 8
- Zwierzęta są **heterotroficznymi organizmami** tkankowymi (z wyjątkiem gąbek) zdolnymi do aktywnego poruszania się.

s. 8
- **Komórki zwierząt** nie mają ściany komórkowej ani chloroplastów.

s. 9
- **Listki zarodkowe** różnicują się w tkanki i narządy.

s. 9
- **Etapy rozwoju zarodkowego** obejmują bruzdkowanie (podział mitotyczny zygoty i wykształcenie blastuli), gastrulację (powstanie listków zarodkowych), histogenezę i organogenezę (powstanie tkanek i narządów).

s. 9
- W wyniki **gastrulacji** powstają dwa listki zarodkowe (ektoderma, endoderma) lub trzy (ektoderma, endoderma, mezoderma). Zwierzęta o dwóch listkach zarodkowych to parzydełkowce.

s. 9
- Analiza rozwoju zarodkowego zwierząt – bruzdkowanie, wykształcenie otworu gębowego i odbytowego – oraz sposobu powstawania mezodermy pozwoliła na wyodrębnienie dwóch gałęzi rozwojowych zwierząt tkankowych: **pierwoustych i wtóroustych**.

s. 11
- W rozwoju **pierwoustych** pragęba przekształca się w otwór gębowy dorosłego osobnika, a odbyt powstaje na przeciwległym biegunie.

s. 11
- W rozwoju **wtóroustytch** otwór gębowy powstaje wtórnie na przeciwległym biegunie ciała, pragęba zarasta, a w jej pobliżu powstaje otwór odbytowy.

s. 11
- **Bruzdkowanie** u zwierząt pierwoustych jest spiralne, a u wtóroustych – promieniste.

s. 11
- Ze względu na obecność wtórnej **jamy ciała** zwierzęta dzielimy na: acelomatyczne (bez jamy ciała), pseudocelomatyczne (pierwotna jama ciała, brak jamy wtórnej) oraz celomatyczne (obecność wtórnej jamy ciała).

s. 12
- Zwierzęta osiadłe mają przeważnie promienistą **symetrię ciała**, a wolnożyjące – dwuboczną symetrię ciała.

s. 13
- Zwierzęta różnią się między sobą także segmentacją (podziałem ciała na metamery) oraz wykształceniem głowy (**cefalizacją**).

2. Gąbki – wielokomórkowe zwierzęta beztkankowe

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz cechy wyróżniające gąbki;
- scharakteryzujesz wybrane grupy gąbek.

Gąbki są zwierzętami zbudowanymi z dwóch warstw komórek, które nie tworzą typowych tkanek. Są wyłącznie zwierzętami wodnymi. Zdecydowana większość z nich żyje w morzach i oceanach, ale spotykane są też gatunki słodkowodne. Gąbki żyją pojedynczo lub w koloniach, prowadząc osiadły tryb życia. Mogą zasiedlać skały, rafy koralowe, muszle mięczaków czy zatopione drewno. Liczą około 55 000 gatunków, z których 150 jest słodkowodna. W Polsce żyje siedem gatunków słodkowodnych gąbek.

zwierzęta dwuwarstwowe

Cechy charakterystyczne gąbek

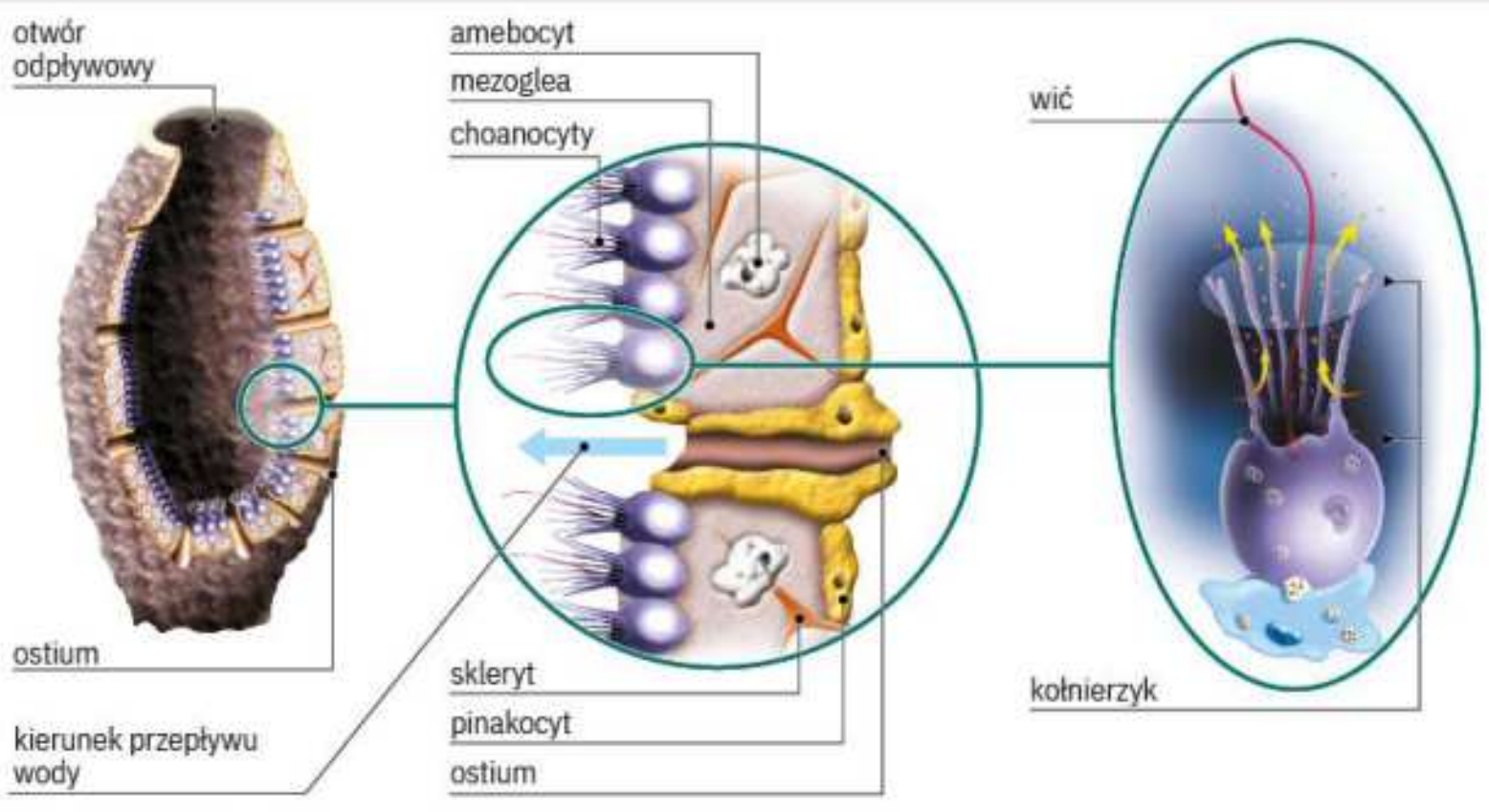
U gąbek występuje słabo zaznaczona promienista symetria ciała lub jej brak. Ciało gąbek przypomina worek skierowany do góry otworem, który nosi nazwę otworu wyrzutowego – **oskulum**. Wnętrze ciała wypełnia jama – **spongocel**. Ciało gąbek składa się z dwóch warstw komórek:

spongocel

typy komórek

- zewnętrznej, zbudowanej z płaskich komórek – **pinakocytów**;
- wewnętrznej, zbudowanej z komórek kołnierzykowatych – **choanocytów** opatrzonych wicią (**ryc. I.2.1.**).

choanocyty

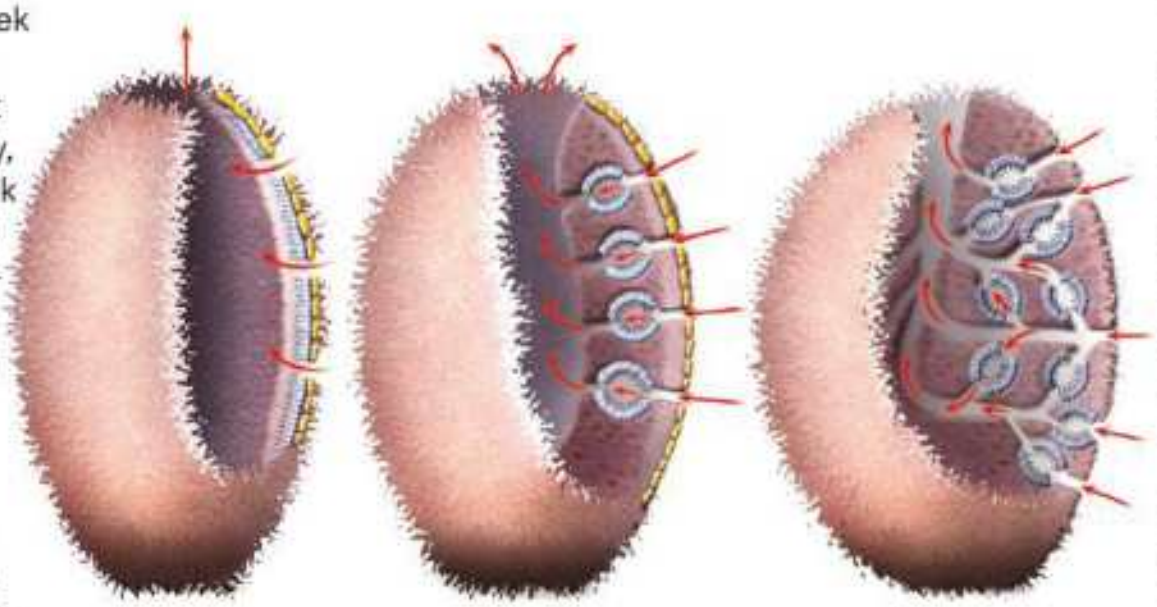


Ryc. I.2.1. Schemat budowy ciała gąbki; strzałki wskazują kierunek przepływu wody.

Pinakocyty pełnią funkcję komórek nabłonkowych. Między nimi powstają otwory – pory, którymi woda dostaje się do jamy ciała. **Choanocyty** są wyposażone w wić, wokół której znajduje się plazmatyczny kołnierzyk.

mezoglea Pomiędzy tymi warstwami komórek występuje bezpostaciowa, galaretowata substancja **mezoglea**, w której są komórki ruchliwe – **amebocyty** – oraz komórki wytwarzające szkielet wewnętrzny. Szkielet stanowią różnego kształtu igły – **skleryty** (spikule) zbudowane z substancji nieorganicznych (węglanu wapnia lub krzemionki) oraz białkowej substancji organicznej – **sponginy**.

typy budowy Gąbki przyjmują różne kształty i typy budowy (**ryc. I.2.2.**).



Ryc. I.2.2. Typy budowy gąbek (strzałki wskazują kierunek przepływu wody). Askon jest najprostszym typem budowy, w którym pojedynczy osobnik ma kształt worka z otworem wylotowym w górnym biegunie, a wewnątrz znajduje się jama wyścielona komórkami kołnierzykowatymi. Gąbki o bardziej skomplikowanej budowie mają ścianę ciała wyścieloną komórkami kołnierzykowatymi, podzieloną kanałami (typ sycon) lub kulistymi komorami (typ leukon).

filtracja Gąbki odżywiają się na **drodze filtracji**. Woda z pokarmem wpływa do wnętrza gąbki za pośrednictwem porów oraz przepływa przez kanały ciała wyścielone komórkami kołnierzykowatymi. Wici tych komórek kierują wodę do jamy ciała. Choanocyty wychwytują drobne cząsteczki pokarmowe (bakterie, protisty zwierzęce) i trawią je na drodze fagocytozy. Woda wypływa z ciała gąbki przez otwór wyrzutowy.

Ruch wody wpływającej do ciała i wypływającej z ciała gąbki odpowiada za wymianę gazową i usuwanie zbędnych metabolitów.

Gąbki mogą rozmnażać się **bezpłciowo** przez **pączkowanie**. Większość powstałych pączków pozostaje połączona z organizmem macierzystym, tworząc kolonię.

rozmnażanie się Gąbki są zwierzętami **rozdzielnopłciowymi** lub **obojnakami** (hermafrodytami). W rozwoju występuje swobodnie pływająca larwa, która przytwierdza się do dna i stopniowo przekształca w dorosłego osobnika.

Gąbki mają niezwykłe zdolności do regeneracji, czyli odtworzenia uszkodzonych lub utraconych struktur organizmu. W skrajnych przypadkach rozdzielona na pojedyncze komórki gąbka jest w stanie odtworzyć z nich cały funkcjonujący organizm.

totipotencjalność Jest to wynikiem szczególnych właściwości komórek, które są **totipotencjalne**. Oznacza to, że poszczególne komórki po podziale mogą przekształcać się w każ-

dy rodzaj komórek występujący w danym organizmie, np. choanocyty mogą przekształcić się w amebocyty, a te – w gamety.

Przegląd gąbek

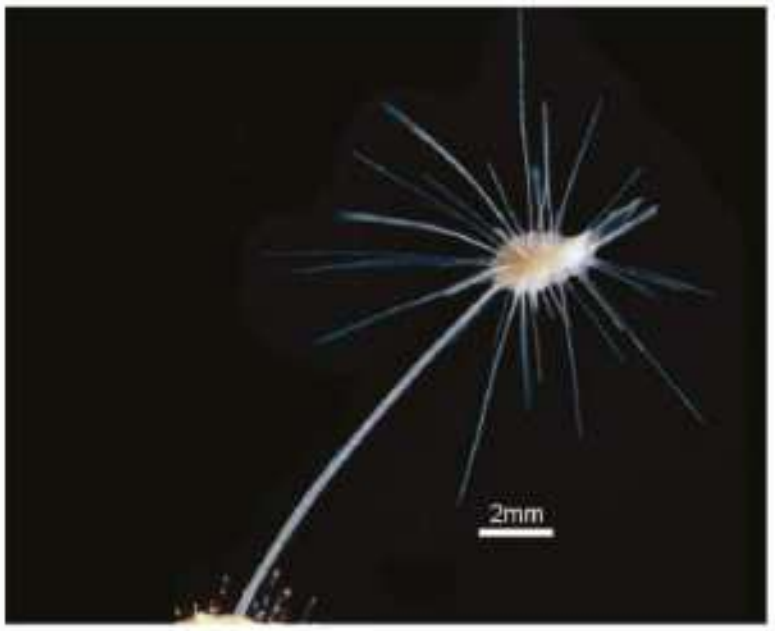
Gąbki pospolite

Stanowią 80–90% współczesnych gatunków gąbek. Wszystkie gatunki reprezentują typ budowy leukon. Ich szkielet jest krzemionkowy, sponginowy lub krzemionkowo-sponginowy. Zasiedlają zarówno wody morskie, jak i słodkie.

zwierzęta głównie morskie

Ryc. I.2.3. Nadecznik stawowy – słodkowodny gatunek żyjący w wodach stojących, tworzący kolonie o kolorze zielonym, ponieważ komórki żyją w symbiozie z glonami.

Ryc. I.2.4. Puchar Neptuna to jedna z największych gąbek słonowodnych. Osiąga wysokość ok. 150 cm, a kształtem ciała przypomina kielich – stąd nazwa.



Ryc. I.2.5. Mięsożerna gąbka *Asbestopluma hypogea* występuje w Morzu Śródziemnym, na głębokościach do 700 m. Poluje za pomocą igieł szkieletowych, w które łapie zwierzęta. Schwytana ofiara jest oplatana dużą liczbą włókien, a jej strawienie zajmuje gąbce do 10 dni.

Gąbki wapienne

Do tej grupy należą wyłącznie gatunki morskie, których szkielet jest zbudowany z węglanu wapnia. Występują one tylko na twardym podłożu w wodach o dużym zasoleniu, na małych głębokościach. Ciało ma trzy typy budowy: ascon, leukon

i sykon. Żyją pojedynczo lub w koloniach, tworzą związki symbiotyczne ze skorupiakami i niektórymi glonami (**ryc. I.2.6.**).

Gąbki szklane

Do tej grupy należą wyłącznie gatunki morskie zamieszkujące duże głębokości. Reprezentują typ budowy sykon lub leucyn. Szkielet jest zbudowany z różnokształtnych krzemionkowych igiełek (**ryc. I.2.7.**).

Ryc. I.2.6. *Sycon raphanus* to gąbka morska występująca w wodach zachodniej Europy. Żyje pojedynczo, kształt jej ciała przypomina torebkę.

Ryc. I.2.7. Koszyczek Wenery – gąbka morska i oceaniczna – przypomina z wyglądu pleciony kosz. Szkielet tej gąbki zbudowany jest z krzemionki i osiąga wysokość 30–60 cm.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Wyjaśnij, jaką rolę w funkcjonowaniu gąbek odgrywają choanocyty.
2. Uzasadnij, dlaczego gąbki są uważane za najprostszych przedstawicieli zwierząt.
3. Wymień cechy gąbek, które decydują o ich funkcji bioindykatorów w środowisku wodnym.

PODSUMOWANIE LEKCJI

s. 15
- Gąbki są najprostszymi **zwierzętami dwuwarstwowymi**. Nie mają tkanek ani narządów.

s. 15
- Wnętrze ciała gąbek stanowi jama **spongocel** z jednym otworem wyrzutowym.

s. 15
- Ciało tych organizmów budują trzy **typy komórek**: kołnierzykowate (choanocyty), pinakocyty i amebocyty.

s. 15
- Woda napływa do ich ciała bocznymi porami i wypływa górnym otworem wyrzutowym. Ruch wody powodują wici **choanocytów**.

s. 16
- Porowate ciało gąbek ma kształt worka zbudowanego z dwóch warstw komórek oddzielonych warstwą bezpostaciowej **mezoglei**.

s. 16
- Gąbki mają **trzy typy budowy ciała**: ascon, sykon i leukon.

s. 16
- Odżywiają się zawiesiną organiczną, którą **filtrują** z wody przepływającej przez ich ciało.

s. 16
- Gąbki **rozmnażają się** bezpłciowo, poprzez pączkowanie, i płciowo. Występuje u nich rozwój z postacią larwalną.

s. 17
- Są to głównie **zwierzęta morskie**.

3. Parzydełkowce – tkankowe zwierzęta dwuwarstwowe o symetrii promienistej

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz cechy wyróżniające parzydełkowce;
- scharakteryzujesz wybrane grupy parzydełkowców.

Parzydełkowce to najprostsze zwierzęta tkankowe o promienistej symetrii ciała. Są zbudowane z dwóch warstw komórek. W warstwie zewnętrznej występują **parzydełka** – specyficzne struktury obronne, stąd nazwa całego typu zwierząt. Ich ciało przybiera dwie formy morfologiczne: **osiadłego polipa** i **swobodnie pływającej meduzy**. Żyją wyłącznie w środowisku wodnym, głównie w morzach różnych stref – od tropikalnych po podbiegunowe. Preferują środowiska o względnie stałych parametrach wody – głównie temperatury i zasolenia.

Parzydełkowce są jedną z najstarszych linii ewolucyjnych zwierząt. Ich prosty plan budowy istniał w przyrodzie już około 570 milionów lat temu. To zamknięta grupa, z której nie rozwinęły się inne gałęzie rozwojowe zwierząt dwubocznie symetrycznych. Na świecie żyje około 9 tys. gatunków parzydełkowców, z czego tylko 30 w Polsce: 26 z nich reprezentuje stułbiopławy, 2 – krążkopławy i 2 – koralowce.

promienista symetria ciała

Charakterystyczne cechy parzydełkowców

Ciało parzydełkowców przypomina worek zbudowany z dwóch warstw komórek: **zewnętrznej ektodermy** i **wewnętrznej endodermy**. Na tej podstawie parzydełkowce są zaliczane **do zwierząt dwuwarstwowych**. Między ektodermą i endodermą znajduje się galaretowata, bezpostaciowa substancja – **mezoglea**. W mezoglei u niektórych parzydełkowców, np. koralowców, funkcjonuje szkielet zbudowany z organicznego związku **kolagenu** przesyconego **węglanem wapnia**.

dwuwarstwowa budowa ciała

Jamochłony mają dwie formy organizacji budowy ciała: polipa i meduzę. Różnice dotyczą m.in. trybu życia, rozmiarów, kształtu ciała i położenia otworu gębowego.

budowa ciała

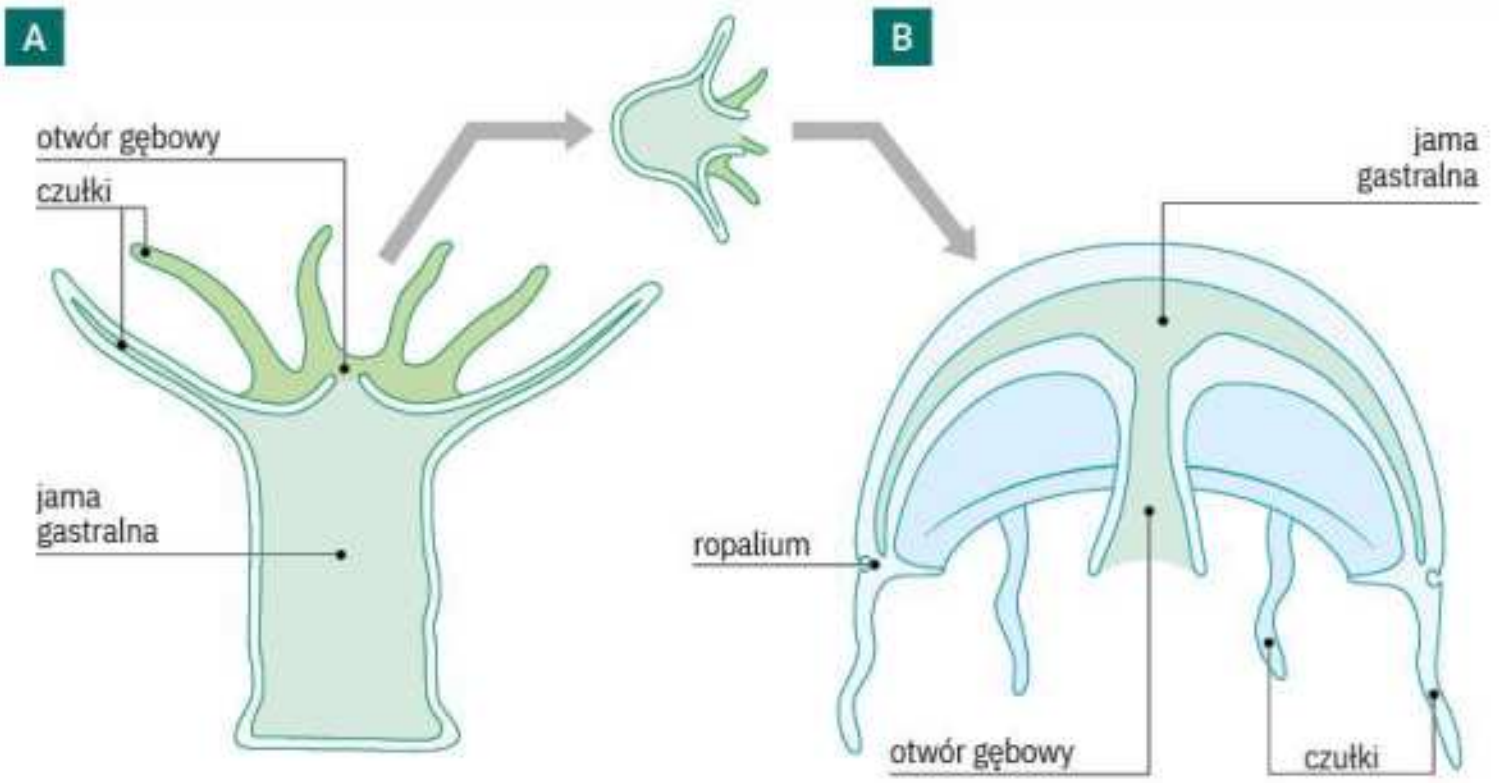
Wnętrze ciała parzydełkowców stanowi **jama gastralna** (**jama chłonąco-trawiąca**), która spełnia funkcję światła przewodu pokarmowego u innych zwierząt. Do jamy gastralnej prowadzi otwór gębowy, który funkcjonuje również jako otwór odbytowy. U polipa otwór gębowy występuje w górnej części ciała i jest otoczony wieńcem czułków (od kilku do kilkunastu). Inaczej jest u meduz – otwór gębowy znajduje się na spodniej części ciała, a czułki są rozmieszczone na brzegach. U meduz przy otworze gębowym często znajdują się cztery ramiona okołogębowe ułatwiające zdobywanie pokarmu (**ryc. I.3.1.**).

jama gastralna

otwór gębowy

polip

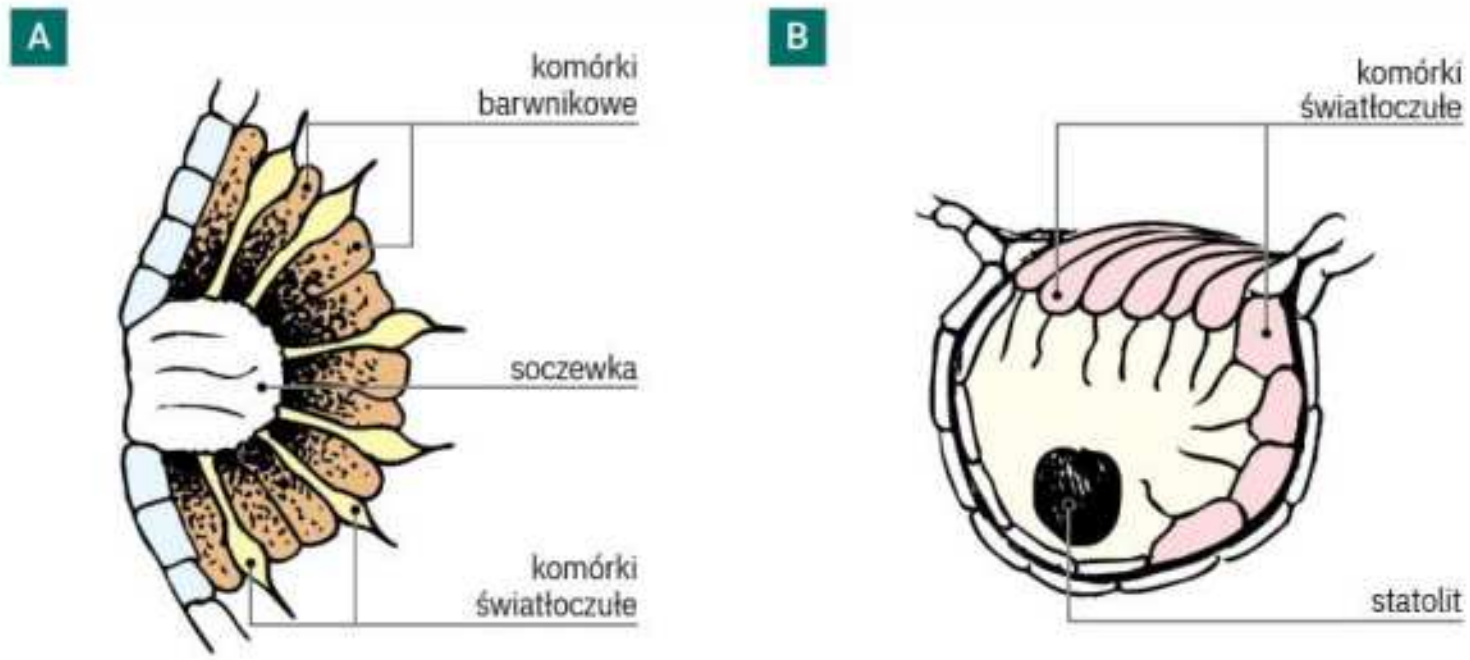
meduza



Ryc. I.3.1. Ciało polipa (A) ma kształt cylindra. Polip jest formą osiadłą, przytwierdzoną do podłoża za pomocą stopy. Meduza (B) ma kształt dzwonu (parasola).

ciałka brzeżne

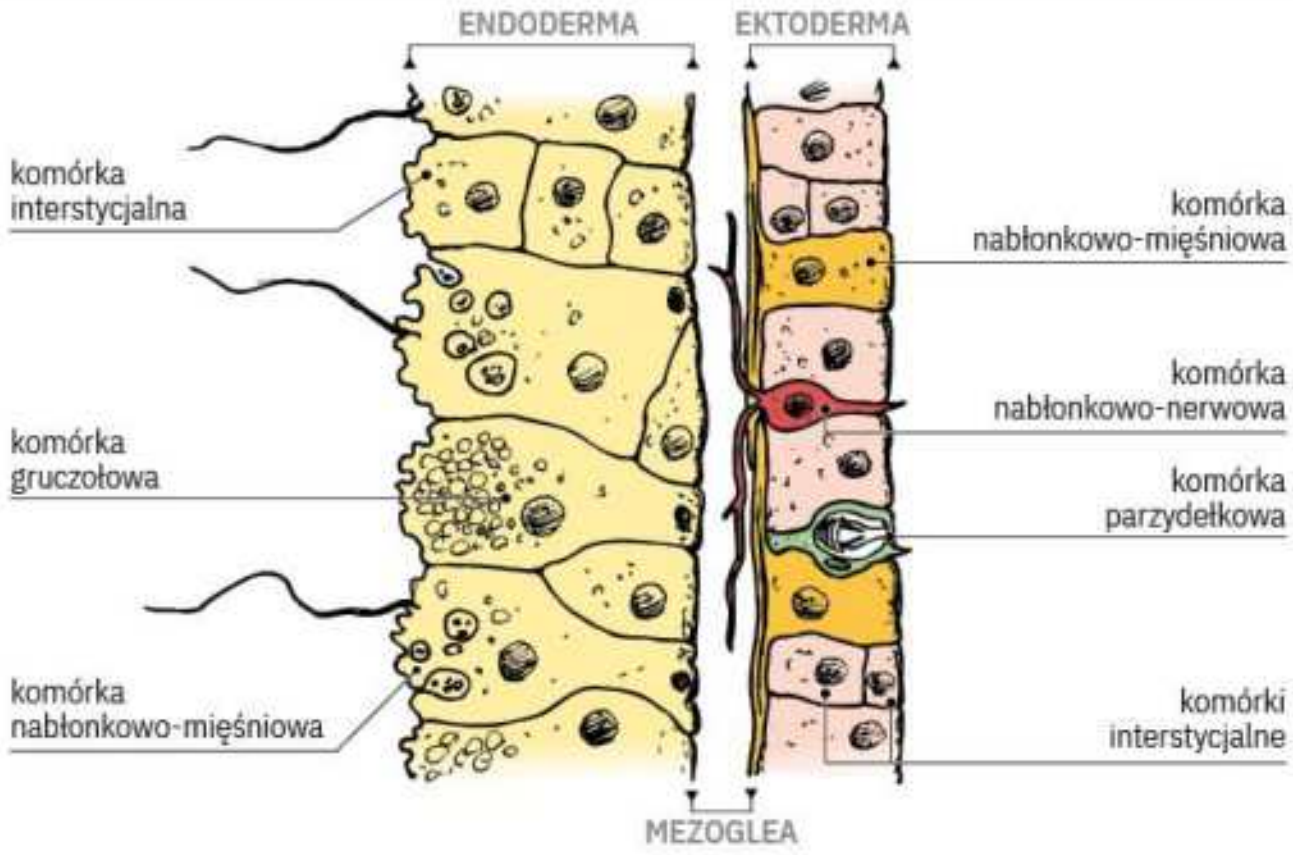
Meduzy, jako zwierzęta wolno żyjące, są zaopatrzone w dodatkowe narządy zmysłów, rozmieszczone w regularnych odstępach na końcach ciała – **ciałka brzeżne** (**ropalia**). W ciałkach brzeżnych znajdują się **narządy równowagi**, ułatwiające swobodne pływanie, oraz **prymitywne oczka**, odróżniające tylko natężenie światła (**ryc. I.3.2.**).



Ryc. I.3.2. Oczka (A) są skupieniem komórek barwnikowych i światłoczułych otaczających warstwę komórek, pełniących funkcję soczewki. Statocystę (B) tworzą zagłębienia lub pęcherzyki wysłane komórkami czuciowymi otaczające statolit – ziarenka zbudowane głównie z węglanu wapnia. Podczas ruchu meduzy statolit zmienia swoje położenie i uciska komórki czuciowe, co dla zwierzęcia jest sygnałem do zmiany położenia ciała.

Ściana ciała parzydełkowców jest zbudowana z wyspecjalizowanych komórek spełniających określone funkcje. **Komórki parzydełkowe** występują wyłącznie w ektodermie, a **gruczołowe** w endodermie. Natomiast **komórki nabłonkowo-mięśniowe** i **komórki interstycjalne** występują w obu warstwach (**ryc. I.3.3.**).

◂ komórki parzydełkowe



Ryc. I.3.3. Schemat budowy komórkowej parzydełkowców.

Komórki parzydełkowe (knidocysty) występują głównie na czułkach polipa i ramionach meduzy oraz wokół otworu gębowego. Na zewnątrz komórka jest zakończona **czuciowym wyrostkiem** (knidocylem) (**ryc. I.3.4.**).

Wewnątrz komórki parzydełkowej znajduje się parzydełko. Jest ono zbudowane z pęcherzyka wypełnionego parzącą cieczą i spiralnie skręconej nici, która zostaje z dużą siłą wyrzucona podczas podrażnienia wyrostka czuciowego. Nić ta może się wbijać w ciało ofiary lub oplatać je w celu unieruchomienia. Równocześnie uwolniona parząca ciecz paraliżuje ofiarę.

Ryc. I.3.4. Budowa komórki parzydełkowej.

Komórki nabłonkowo-mięśniowe mające kurczliwe wypustki wypełnione włókienkami białkowymi stanowią układ mięśniowy. U podstawy tych komórek występują komórki nerwowe, które długimi wypustkami łączą się ze sobą w mezoglei i tworzą rozproszoną sieć wypełniającą całe ciało. Jest to pierwszy układ nerwowy u zwierząt – **siateczkowy układ nerwowy**. Bodźce ze środowiska są odbierane przez komórki zmysłowe. Sieć nerwowa wraz z narządami zmysłów jest rozmieszczona promieniście wokół ciała, co pozwala odbierać bodźce z każdej strony. **Komórki gruczołowe** produkują wydzielinę, która ułatwia przyczepianie się

◂ komórki gruczołowe

polipa do podłoża. **Komórki interstycjalne** mogą przemieszczać się i przekształcać w komórki innego rodzaju, np. w komórki rozrodcze. Parzydełkowce są drapieżnikami, chwytają ofiarę ramionami i unieruchamiają parzydełkami. Trawienie następuje w jamie chłonąco-trawiącej. Wydalanie produktów przemiany materii następuje dzięki dyfuzji z komórek do jamy chłonącej. Wraz z niestrawionymi resztkami pokarmu i wodą zostają one usunięte przez otwór gębowy. Parzydełkowce oddychają całą powierzchnią ciała. Rozmnażają się zarówno bezpłciowo, jak i płciowo. Rozmnażanie płciowe występuje u meduz, które są w większości **zwierzętami rozdzielnopłciowymi**. Zapłodnienie u parzydełkowców jest zewnętrzne lub wewnętrzne. U licznych gatunków występuje przemiana pokoleń z obecnością larwy – **planuli**.

rozmnażanie się

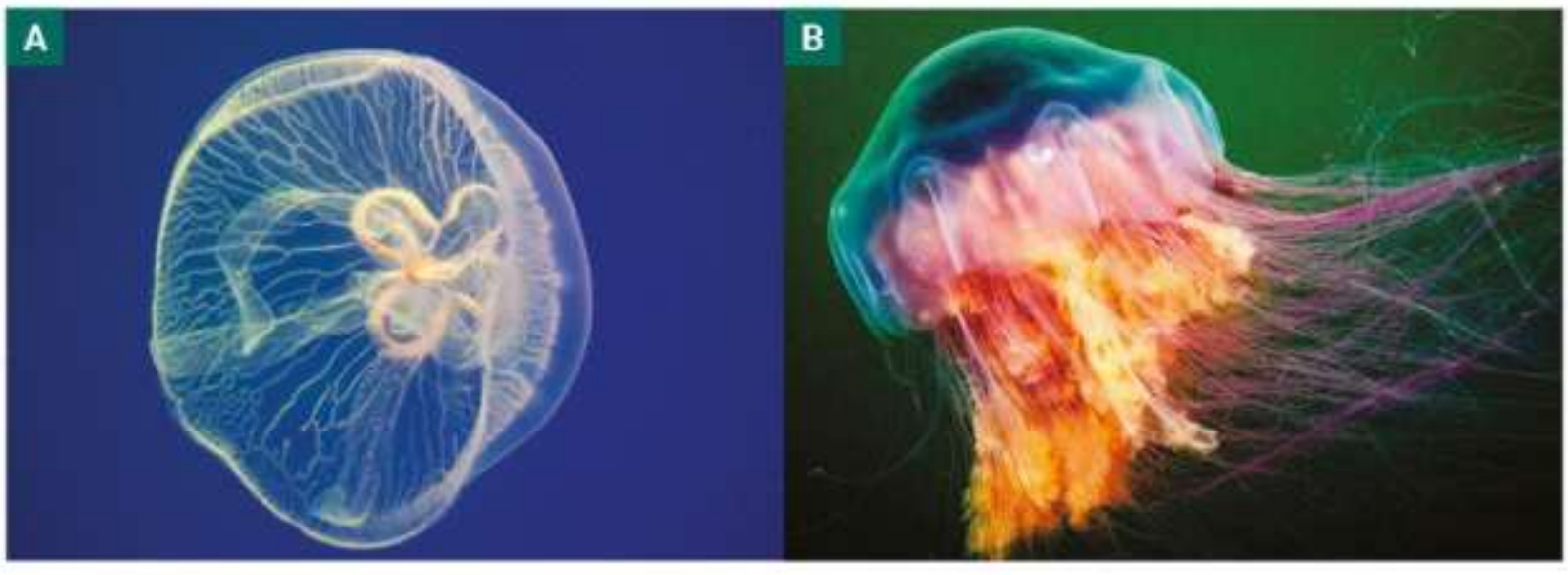
Przegląd parzydełkowców

przegląd parzydełkowców

Krążkopławy

Są nieliczną grupą wyłącznie morskich parzydełkowców. Postacią dominującą krążkopławów jest planktoniczna meduza. Jej rozmiary mogą osiągać nawet do 2 m średnicy. Polipy są mniejsze (od 1 do 7 mm) i żyją przeważnie pojedynczo. W rozwoju krążkopławów pojawia się larwa **planula**. W Polsce krążkopławy są reprezentowane przez dwa gatunki: chełbię modrą oraz bełtwę, żyjące zarówno w Bałtyku, jak i w Morzu Północnym (**ryc. I.3.5.**).

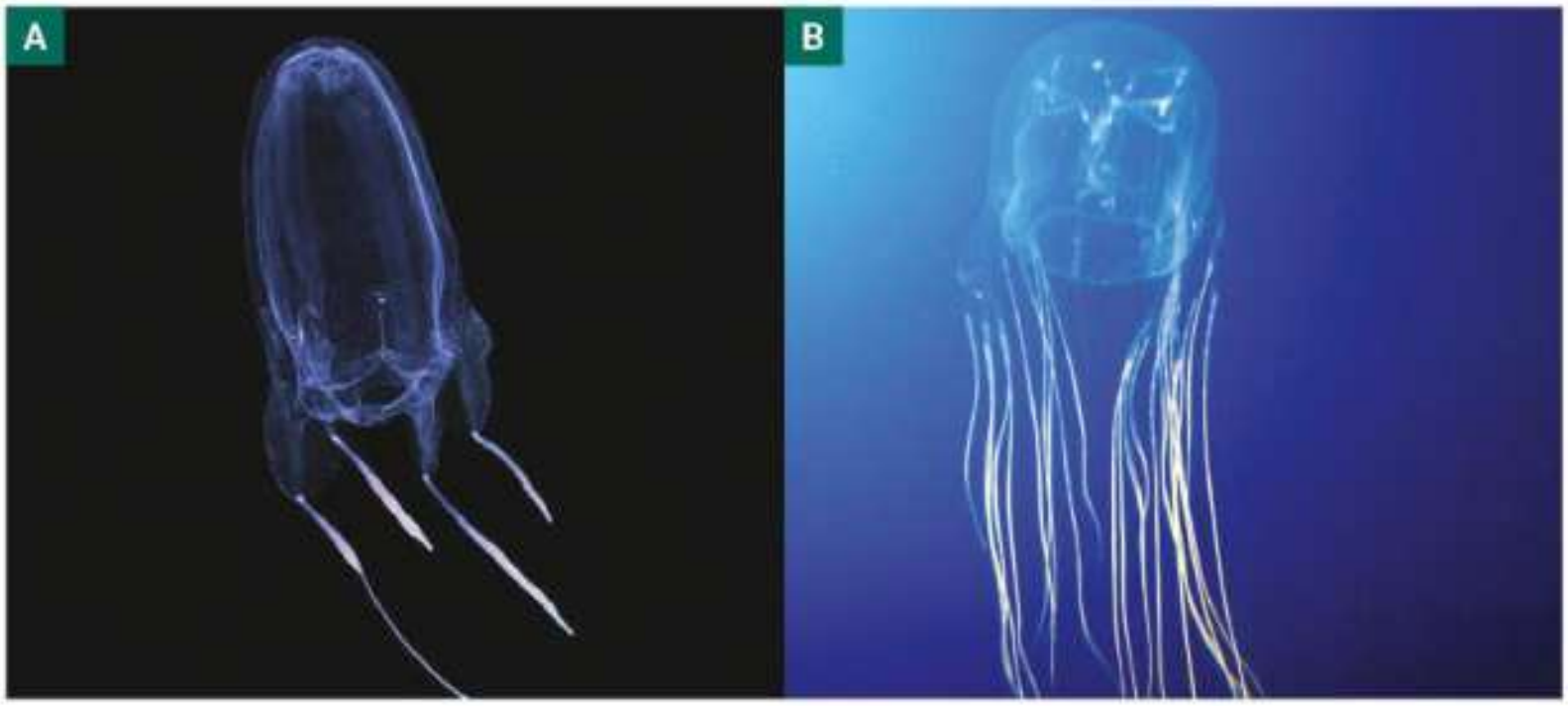
planula



Ryc. I.3.5. Chełbia modra (A) i bełtwa festonowa (B), której czułki osiągają długość nawet do 30 m.

Kubopławy

Zwierzęta te są znane także pod nazwą ***kostkokształtne*** lub ***kostkowce***. Formą dominującą są meduzy przypominające kształtem sześcian, którego wysokość u największego przedstawiciela tej grupy może osiągać 25 cm. Żyją w ciepłych wodach strefy tropikalnej i subtropikalnej. Mają układ nerwowy i narządy zmysłów najlepiej rozwinięte wśród wszystkich parzydełkowców, co pozwala im na aktywne polowanie na inne zwierzęta, np. ryby. Przedstawiciele tej grupy to gatunki silnie parzące i jadowite, jak osy morskie. *Chironex fleckeri* to najgroźniejszy gatunek osy morskiej żyjący w wodach wschodniej Australii. Jej ramiona o długości do 3 m pokryte są milionami komórek parzydełkowych, które w kontakcie z ofiarą wystrzykują silną substancję parzącą, powodującą ogromny ból, a nawet śmierć (**ryc. I.3.6.**).

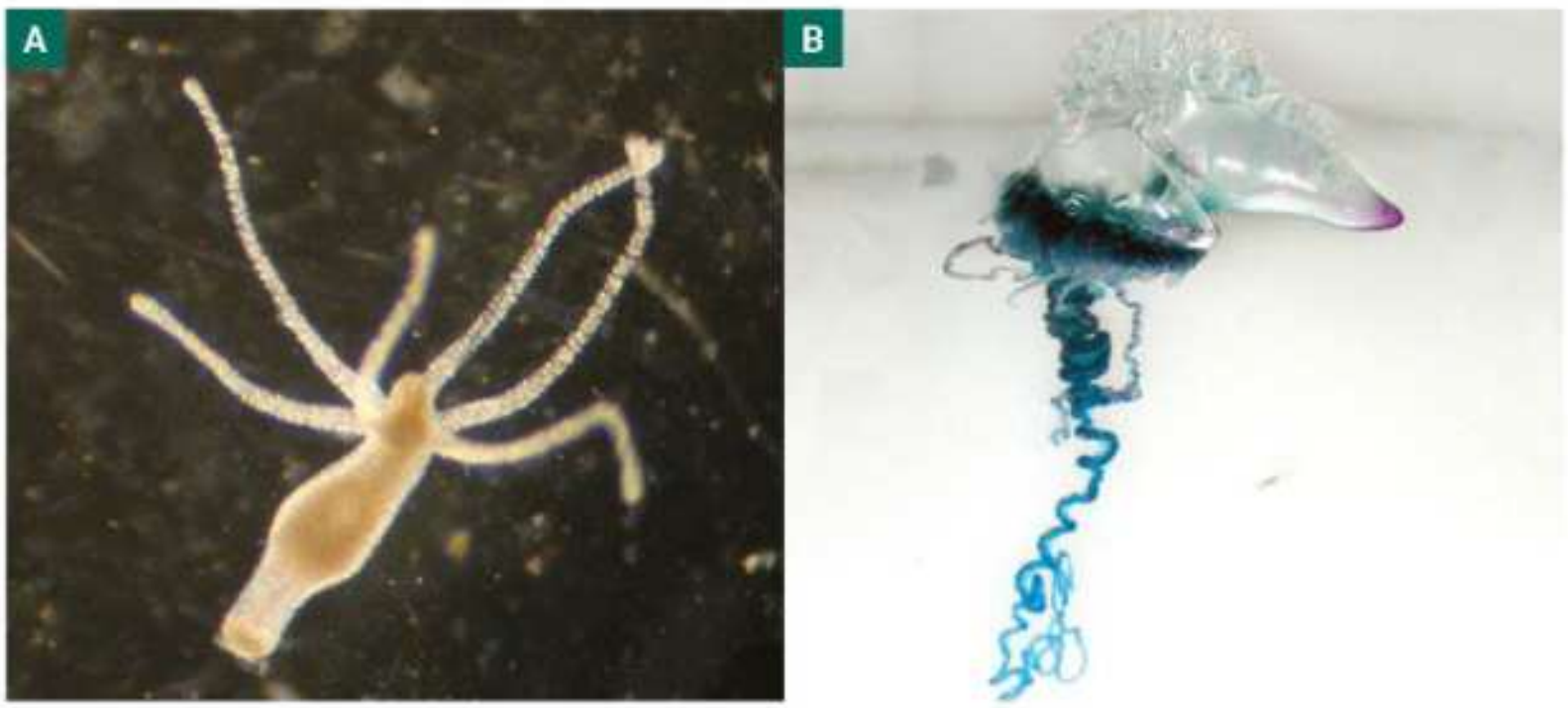


Ryc. I.3.6. Przedstawiciele kubopławów: *Charybdea alata* (A) – największy przedstawiciel; osa morska (B) – najbardziej jadowity przedstawiciel kubopławów.

Stułbiopławy

Występują w postaci polipa lub meduzy. Polipy żyją w koloniach w morzach, a nieliczne gatunki – jak stułbia pospolita – pojedynczo w wodach słodkich. Stułbia nie tworzy meduz. Prowadzi osiadły tryb życia – przytwierdza się do podłoża stopą. Przykładem gatunku stułbiopława tworzącego kolonie jest żeglarz portugalski (bąbelnica). Liczba osobników w koloniach często dochodzi do miliona. W takim zespole obserwuje się **polimorfizm** – zróżnicowanie pod względem budowy i funkcji. Część osobników jest odpowiedzialna za funkcje odżywcze, a część – za funkcje rozrodcze czy obronne.

◂ polimorfizm



Ryc. I.3.7. Przedstawiciele stułbiopławów: stułbia pospolita (A) i żeglarz portugalski (B), który ma duży hydrostatyczny pęcherz, który unosi się na powierzchni wody i ułatwia poruszanie z użyciem siły wiatru. Od spodu do pęcherza przyczepione są polipy odżywcze i osobniki mające gonady. Kolonia broni się przed napastnikiem czułkami uzbrojonymi w komórki parzydełkowe.

Koralowce

Występują wyłącznie w postaci polipów żyjących w morzach pojedynczo lub w formie kolonii. Jama gastralna jest podzielona przegrodami, których liczba stanowi kryterium podziału. Wyróżnia się dwie podstawowe grupy: koralowce sześciopromienne, u których liczba przegród i liczba czułków jest wielokrotnością sześciu, i ośmiopromienne, które mają osiem przegród i czułków.

Koralowce sześciopromienne mogą występować pojedynczo (np. ukwiały) oraz w postaci kolonii (np. korale madreporowe uczestniczące w budowie raf koralowych dzięki obecności szkieletów wapiennych) (**ryc. I.3.8.**).

Ryc. I.3.8. Ukwiały żyją w wodach ciepłych mórz. Są zwierzętami osiadłymi, z którymi w symbiozie żyją m.in. ryby błazenki. Czułki ukwiała, w liczbie od kilkudziesięciu do powyżej tysiąca, z licznymi parzydełkami stanowią doskonałą obronę dla ryb, które zwabiają inne ryby lub duże krewetki będące pokarmem koralowca, chronią go przed drapieżnikami i usuwają resztki pożywienia z całego ciała ukwiała.

Rafy koralowe występują w strefie międzyzwrotnikowej Oceanu Atlantyckiego, Oceanu Spokojnego i Oceanu Indyjskiego, gdzie temperatura wody nie jest niższa od 20°C. Stanowią środowisko życia dla bardzo dużej liczby gatunków, są miejscem ich schronienia, rozrodu czy zdobywania pożywienia (**ryc. I.3.9.**).

Ryc. I.3.9. Korale madreporowe budujące rafę koralową. Największa Wielka Rafa Koralowa występuje u wschodnich wybrzeży Australii. Związane są z nią m.in. ryby, wieloszczety, jeżowce, skorupiaki, rozgwiazdy, liliowce, wężowidła, strzykwy, gąbki, małże i glony. Obserwuje się postępujące niszczenie tego unikatowego ekosystemu wodnego na skutek wzrostu zanieczyszczeń, nadmiernego połowu ryb oraz globalnego ocieplania się klimatu.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Udowodnij, że parzydełkowce należą do zwierząt tkankowych.
2. Przedstaw różnice między polipem i meduzą.
3. Wyjaśnij znaczenie komórek parzydełkowych.

PODSUMOWANIE LEKCJI

- Parzydełkowce to zwierzęta o **dwuwarstwowej budowie ciała**, głównie morskie, drapieżne. ◂ s. 19
- Ciało o **promienistej symetrii** występuje w postaci polipa, meduzy lub przemiennie. ◂ s. 19
- **Budowa ich ciała** jest prosta, a komórki wykazują niewielkie zróżnicowanie (komórki nabłonkowo-mięśniowe, nabłonkowo-nerwowe, gruczołowe, interstycjalne). Brak organów i układów. ◂ s. 19
- Ciało ma postać worka, którego wnętrze wypełnia **jama gastralna**. ◂ s. 19
- **Otwór gębowy** jest otoczony wieńcem czułków, a otworu odbytowego nie ma. ◂ s. 19
- **Polipy** są formami osiadłymi, a **meduzy** – wolno żyjącymi. ◂ s. 19
- Mają **komórki parzydełkowe** jako narząd obrony i zdobyczy. ◂ s. 21
- **Rozmnażają się** bezpłciowo oraz płciowo (są rozdzielnopłciowe lub obojnacze). ◂ s. 22
- **Do parzydełkowców zaliczamy**: krążkopławy, kubopławy, stułbiopławy i koralowce. ◂ s. 22

4. Płazińce – robaki płaskie o dwubocznej symetrii ciała

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz cechy wyróżniające płazińce;
- scharakteryzujesz wybrane grupy płazińców.

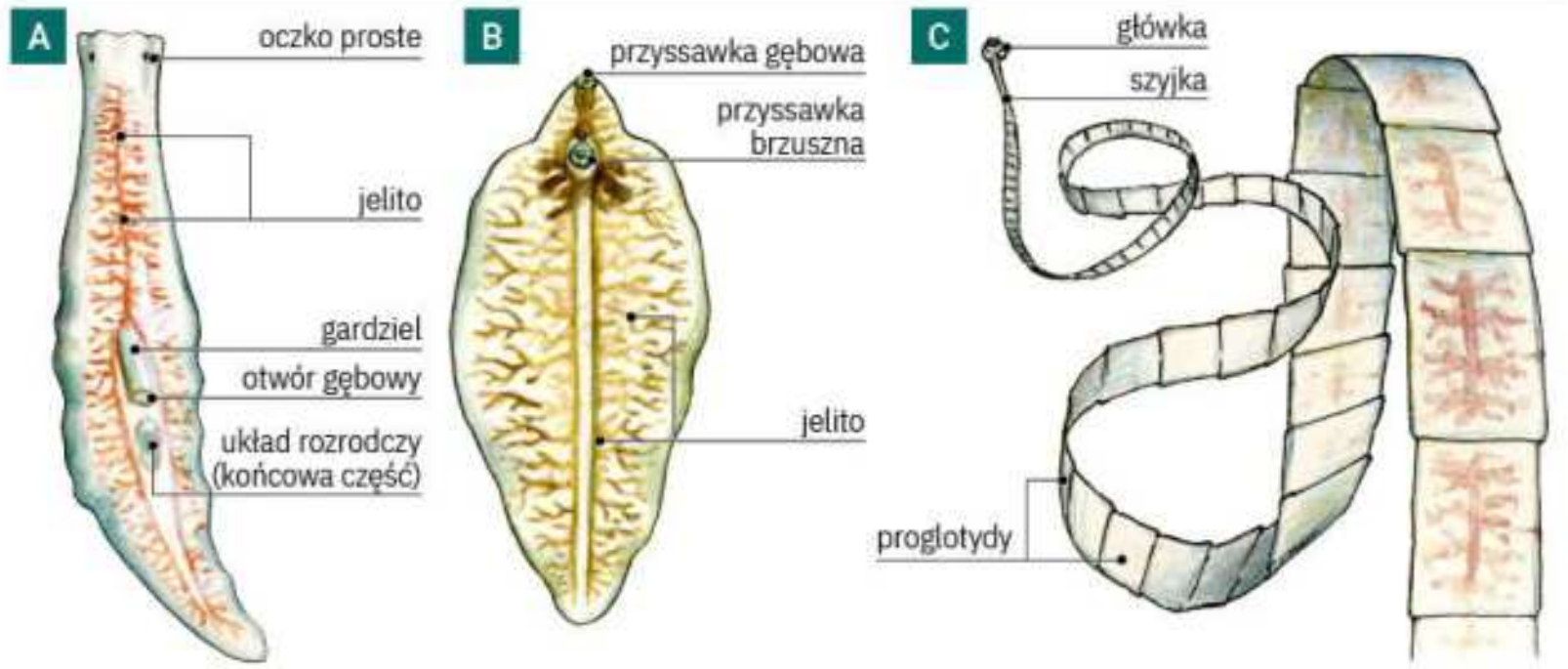
Płazińce są zwierzętami żyjącymi w środowiskach morskich, słodkowodnych lub wilgotnych lądowych. Prowadzą pasożytniczy tryb życia (przywry i tasiemce) lub są wolno żyjące (wirki). W odróżnieniu od uprzednio przedstawionych grup charakteryzuje je **dwuboczna symetria ciała**, początek procesu wyodrębniania głowy (**cefalizacji**) oraz wykształcenie w rozwoju zarodkowym **mezodermy** (trzeciego listka zarodkowego). Dwuboczna symetria ciała pozwala zwierzętom na odbieranie bodźców ze środowiska przednim odcinkiem ciała, w którym koncentruje się układ nerwowy i znajduje się otwór gębowy. W tym odcinku następuje kształtowanie się odcinka głowowego. Z mezodermy rozwijają się tkanki (np. mięśniowa) i układy narządów (np. układ wydalniczy). Na podstawie obecności mezodermy płazińce zaliczamy do **zwierząt trójwarstwowych**.

◂ zwierzęta trójwarstwowe

Płazińce liczą 23 tys. gatunków, spośród których 18 tys. stanowią pasożytnicze przywry i tasiemce.

Charakterystyczne cechy płazińców

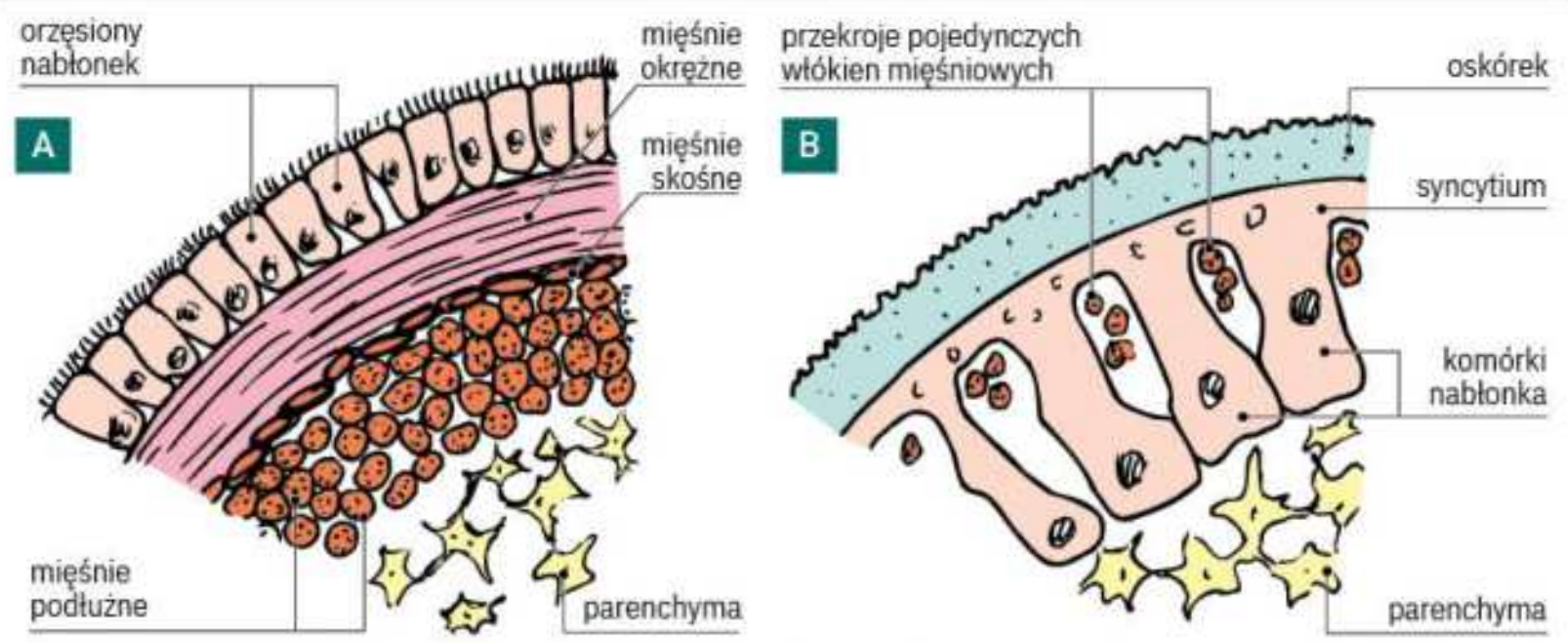
Wielkość płazińców jest bardzo zróżnicowana i waha się od 1 mm do ponad 10 m. Ciało jest spłaszczone grzbieto-brzusznie i stąd wywodzi się nazwa całego typu zwierząt – robaki płaskie. Termin *robak* wyróżnia zwierzęta o cienkim, długim ciele i nie stanowi odrębnej jednostki taksonomicznej (**ryc. I.4.1.**).



Ryc. I.4.1. Kształt ciała i ogólny plan budowy głównych przedstawicieli płazińców: wirków (A – wypławek biały), przywr (B – motylica wątrobowa), tasiemców (C – tasiemiec uzbrojony).

wór powłokowo-mięśniowy

Ciało płazińców pokrywa **wór powłokowo-mięśniowy**, złożony z jednowarstwowego wielojądrowego nabłonka **syncytialnego** u pasożytów i komórkowego, orzęsionego u wolno żyjących. Pod nabłonkiem znajdują się pasma mięśni ułożonych okrężnie, skośnie i podłużnie względem osi ciała. U większości płazińców występu-



Ryc. I.4.2. Budowa wora skórno-mięśniowego u płazińców wolno żyjących (A) i pasożytniczych (B).

ją **mięśnie grzbieto-brzuszne** spłaszczające ciało, dzięki czemu zwierzęta mają dużą powierzchnię ciała w stosunku do jego objętości. Wnętrze ciała – pierwotną jamę – wypełnia **parenchyma**.

parenchyma

Płazińce, podobnie jak parzydełkowce, nie mają otworu odbytowego. Układ pokarmowy występuje w postaci rozgałęzionego i ślepo zakończonego jelita. U pasożytów uległ on całkowitej redukcji. Płazińce nie wykształciły układu oddechowego ani krwionośnego. Oddychają całą powierzchnią ciała. U pasożytów wewnętrznych w warunkach braku dostępu do tlenu następuje oddychanie beztlenowe. W przeciwieństwie do parzydełkowców płazińce wykształciły układ nerwowy w postaci zwojów głowowych i pni nerwowych biegnących wzdłuż ciała, nazywany **układem ortogonalnym**. Gatunkom wolno żyjącym orientację w środowisku ułatwiają narządy zmysłów: receptory chemiczne, dotykowe, fotoreceptory (oczka) i narządy równowagi (statocysty). Osmoregulację i usuwanie zbędnych produktów przemiany materii umożliwia **protonefrydialny układ wydalniczy**. Jest on zbudowany z oplatających całe ciało kanalików wydalniczych zakończonych komórkami płomykowymi.

układ pokarmowy

zwoje głowowe

prymitywne narządy zmysłów

protonefrydia

Płazińce są przeważnie zwierzętami obojnaczymi (hermafrodytami), choć zdarzają się też gatunki rozdzielnopłciowe. Zapłodnienie jest najczęściej krzyżowe i polega na równoczesnej wymianie gamet męskich pomiędzy osobnikami. Rozwój prosty występuje u gatunków wolno żyjących, a złożony – u pasożytów. Rozmnażanie i rozwój płazińców są zróżnicowane w poszczególnych gromadach.

obojnaki o zapłodnieniu krzyżowym

Przegląd płazińców

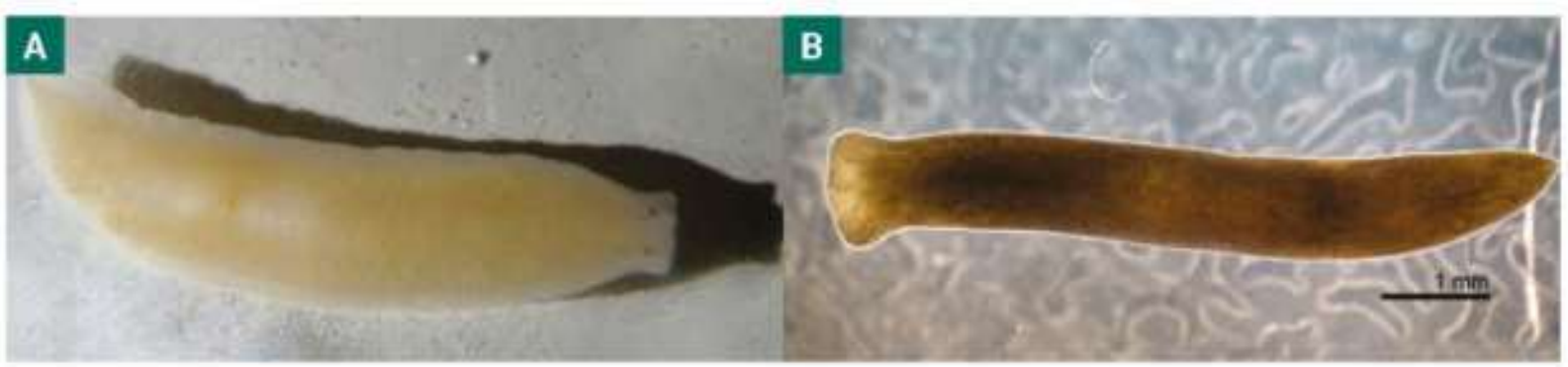
przegląd płazińców

Wirki

wirki

Wszystkie wirki są płazińcami wolno żyjącymi. Przykładem słodkowodnych wirków są wypławki dorastające do 25 mm długości, o barwie ciała od białej do czarnej. Żyją w niezanieczyszczonych wodach strumieni i stawów. Są drapieżnikami i polują na mniejsze ofiary, takie jak larwy owadów, skorupiaki, pierścienice i ślimaki. Orientację w środowisku ułatwia im para oczu i poruszanie za pomocą rzęsek znajdujących się po brzusznej stronie ciała oraz ruch falowy ciała dzięki mięśniom. Do obrony, a także ataku, służą wypławkom **rabdity**, czyli drobne pałeczki rozmieszczone między komórkami nabłonka, wyrzucane w wypadku podrażnienia (podobnie jak parzydełka). W Polsce pospolitymi przedstawicielami wypławków są wypławek biały i wypławek czarny (**ryc. I.4.3.**).

rabdity



Ryc. I.4.3. Wypławek biały (A) osiąga długość 26 mm i szerokość 6 mm, odznacza się mlecznobiałym ciałem z widocznym układem pokarmowym i plamkami ocznymi. Wielooczka czarna (B) jest ciemno ubarwiona i ma około 70 prostych oczek. Oba gatunki charakteryzują się dużą zdolnością do regeneracji, która może prowadzić nawet do rozmnożenia się zwierzęcia.

Przywry

formy pasożytnicze

- Przywry są pasożytami zewnętrznymi lub wewnętrznymi innych zwierząt. Ich ciało listkowatego kształtu jest nieczłonowane. Niektóre gatunki swoim wyglądem przypominają wirki. Przywry przechodzą złożone cykle rozwojowe, często z kilkoma stadiami larwalnymi i co najmniej dwoma żywicielami. Niektóre larwy są zdolne do rozmnażania bezpłciowego (np. motylica wątrobowa). Przystosowaniem do pasożytniczego trybu życia jest **aparat czepny**, którym mogą się przyczepić do ciała żywiciela. Tworzą go **dwie przyssawki** – gębowa, otaczająca otwór gębowy, i brzuszna. Poza nielicznymi wyjątkami przywry są obojnakami, u niektórych występuje samozapłodnienie. Gatunkiem rozdzielnopłciowym jest przywra krwi, występująca w strefie tropikalnej Azji, Afryki i Ameryki Południowej, której dojrzałe osobniki żyją w naczyniach krwionośnych jamy brzusznej człowieka i rzadziej małp. Są przyczyną chorób układu krążenia. Przywry odznaczają się ogromną płodnością, np. dorosła przywra z rodzaju *Schistosoma* może złożyć około miliona jaj, a z jednego z nich może się rozwinąć od 100 tys. do 200 tys. larw.

aparat czepny

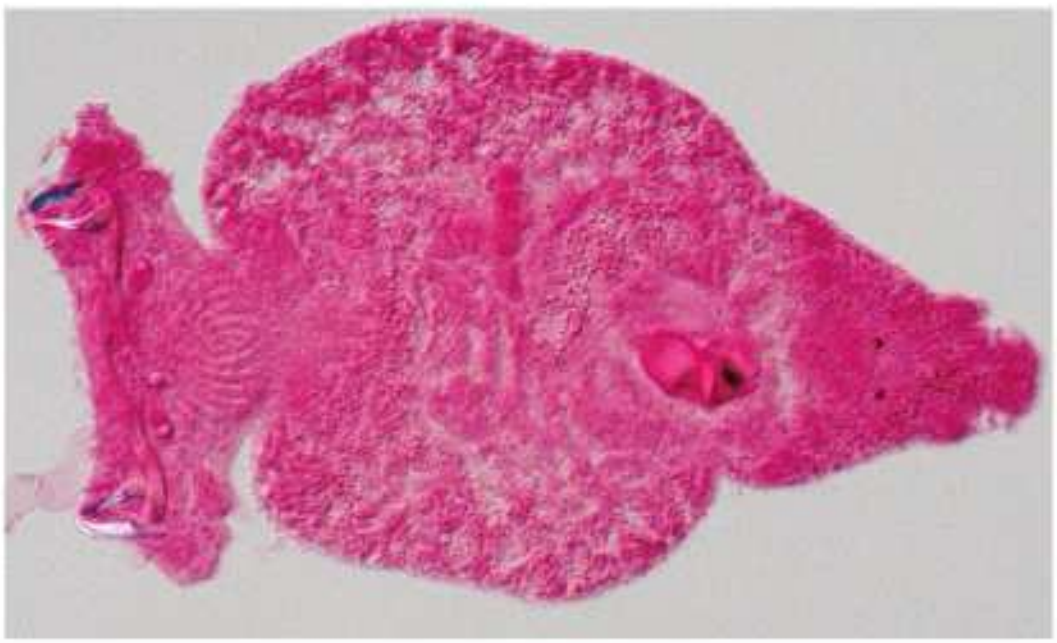
pasożyty człowieka i zwierząt

- Do dość pospolitych przywr będących pasożytami człowieka i zwierząt zaliczamy motylicę wątrobową wywołującą fascjolozę (**ryc. I.4.4.**).

Ryc. I.4.4. Motylica wątrobowa pasożytuje w wątrobie bydła i owiec, a czasami także człowieka. Żywicielem pośrednim jest ślimak wodny.

Oprócz motylicy wątrobowej do krajowych gatunków przywr zaliczamy także motyliczkę pasożytującą w drogach żółciowych ssaków roślinożernych oraz przywrę kocią – pasożyta dróg żółciowych ssaków drapieżnych, najczęściej kotów.

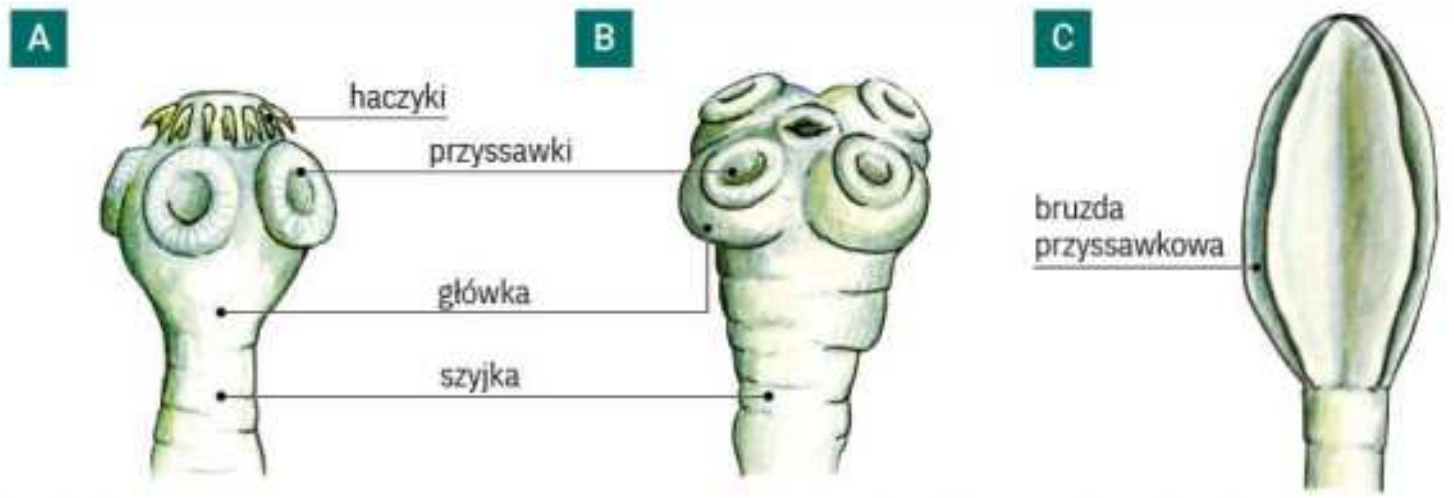
Przywry skrzelowe (inaczej monogeniczne) są pasożytami zewnętrznymi ryb słodkowodnych i morskich. Osiedlają się na ich skrzelach za pomocą aparatu czepnego. Z przodu ciała tworzą go przyssawki i gruczoły, a z tyłu – tarcza czepna w postaci haków, klamr i przyssawek. Cykl życiowy jest bardzo prosty, nie wymaga obecności żywiciela pośredniego. Najpospolitsze przywry skrzelowe to przedstawiciele z rodzajów *Dactylogyrus* i *Gyrodactylus*, pasożytujące m.in. na skrzelach ryb akwariowych. Są one przyczyną dużych strat ryb w hodowlach stawowych (**ryc. I.4.5.**).



Ryc. I.4.5. Przywra skrzelowa może powodować ogromne straty w populacji jesiotrów.

Tasiemce

Tasiemce są największymi pasożytniczymi płazińcami. Formy dorosłe żyją w przewodzie pokarmowym wszystkich kręgowców, również człowieka. Larwy bytują w różnych narządach kręgowców i bezkręgowców. Ciało tasiemców jest wydłużone i zbudowane z połączonych ze sobą segmentów zwanych członami. Wyodrębnia się w nim: **główkę** (**skoleks**) z aparatem czepnym w postaci przyssawek, bruzd i haczyków, **szyjkę** będącą miejscem powstawania nowych członów oraz **strobilę** – ciało zbudowane z członów, z których najstarsze praktycznie składają się z narządów rozrodczych męskich i żeńskich (**ryc. I.4.6.**).



Ryc. I.4.6. Przystosowania tasiemców do pasożytnictwa – główki tasiemców: uzbrojonego (A), nieuzbrojonego (B), bruzdogłowca (C).

Po zapłodnieniu ostatnie człony wypełnione jajami mogą się odrywać od pozostałej części ciała i wraz z kałem żywiciela są usuwane na zewnątrz. Tasiemce są obojnakami, a w ich cyklu życiowym występują postacie larwalne. Takie cykle życiowe wymagają żywicieli pośrednich, właściwych dla danego gatunku tasiemca. Aby cykl mógł być kontynuowany, larwy zarówno tasiemca uzbrojonego, jak i nieuzbrojonego muszą zostać zjedzone przez żywiciela. U niektórych gatunków, np. bruzdogłowca szerokiego, larwy są wolno żyjące i związane ze środowiskiem wodnym, w którym poszukują żywiciela niezbędnego do dalszego rozwoju.

W związku z pasożytniczym trybem życia tasiemce nie wykształciły układu pokarmowego. Pobieranie i wchłanianie pokarmu uwolnionego podczas trawienia w jelicie gospodarza odbywa się przez całą powierzchnię ciała (**ryc. I.4.7.**).

Ryc. I.4.7. Za najgroźniejszego dla człowieka tasiemca uważany jest tasiemiec bąblowcowy, który pasożytuje w jelicie cienkim lisa, psa i kota. Człowiek może być żywicielem pośrednim tego gatunku.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Scharakteryzuj cechy, które są osiągnięciem ewolucyjnym płazińców.
2. Porównaj cechy charakterystyczne wirków, przywr i tasiemców. Wyniki zapisz w tabeli.
3. Przedstaw cechy adaptacyjne płazińców do pasożytniczego trybu życia.

PODSUMOWANIE LEKCJI

s. 25 • Płazińce są **zwierzętami trójwarstwowymi** (mają ektodermę, endodermę i mezodermę) o dwubocznej symetrii ciała.

s. 26 • Ich ciało pokrywa **wór powłokowo-mięśniowy** zbudowany z nabłonka (u wirków orzęsiony, u pasożytów syncytialny) i mięśni gładkich.

s. 27 • **Układ pokarmowy** płazińców jest zbudowany z gardzieli i jelita o różnym stopniu rozgałęzienia.

s. 27 • Nie mają otworu odbytowego.

s. 27 • W słabo zaznaczonej **głowie koncentrują się zwoje nerwowe**, od których odchodzą pnie nerwowe.

s. 27 • Dość **prymitywne narządy zmysłów** są lepiej rozwinięte u wirków niż u pasożytów.

s. 27 • Płazińce mają układ wydalniczy typu **protonefrydialnego**.

s. 27 • Są **obojnakami o zapłodnieniu krzyżowym**, ich rozwój jest złożony ze stadiami larwalnymi i zmianą żywicieli.

s. 27 • **Do płazińców zaliczamy**: wirki, przywry, przywry skrzelowe i tasiemce.

s. 27 • **Wirki** są płazińcami wolno żyjącymi, prowadzącymi drapieżny tryb życia.

s. 28 • **Formy pasożytnicze** mają liczne przystosowania do pasożytniczego życia, takie jak: komórki receptorowe, narządy czepne, zredukowany układ pokarmowy, oddychanie beztlenowe, ogromna rozrodczość.

s. 28 • Niektóre gatunki są **pasożytami ludzi i zwierząt**, mogą być przyczyną groźnych schorzeń.

5. Wrotki i nicienie – zwierzęta z drożnym przewodem pokarmowym

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz cechy wyróżniające wrotki i nicienie;
- scharakteryzujesz wybrane grupy nicieni.

Wrotki

Wrotki są planktonowymi zwierzętami wielkości protistów. Rozmiary ich ciała mieszczą się w granicach od 50 mikrometrów do 2 milimetrów. Zamieszkują głównie wody słodkie i słone, chociaż niektóre gatunki można spotkać w glebie lub na podmokłych mchach. Wrotki w większości prowadzą aktywny tryb życia, tylko niektóre są osiadłe. Spotyka się także formy kolonijne. Na świecie występuje ponad 2000 gatunków, a w Polsce – 554.

W porównaniu z parzydełkowcami i płazińcami wrotki **mają drożny przewód pokarmowy**, rozpoczynający się otworem gębowym i zakończony otworem odbytowym. Dzięki temu zwierzęta mogą pobierać pokarm w dowolnym czasie, bez oczekiwania na strawienie i wydalenie poprzedniego. Ponadto pobieranie pokarmu może zachodzić częściej, co usprawnia metabolizm. Wrotki nie mają wora powłokowo-mięśniowego. Narządy wewnętrzne znajdują się w **pseudocelomie** – jamie ciała niewyścielonej mezodermą. Jest ona wypełniona płynem pełniącym funkcję szkieletu hydrostatycznego.

drożny przewód pokarmowy

pseudoceloma

Charakterystyczne cechy wrotków

Nazwa zwierząt pochodzi od **aparatu wrotnego** znajdującego się w przedniej części ciała. Składa się on z dwóch pierścieni rzęsek, których ruch powoduje powstanie wirów wody napędzającej pokarm do otworu gębowego. Wrotki odżywiają się drobnymi organizmami jednokomórkowymi – wiciowcami i glonami. Otwór gębowy prowadzi do jamy gębowej rozszerzającej się w gardziel z charakterystycznym aparatem żującym służącym do rozcierania pokarmu. Gardziel, do której uchodzą gruczoły ślinowe, przechodzi w przełyk, a za nim znajdują się żołądek i jelito tylne, zakończone **kloaką** (**stekiem**) (**ryc. I.5.1.**).

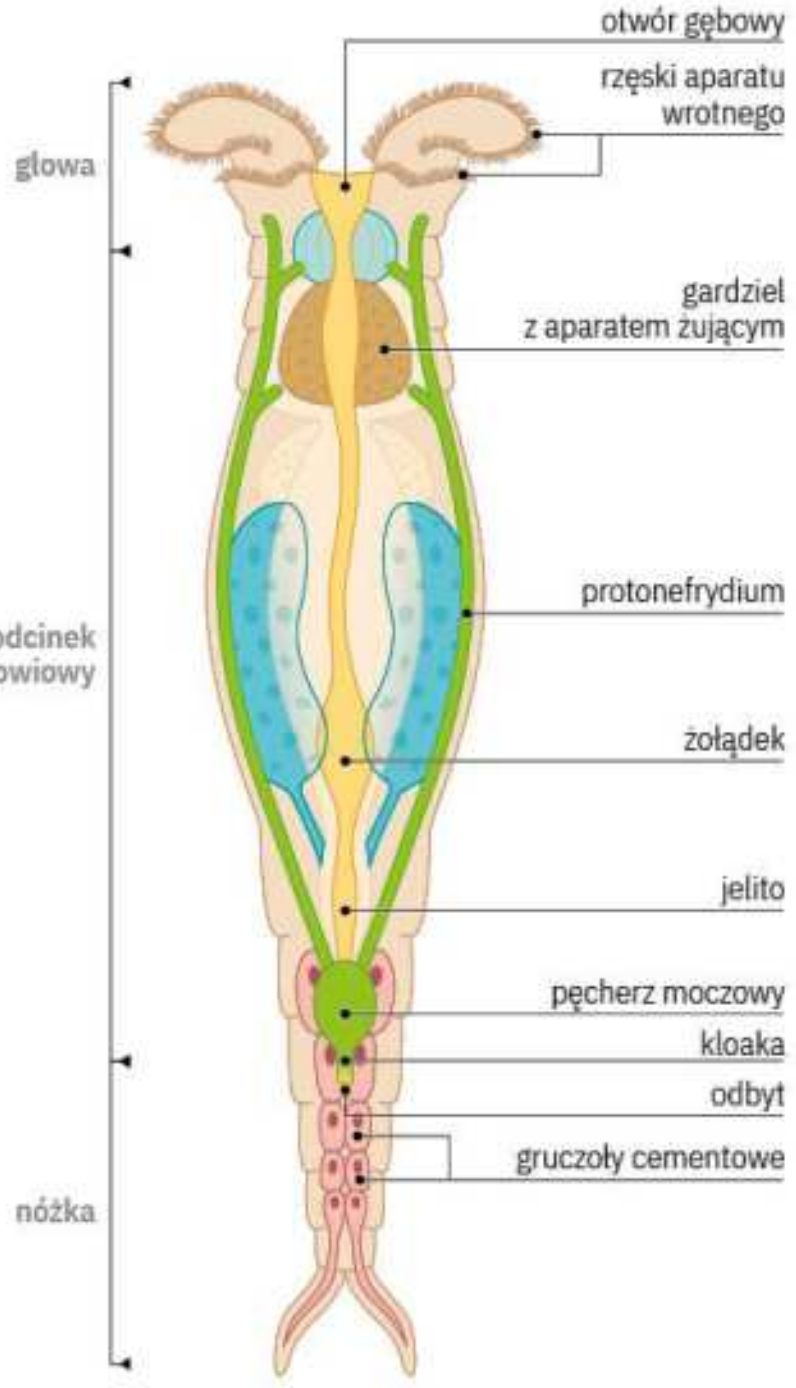
aparat wrotny

kloaka

Wrotki nie mają układów oddechowego i krwionośnego. Układ wydalniczy jest typu protonefrydialnego. Ze względu na aktywny tryb życia ich układ nerwowy koncentruje się w odcinku głowowym. Wrotki odbierają bodźce ze środowiska za pomocą czułków z włoskami dotykowymi, chemoreceptorów oraz fotoreceptorów w postaci światłoczułych plamek. Organizmy te są rozdzielnopłciowe z wyraźnie zaznaczonym dymorfizmem płciowym (samce są mniejsze od samic i giną po kopulacji). U pewnych gatunków występuje **partenogeneza** (samice produkują następne

partenogeneza

pokolenie samic z niezapłodnionych jaj), a u niektórych przemiana pokoleń – po pokoleniu rozmnażającym się partenogenetycznie, jeśli pogarszają się warunki środowiska (np. następuje wysuszenie zbiornika wodnego), pojawia się pokolenie rozmnażające się płciowo z udziałem samic i samców.



Ryc. I.5.1. Schemat budowy wrotka. Ciało ma kształt cylindryczny, składa się z trzech odcinków: głowy z aparatem rzęskowym, odcinka tułowiowego z narządami wewnętrznymi oraz nóżki zakończonej dwoma wyrostkami z gruczołami cementowymi, służącymi do przyczepiania się do podłoża.

cyklomorfoza ▸ U wrotków obserwuje się zmiany budowy morfologicznej (wielkości i kształtu) ciała – **cyklomorfozę** – w reakcji zwierząt na właściwości chemiczne, fizyczne lub biologiczne środowiska życia.

Istotną cechą wrotków jest stała liczba komórek ich ciała, np. na układ nerwowy przypada od 200 do 250 komórek, co tłumaczy u tych zwierząt brak zdolności do regeneracji.

anabioza ▸ W niekorzystnych warunkach środowiska (brak tlenu, wody, wahania temperatury) wrotki mogą przechodzić **w stan anabiozy** – życia utajonego. Wówczas wytwarzają grube otoczki i redukują metabolizm do minimum. W takim stanie mogą przetrwać wiele lat (**ryc. I.5.2.**).

Ryc. I.5.2. Przedstawiciel gromady *Bdelloidea*, u której występuje anhydrobioza – szczególny rodzaj anabiozy, polegający na usunięciu wody z organizmu wskutek wyparowywania.

Nicienie

nicienie

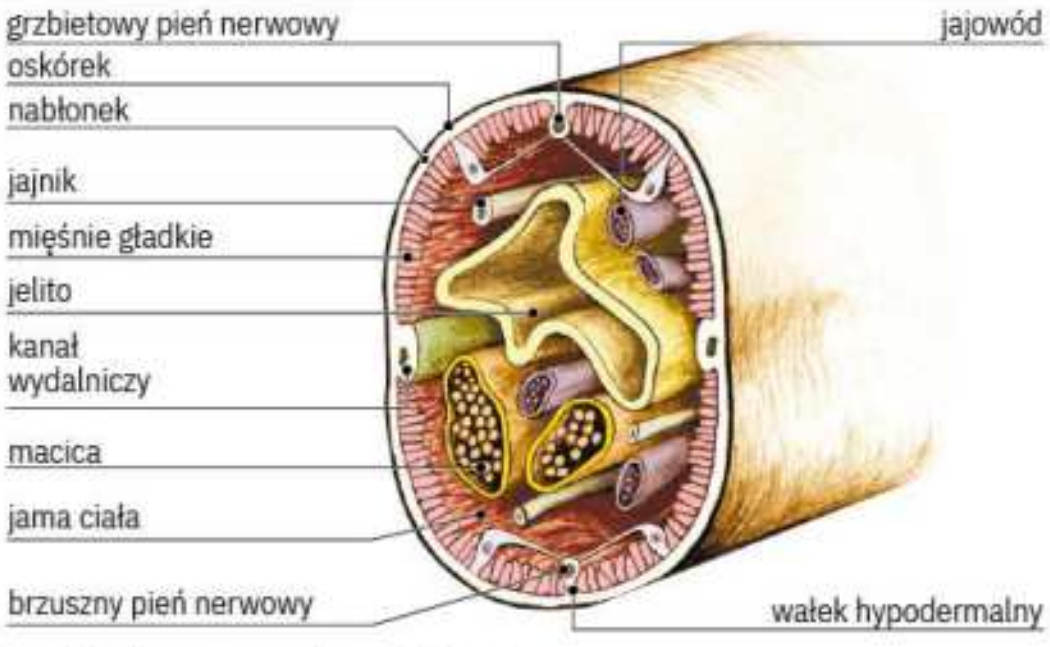
Nicienie są szeroko rozpowszechnionymi zwierzętami, które opanowały większość środowisk. Można je spotkać w wodach słodkich i słonych, w glebie, tkankach roślin i zwierząt, a także w środowiskach ekstremalnych, takich jak gorące źródła czy głębiny morskie. W glebie stanowią około 90% wszystkich organizmów wielokomórkowych. Oprócz form wolno żyjących występują liczne pasożyty roślin, zwierząt i człowieka.

Dotychczas opisano 27 tys. gatunków nicieni. Jednak przypuszcza się, że jest ich znacznie więcej, zwłaszcza wolno żyjących w glebach obszarów tropikalnych czy w oceanicznych osadach dennych.

Charakterystyczne cechy nicieni

Podobnie jak wrotki nicienie są zwierzętami pseudocelomatycznymi z drożnym przewodem pokarmowym. Ich ciało jest niesegmentowane, zazwyczaj wydłużone, kształtu cylindrycznego. Zwęża się na końcach. Długość wynosi średnio 1 mm, ale zdarzają się osobniki znacznie większe, np. pasożytnicze nicienie żyjące w łożysku kaszalota o długości 840 cm. Ciało jest pokryte **worem skórno-mięśniowym** zbudowanym z nabłonka – **hypodermy** – i dwóch **warstw mięśni podłużnych**, których skurcz powoduje wyginanie zwierzęcia (**ryc. I.5.3.**).

wór skórno-mięśniowy



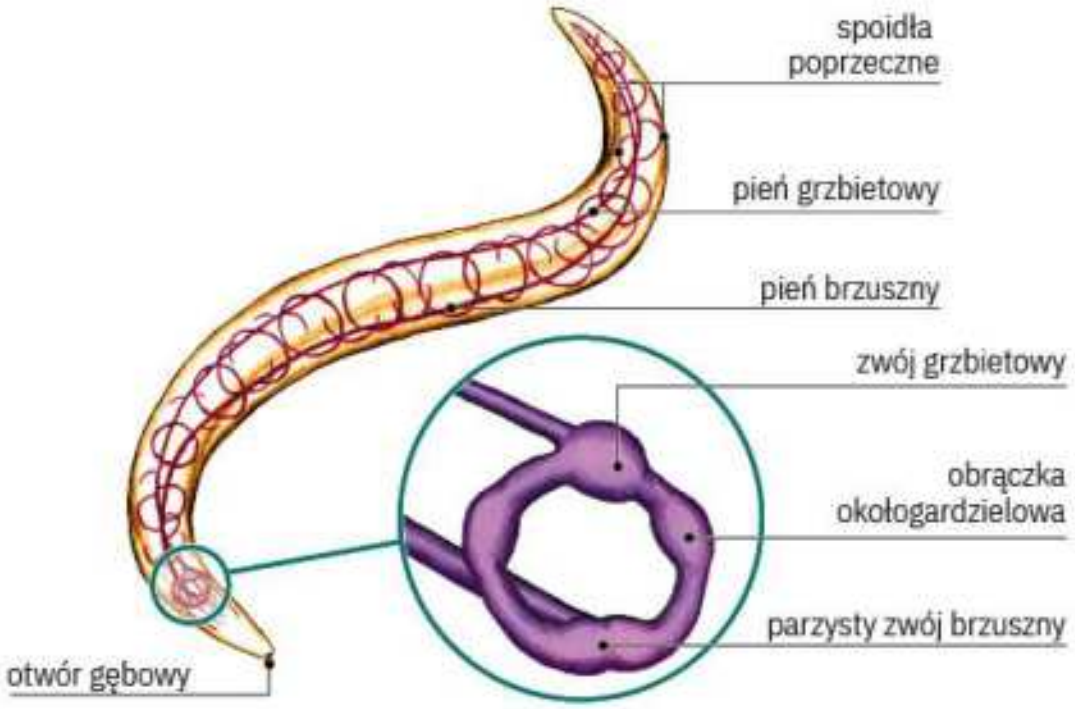
Ryc. I.5.3. Schemat budowy wewnętrznej nicienia.

oskórek Wytworem nabłonka jest kolagenowy **oskórek** – **kutykula**. Przez kutykulę przenikają woda i gazy. Ponadto oskórek chroni organizm przed niekorzystnym wpływem czynników środowiska życia. Jest on okresowo zrzucany podczas **linienia**. Wewnątrz wora rozmieszczone są narządy wewnętrzne. Zwierzęta nie mają układu oddechowego ani krwionośnego. Oddychają całą powierzchnią ciała. Drożny układ pokarmowy składa się z otworu gębowego, gardzieli zaopatrzonej w **kutykularne ząbki** lub **kłująco-ssące sztyleciki** u pasożytów oraz jelita podzielonego na przednie, środkowe i tylne. Układ nerwowy ulega dalszej centralizacji w przedniej części ciała, gdzie znajduje się **pierścień okołogardzielowy**. Odchodzą od niego pnie nerwowe biegnące wzdłuż ciała. Narządy zmysłu nicieni to głównie receptory dotyku i chemoreceptory (**ryc. I.5.4.**).

linienie

brak układu oddechowego i krwionośnego

układ nerwowy



Ryc. I.5.4. Schemat budowy układu nerwowego nicieni.

protonefrydia Układ wydalniczy nicieni jest typu **protonefrydialnego**. Tworzą go dwa podłużne kanały wydalnicze biegnące wzdłuż całego ciała, łączące się w jego przedniej części w przewód wyprowadzający zakończony otworem wydalniczym.

rozdzielnopłciowe Nicienie są w większości **rozdzielnopłciowe**, z dymorfizmem płciowym (samce są mniejsze od samic). Zapłodnienie jest najczęściej wewnętrzne. Samce po nim giną. Podobnie jak u płazińców liczba produkowanych jaj jest bardzo duża, szczególnie u pasożytów, np. glista ludzka wytwarza dziennie około 200 tys. jaj. Larwy podczas rozwoju złożonego kilkakrotnie przechodzą proces linienia, zrzucając oskórek nie tylko pokrywający powierzchnię ciała, lecz także wyścielający jelito przednie i tylne. Między kolejnymi linieniami następuje wzrost larw i ich przeobrażenie. Często larwy zjadają inny rodzaj pokarmu niż osobniki dorosłe. Nicienie nie rozmnażają się bezpłciowo i nie mają zdolności do regeneracji.

nicienie pasożytnicze **Pasożytnicze nicienie** mają złożone cykle życiowe, podobnie jak płazińce. Przykładem jest glista ludzka, która żyje w jelicie cienkim człowieka. Jej larwy muszą odbyć skomplikowaną wędrówkę w układach pokarmowym, oddechowym i krwio-

nośnym, aby osiągnąć dojrzałość płciową. W większości do swojego rozwoju potrzebują żywiciela jednego gatunku, ale są też znane obleńce (np. włosień kręty), które żyją w osobnikach należących do różnych gatunków.

Przegląd nicieni

Nicienie wolno żyjące

Gatunki wolno żyjące w zdecydowanej większości odżywiają się bakteriami. Niektóre z nich stały się obiektem badań laboratoryjnych. Przykładem jest maleńki, dochodzący do około 1 mm, bakteriożerny nicień glebowy *Caenorhabditis elegans*. W ciągu trzech dni osiąga zdolność do rozrodu. Jest pierwszym zwierzęciem, którego genom dokładnie poznano. Ma tylko 6 par chromosomów i składa się z 959 komórek. Ze względu na łatwość w hodowli, prostą budowę ciała i znajomość genomu nicień jest organizmem modelowym w badaniach nad rozwojem, zachowaniem oraz ekspresją genów. Nicieniem wolno żyjącym w warunkach ekstremalnych jest węgorek octowy. Żyje w fermentujących owocach, a nawet w occie winnym (**ryc. I.5.5.**).

Ryc. I.5.5. Węgorek octowy jest organizmem modelowym. Może żyć w środowisku o silnym zakwaszeniu o pH około 1 (stężony kwas octowy).

Pasożyty roślin i grzybów

Ta grupa nicieni atakuje rośliny uprawne i grzyby. Pasożyty, takie jak mątwik buraczany, mątwik ziemniaczany czy węgorek pszeniczny, często są przyczyną wielu szkód w uprawach (**ryc. I.5.6. i I.5.7.**).

Ryc. I.5.6. Węgorek pszeniczny jest pasożytem pszenicy i żyta. W kłosach zaatakowanych zbóż tworzy brunatne narośla, tzw. galasy, które mogą zawierać nawet po kilka tysięcy larw.

Ryc. I.5.7. Mątwik buraczany jest pasożytem buraków, brukwi, rzepaku i kapusty. Zainfekowane rośliny wytwarzają liczne i drobne korzenie przybyszowe tworzące charakterystyczną brodę korzeniową.

Pasożyty zwierząt i człowieka

Wiele gatunków nicieni to pasożyty bezkręgowców i kręgowców. Są one przyczyną strat wśród zwierząt gospodarskich, m.in. królików czy drobiu. Również zwierzęta domowe, takie jak psy i koty, mogą być zarażone nicieniami. Te same nicienie mogą się także rozwijać u człowieka i wywoływać groźne choroby. W Polsce do najbardziej rozpowszechnionych nicieni chorobotwórczych człowieka należą glista ludzka, owsik oraz włosień. W krajach tropikalnych larwy niektórych nicieni mogą być przenoszone przez krwiopijne owady (**ryc. I.5.8.**).

Ryc. I.5.8. W Azji i Afryce nicień *Wuchereria bancrofti* wywołuje słoniowaciznę. Choroba objawia się silnym obrzękiem naczyń limfatycznych dolnych części ciała. Mikroskopijne larwy nicienia są przenoszone przez komary, a dorosłe osobniki pasożytują w naczyniach limfatycznych człowieka.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Przedstaw cechy, które są osiągnięciem ewolucyjnym wrotków.
2. Scharakteryzuj adaptacje wrotków do niekorzystnych warunków środowiska.
3. Omów rolę aparatu wrotnego w odżywianiu wrotków.
4. Wymień cechy, które nie występowały u wrotków, a pojawiły się u nicieni.
5. Wskaż cechy nicieni, które pozwoliły na opanowanie większości środowisk.
6. Wyjaśnij znaczenie nicieni w procesach glebotwórczych.

PODSUMOWANIE LEKCJI

s. 31 ▸
- Wrotki są **pseudocelomatycznymi organizmami** mikroskopijnych rozmiarów.

s. 31 ▸
- Mają **drożny przewód pokarmowy** z otworem gębowym i otwór odbytowy oraz rozwinięty układ pokarmowy z silnie umięśnioną gardzielą z aparatem żującym.

s. 32 ▸
- Adaptacją do zmian w środowisku życia wrotków jest zdolność do **cyklomorfozy**, przemiana pokoleń oraz przechodzenie w stan anabiozy.

s. 33 ▸
- **Nicienie** to trójwarstwowe, niesegmentowane, dwubocznie symetryczne zwierzęta.

s. 34 ▸
- Ciało nicieni jest wydłużone, cylindryczne, pokryte okresowo zrzucanym **oskórkiem**.

s. 34 ▸
- Wzrost nicieni jest związany ze zrzucaniem oskórka – **linieniem**.

s. 33 ▸
- Nicienie mają **wór skórno-mięśniowy** zbudowany z nabłonka – hypodermy – dwóch warstw mięśni podłużnych, których skurcz powoduje wyginanie zwierzęcia.

- Nicienie nie mają **układu oddechowego ani układu krążenia**. s. 34
- Ich specyficzny **układ wydalniczy typu protonefrydialnego** nie zawiera komórek płomykowych. s. 34
- **Układ nerwowy** jest zbudowany z pierścienia okołogardzielowego i pni nerwowych. s. 34
- Nicienie to zwierzęta **rozdzielnopłciowe**. W ich cyklu życiowym występuje larwa, która przechodzi kilkakrotnie proces linienia. s. 34
- Są to zwierzęta wolno żyjące i **pasożytnicze roślin, zwierząt i człowieka**. Żyją we wszystkich środowiskach. s. 34

6. Pierścienice – segmentowane zwierzęta z wtórną jamą ciała

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz cechy wyróżniające pierścienice;
- scharakteryzujesz wybrane grupy pierścienic.

zwierzęta segmentowane

Pierścienice to zwierzęta o robakowatym kształcie ciała, podzielonym na segmenty – **metamery**. Żyją w morzach, wodach słodkich, a także w glebie. Prowadzą wolny tryb życia. Liczba współcześnie opisanych gatunków pierścienic wynosi od 12 tys. do 18 tys. Tylko nieliczne z nich są pasożytami.

wtórna jama ciała

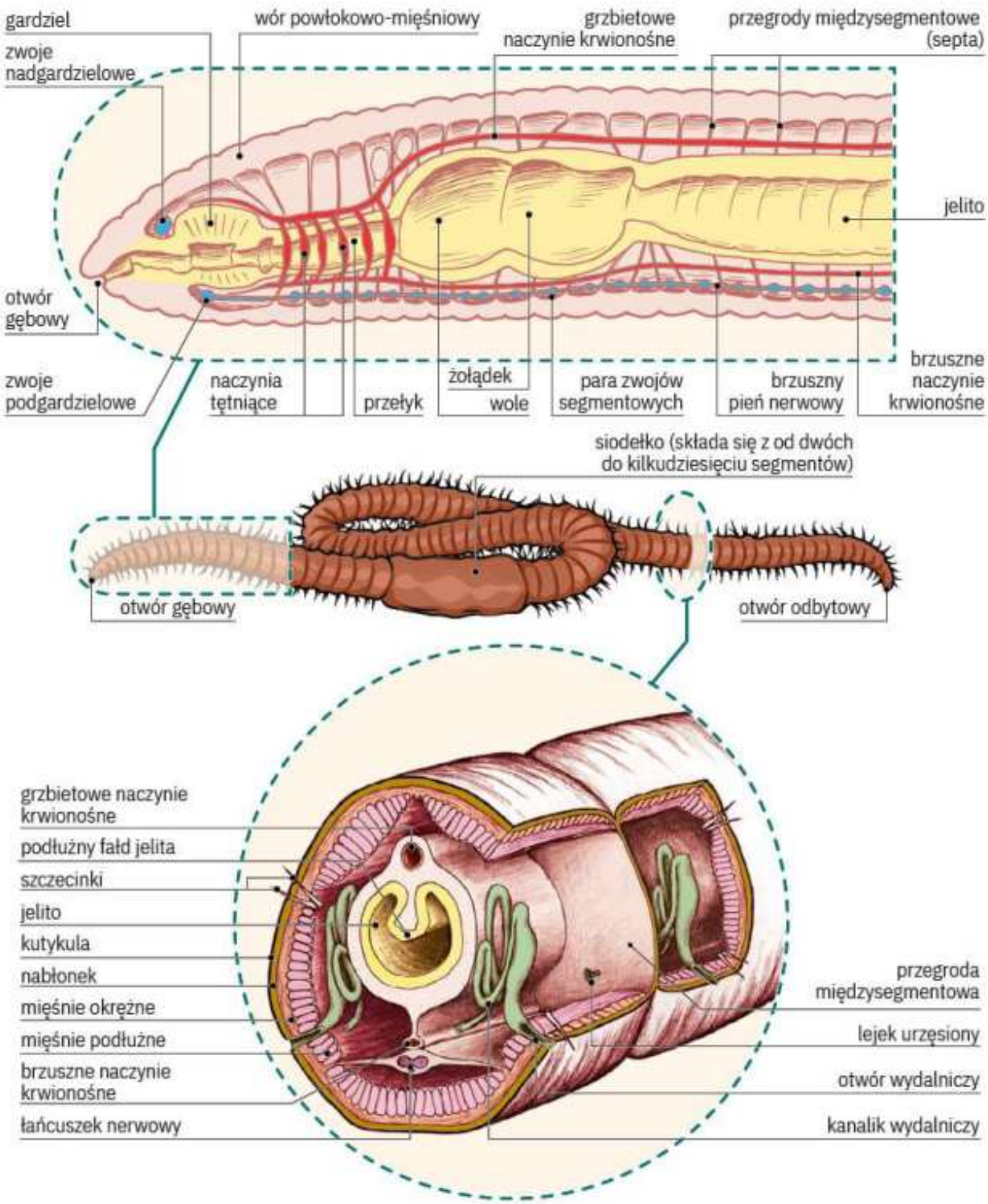
Do nowych cech, jakie wykształciły pierścienice, należy **wtórna jama ciała** – celoma. Jest ona wyścielona nabłonkiem mezodermalnym. Wykształcenie wtórnej jamy ciała pozwoliło pierścienicom oddzielić mięśnie powłok ciała od mięśni układu pokarmowego. Powstała przestrzeń, w której mogą się rozwijać nowe narządy i doskonalić już istniejące. Płyn wypełniający celomę spełnia funkcję szkieletu hydraulicznego.

Drugą ważną cechą jest podział ciała na powtarzające się odcinki – **segmenty** (metamery). Wykształcenie metamerów spowodowało zwiększenie rozmiarów ciała pierścienic, a w konsekwencji – większe zapotrzebowanie na tlen. Dlatego zwierzęta te wykształciły narządy oddechowe. Następną konsekwencją metamerii było wytworzenie **układu krążenia**, który zapewnił transport substancji między segmentami. Metameria przyczyniła się także do wykształcenia odcinka głowowego w procesie **cefalizacji** i usprawnienia sposobu poruszania zwierząt, a tym samym do większej ich aktywności. **Metameria** występuje w dwóch postaciach: homonomicznej (poszczególne segmenty są podobne do siebie) i heteronomicznej (o różnych segmentach).

metameria

Charakterystyczne cechy pierścienic

Ciało pierścienic pokrywa wór powłokowo-mięśniowy, który jest zbudowany z jednowarstwowego nabłonka pokrytego kolagenowym oskórkiem oraz mięśni okrężnych i podłużnych (**ryc. I.6.1.**).



Ryc. I.6.1. Budowa pierścienic na przykładzie dżdżownicy.

Antagonistyczny skurcz tych mięśni w połączeniu ze zmianą ciśnienia płynu w jamie ciała wywołuje ruch zwierząt. U wieloszczetów za funkcję lokomotoryczną odpowiadają **parapodia** – nieczłonowane, rozmieszczone na każdym segmencie wypustki ciała zakończone szczecinkami. Pierścienice to głównie zwierzęta drapieżne. Część morskich gatunków odżywia się na drodze filtracji, a lądowe zjadają martwą materię organiczną – **detrytus**. Pierścienice wykształciły szereg przystosowań do sposobu odżywiania, np. gatunki drapieżne są zaopatrzone w chitynowe szczęki, konsumenci detrytusu mają silnie umięśnioną gardziel, a krwiopijne pijawki produkują **hirudynę** – substancję hamującą krzepnięcie krwi pobranej od ofiary. Przełyk w dolnej części tworzy rozszerzone **wole**, w którym jest gromadzony pokarm.

parapodia

hirudyna

Pierścienice w większości oddychają całą powierzchnią ciała, ale są też gatunki, które wykształciły zewnętrzne narządy oddechowe – **skrzela zewnętrzne** (dobrze ukrwione wyrostki parapodiów).

Układ krążenia jest zamknięty. Krew krąży w naczyniach krwionośnych do przodu naczyniem grzbietowym i do tyłu naczyniem brzusznym. Są one w każdym segmencie połączone naczyniami okrężnymi, które w przedniej części pełnią funkcję serca. Krew nie wylewa się do jamy ciała. Zwierzęta mają barwniki oddechowe: hemoglobinę, hemerytrynę i zieloną chlorokruorynę rozpuszczone w osoczu krwi.

zamknięty układ krążenia

Układ nerwowy jest **drabinkowy** i odzwierciedla budowę metameryczną. Jest zbudowany z dwóch zwojów nadprzełykowych i dwóch podprzełykowych połączonych w obrączkę okołoprzełykową. Od zwojów podprzełykowych biegną dwa pnie nerwowe połączone poprzecznymi spoidłami w każdym segmencie. Narządy zmysłu to: fotoreceptory w postaci komórek lub oczu, które pijawkom umożliwiają rozróżnianie gatunków, receptory dotyku i u niektórych – narządy równowagi.

drabinkowy układ nerwowy

Narządem wydalniczym i osmoregulacyjnym są **metanefrydia**. Są to ułożone po parze w każdym segmencie orzęsione lejki, otwierające się do jamy ciała jednego segmentu i kanalika wydalniczego przechodzącego do następnego segmentu w którym otwiera się otworem wydalniczym znajdującym się po bokach ciała. Produktem przemiany materii u form lądowych jest **mocznik**, a u wodnych – **amoniak**. Pierścienice są rozdzielnopłciowe lub obojnacze. Zapłodnienie jest krzyżowe. Rozwój może być prosty lub złożony z występującą wolno żyjącą, planktoniczną larwą **trochoforą**.

metanefrydia

rozdzielnopłciowe lub obojnacze

larwa

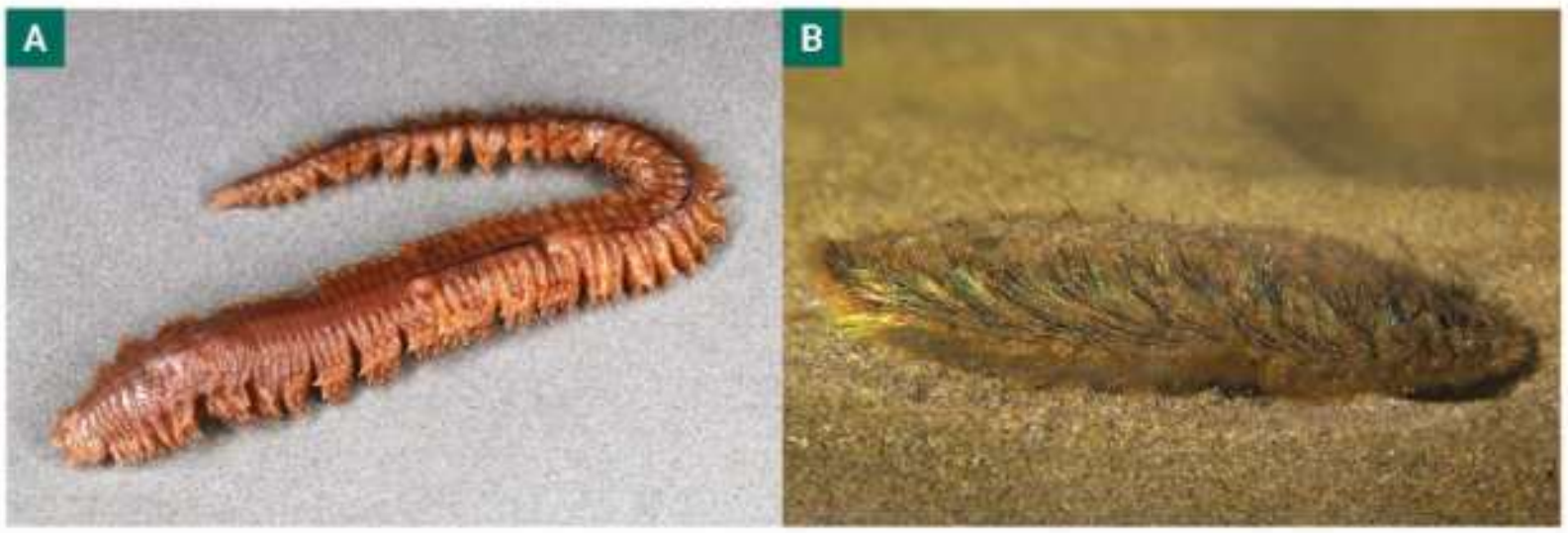
Przegląd pierścienic

Wieloszczety

Wieloszczety żyją w morzach wszystkich stref klimatycznych na różnych głębokościach. Mają wykształconą głowę, na której są umieszczone narządy zmysłu: oczy, głaszczki i wąsy. Gatunki drapieżne mogą wysuwać na zewnątrz gardziel uzbrojoną w chitynowe ząbki lub szczęki. Poruszają się za pomocą parapodiów, na których występują liczne szczecinki. Są rozdzielnopłciowe i przechodzą rozwój złożony z obecnością larwy – trochofory. U niektórych wieloszczetów występuje rozmna-

żanie bezpłciowe przez podział poprzeczny osobnika. Niektóre są pasożytami wewnętrznymi lub zewnętrznymi zwierząt, np. ostryg czy liliowców.

Wieloszczetem pełzającym jest mieszkająca w Bałtyku **nereida**, która osiąga długość 20 cm. Spotkać ją można zagrzebaną na dnie. Innym gatunkiem pełzającym jest **mysz morska** występująca w Morzu Północnym. Wieloszczety osiadłe żyją na dnie zbiorników zagrzebane w mule. Często budują rurkowate domki, w których zamieszkują. Przykładami tych organizmów są bałtycki mułożerny **nalepian** oraz filtrująca za pomocą czułków zawiesinę organiczną **sabella** (**ryc. I.6.2.**).



Ryc. I.6.2. Przedstawiciele wieloszczetów: nereida (A), mysz morska (B).

Skąposzczety

mułożercy i glebożercy

Skąposzczety są pierścienicami zamieszkującymi glebę i wody słodkie. Życie w glebie spowodowało znaczne przeobrażenia w budowie ich ciała: nie mają czułków, głaszczek, parapodiów ani skrzeli. Funkcje narządu ruchu pełnią szczecinki (po cztery na jednym segmencie). Segmentacja wewnętrzna odpowiada segmentacji zewnętrznej. Zazwyczaj odżywiają się materią organiczną – są mułożercami i glebożercami.

Skąposzczety są obojnakami. Występuje u nich zapłodnienie krzyżowe (wymiana plemników między dwoma kopulującymi obojnakami). Komórki gruczołowe niektórych segmentów tworzących tzw. siodełko wytwarzają śluzowaty kokon (mufkę), do którego są składane jaja. Kokon następnie zostaje zsunięty z ciała do gleby, gdzie rozwijają się młode skąposzczety (**ryc. I.6.1.**).

Do najbardziej znanych przedstawicieli skąposzczetów zaliczamy **dżdżownicę ziemną**, która tworząc korytarze w glebie, przyczynia się do jej spulchniania i wentylacji. Gruczoły wapienne dżdżownicy neutralizują kwasy humusowe, przez co podwyższają pH gleby. Podobną rolę odgrywają **wazonkowce**, żyjące w bardzo dużym zagęszczeniu w ogrodowej ziemi próchniczej. Są to białawe pierścienice o długości ciała około 1 cm (**ryc. I.6.3.**).

Ryc. I.6.3. Dżdżownica ziemna (A), wazonkowce (B).

Niektóre skąposzczety są drapieżnikami, a ich ofiarami są szkodliwe dla roślin nicienie. Natomiast w wodach bogatych w substancje odżywcze żyją **rureczniki**, które odznaczają się dużą tolerancją na brak tlenu w wodzie (**ryc. I.6.4.**).

Ryc. I.6.4. Rureczniki mogą żyć w wodach silnie zanieczyszczonych, nawet w ściekach miejskich. Dlatego są wykorzystywane jako biologiczne wskaźniki czystości wód (bioindykatory).

Pijawki

Pijawki tworzą najbardziej wyspecjalizowaną grupę pierścienic. Żyją głównie w wodach słodkich, ale znane są również gatunki morskie i lądowe (w klimacie ciepłym i wilgotnym). Ich ciało składa się ze stałej liczby pierścieni (34), jest grzbieto-brzusznie spłaszczone, bez wyodrębnionej głowy, szczecinek i parapodiów. Jama ciała jest wyraźnie zredukowana bez poprzecznych przegród między segmentami. Pijawki są drapieżnikami lub pasożytami zewnętrznymi kręgowców. Do ciała żywiciela przyczepiają się za pomocą dwóch przyssawek: gębowej i tylnej, a ich otwór

gębowy jest zaopatrzony w szczęki. Mają również wole podzielone na liczne kieszenie, w których magazynują krew. Wiele pijawek połyka ofiarę (np. larwy owadów, ślimaki, skąposzczety, a nawet dżdżownice) w całości. Największa polska drapieżna pijawka to **pijawka końska** dorastająca do 20 cm długości. Nieco mniejsza jest **pijawka lekarska**, która odżywia się krwią ptaków, płazów i ssaków. Podlega ochronie gatunkowej (**ryc. I.6.5.**).

Ryc. I.6.5. Pijawki: końska (A) i lekarska (B).

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Przedstaw cechy odróżniające pierścienice od nicieni.
2. Wyjaśnij znaczenie pierścienic jako bioindykatorów.
3. Przedstaw przystosowania pierścienic do pasożytniczego i drapieżnego trybu życia.

PODSUMOWANIE LEKCJI

s. 37 ▸ • Pierścienice są **zwierzętami segmentowanymi** o dwubocznej symetrii ciała.

s. 37 ▸ • Mają **wtórną jamę ciała** (celomę).

s. 39 ▸ • Krew krąży w **zamkniętym układzie krwionośnym**.

s. 39 ▸ • Układ nerwowy jest **typu drabinkowego**.

s. 39 ▸ • Układ wydalniczy jest **metanefrydialny**.

s. 39 ▸ • Wykształciły one **parapodia** jako pierwotne narządy ruchu.

s. 39 ▸ • Są **zwierzętami rozdzielnopłciowymi lub obojnakami**, a ich rozwój jest prosty lub złożony.

s. 39 ▸ • W rozwoju złożonym występuje **larwa**.

s. 40 ▸ • Pierścienice pełnią istotne funkcje w środowisku: są drapieżnikami, filtratorami, **glebożercami i mułożercami**.

7. Stawonogi – najliczniejsza grupa zwierząt

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz cechy wyróżniające stawonogi;
- scharakteryzujesz wybrane grupy stawonogów.

Stawonogi są najliczniejszym typem zwierząt na świecie. Żyją we wszystkich dostępnych środowiskach wodnych i lądowych kuli ziemskiej. Jako jedyne bezkręgowce opanowały zdolność do aktywnego lotu. Aby zasiedlić różnorodne środowiska, musiały się przystosować do rozmaitych trybów życia i sposobów poruszania się, pobierania pokarmu wszystkimi możliwymi sposobami, a także odżywiania się każdym rodzajem pokarmu.

Stawonogi wykazują cechy wspólne z pierścienicami, takie jak: dwuboczna symetria ciała, wyraźnie zaznaczona metameria ciała u zarodków i metameria heteronomiczna u osobników dorosłych oraz drabinkowy układ nerwowy wykazujący tendencję do zlewania się.

Cechy stawonogów, które pozwoliły im osiągnąć sukces ewolucyjny

- Ciało stawonogów jest **segmentowane heteronomicznie**. Sąsiadujące segmenty łączą się ze sobą, tworząc odcinki ciała – **tagmy – głowę, tułów oraz odwłok**. U niektórych stawonogów – skorupiaków i pajęczaków – tagmy łączą się ze sobą (np. głowa z tułowiem), tworząc głowotułów.

◂ **tagmy**

- Po bokach ciała od każdego segmentu odchodzą **członowane odnóża** zbudowane z odcinków połączonych ruchomo. Pozwala to na wykonywanie złożonych ruchów. Ze względu na rozmieszczenie odnóża te dzielimy na głowowe, tułowiowe i odwłokowe. Na głowie przekształciły się one w czułki pełniące funkcje narządów zmysłu lub w narządy gębowe służące do pobierania i rozdrabniania pokarmu. Na tułowiu i odwłoku pełnią funkcje oddechowe, lokomocyjne (służące do kroczenia czy pływania), chwytne i kopulacyjne.

◂ **członowane odnóża**

- Ciało stawonogów pokrywa **szkielet zewnętrzny** utworzony z oskórka zbudowanego z chityny oraz soli wapnia i magnezu. Składa się z płytek grzbietowych, brzusznych i bocznych znajdujących się po bokach ciała. Zewnętrzne płytki są połączone ruchomo lub mogą się zrastać w **jednolity pancerz**. Grubość pancerza jest zróżnicowana, między poszczególnymi tagmami jest on bardzo cienki i elastyczny.

◂ **szkielet zewnętrzny**

Powstanie szkieletu zewnętrznego spowodowało zmiany w organizacji budowy stawonogów. Konsekwencją tego jest **brak wora powłokowo-mięśniowego**, który

◂ brak wora powłokowo-mięśniowego

występuje u robaków. Układ mięśniowy stanowią wiązki mięśni poprzecznie prążkowanych, których praca odpowiada za funkcjonowanie narządów wewnętrznych, a także odnóży. Zapewnia to sprawną i precyzyjną lokomocję szczególnie u owadów latających.

Obecność chitynowego szkieletu zewnętrznego sprawia, że nieograniczony wzrost jest niemożliwy, i dlatego stawonogi nie osiągają dużych rozmiarów ciała. Wadę szkieletu zewnętrznego stanowi konieczność zrzucania co jakiś czas twardego pancerza chitynowego w **procesie linienia**.

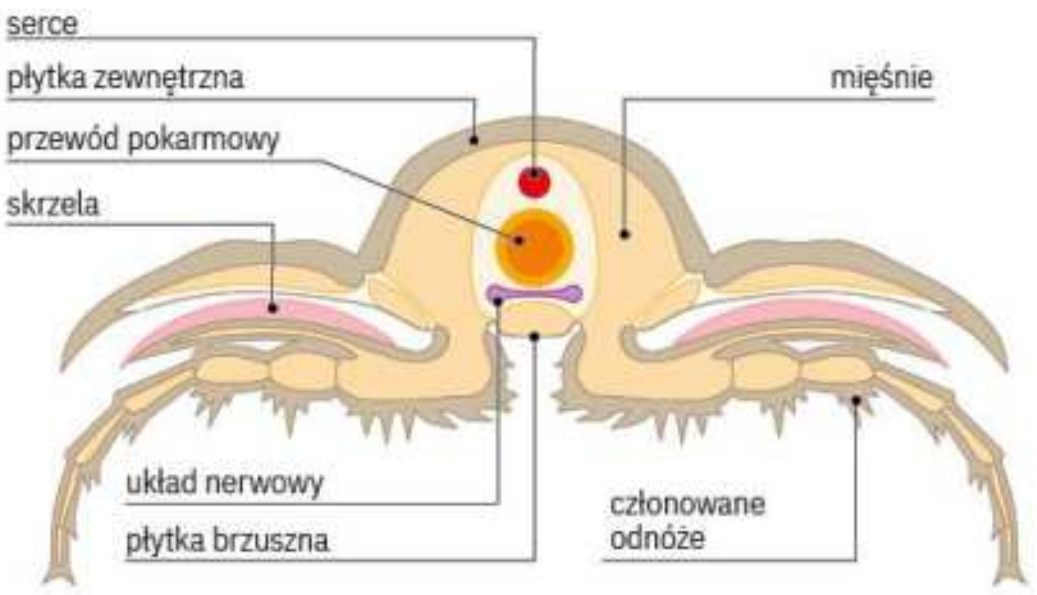
linienie

szkielet hydrauliczny

Chitynowy pancerz przejął funkcję **szkieletu hydraulicznego**, a wykształcenie tagm spowodowało zanik przegród segmentalnych. Efektem tego jest wykształcenie tzw. **miksocelu**, czyli mieszanej jamy ciała powstałej z połączenia celomy z pierwotną jama ciała.

miksocel

Ponadto szkielet zewnętrzny stanowi ochronę stawonogów lądowych przed utratą wody oraz uniemożliwia wymianę gazową przez powłoki ciała. Wymusiło to wykształcenie narządów wymiany gazowej umożliwiającej oddychanie na lądzie, takich jak: **tchawki, worki płucne i płucotchawki** (**ryc. I.7.1.**).



Ryc. I.7.1. Przekrój przez ciało stawonoga.

Cechy budowy stawonogów

otwarty układ krwionośny

W otwartym układzie krwionośnym stawonogów po raz pierwszy pojawia się **serce** – tętniący, cewkowaty narząd położony po grzbietowej stronie ciała. W sercu znajdują się otwory z zastawkami – **ostia**, przez które **hemolimfa** dostaje się do jego wnętrza. Skurcz serca tłoczy hemolimfę do naczyń tętniczych, z których wylewa się ona do jamy ciała i obmywa narządy wewnętrzne, a następnie wraca do serca i naczyń. W hemolimfie występują rozpuszczone barwniki oddechowe: hemoglobina i hemocyjanina. U owadów nie ma tych barwinków, a tlen jest transportowany przez tchawki.

hemolimfa

Budowa narządów oddechowych wiąże się ze środowiskiem życia. Stawonogi wodne mają cienkościenne, blaszkowate, silnie ukrwione skrzela, które znajdują się

u nasady odnóży i często są okryte brzegiem pancerza. Stawonogi lądowe oddychają za pomocą **tchawek** (część pajęczaków, owady i wije), **worków płucnych** (część pajęczaków) i **płucotchawek** (u niektórych pająków). U gatunków wtórnie wodnych, np. larw niektórych owadów, wykształciły się skrzelotchawki – wyrostki po bokach ciała, do których wnikają tchawki. Drobne stawonogi, gatunki pasożytnicze czy larwy niektórych gatunków oddychają całą powierzchnią ciała.

tchawki, worki płucne i płucotchawki

Układ pokarmowy stawonogów jest zbudowany z trzech odcinków: jelita przedniego, środkowego i tylnego. Odcinki te są modyfikowane w zależności od rodzaju pożywienia i sposobu jego pobierania. Przedni i tylny odcinek jelita są pokryte chityną, a trawienie odbywa się tylko w jelicie środkowym, do którego wydzielane są enzymy trawienne. Otwór gębowy otaczają zmodyfikowane odnóża, które utworzyły **aparat gębowy**. Uchodzą tutaj również gruczoły ślinowe umożliwiające wstępne trawienie. U skorupiaków występuje **żołądek żujący,** zaopatrzony w chitynowe ząbki służące do rozdrabniania pokarmu, a za nim – żołądek cedzący, spełniający **funkcję filtrującą**. U pajęczaków wykształcił się **żołądek ssący**, pozwalający na wysysanie płynnej części pokarmu. U niektórych drapieżnych pajęczaków, które wprowadzają do ciała swoich ofiar enzymy trawienne, zachodzi trawienie pozajelitowe. Układ pokarmowy kończy się **kloaką**, która uchodzi do otworu odbytowego.

żołądek żujący

Na układ wydalniczy stawonogów składają się **zmodyfikowane metanefrydia**, które straciły charakter narządów segmentalnych. W zależności od miejsca położenia noszą one nazwę **gruczołów czułkowych** (leżą u podstawy drugiej pary czułków) lub **szczękowych** (leżą u podstawy drugiej pary szczęk). U niektórych stawonogów są one położone po obu stronach tułowia i noszą nazwę **gruczołów biodrowych**. Drugim narządem wydalniczym są **cewki Malpighiego**, uchodzące do przewodu pokarmowego na granicy jelita środkowego i tylnego. Mają postać ślepo zakończonych w jamie ciała rurek, którymi zbierają z hemolimfy szkodliwe produkty przemiany materii. Ujściem otwierają się do końcowego odcinka jelita – kloaki, którym wraz z niestrawionymi resztkami pokarmowymi są usuwane na zewnątrz (**ryc. I.7.2.**).

zmodyfikowane metanefrydia

cewki Malpighiego

Stawonogi mają **układ nerwowy drabinkowy** zbudowany z parzystego zwoju nerwowego, obrączki okołoprzełykowej i dwóch pni brzusznych zaopatrzonych w parzyste zwoje segmentalne. W wyniku centralizacji i tendencji do łączenia się zwojów segmentalnych w większe doszło u stawonogów do wytworzenia jednego **ośrodka centralnego**. Koncentracji układu nerwowego towarzyszy dalsze doskonalenie narządów zmysłów: fotoreceptorów i chemoreceptorów. Do fotoreceptorów należą **oczy proste** reagujące tylko na natężenie światła oraz **oczy złożone** występujące u owadów. Oczy złożone zbudowane z wielu pojedynczych elementów – **omatidiów** – pozwalają na odbiór obrazu o charakterze **mozaikowym**, który następnie jest analizowany w centralnym układzie nerwowym. Spośród chemoreceptorów rozwinęły się receptory węchu rozmieszczone na czułkach, receptory smaku wokół otworu gębowego oraz receptory dotyku – włoski dotykowe i równowagi (statocysty), a także receptory słuchu – **narządy tympanalne**, dzięki którym osobniki potrafią zlokalizować źródło dźwięku.

układ nerwowy

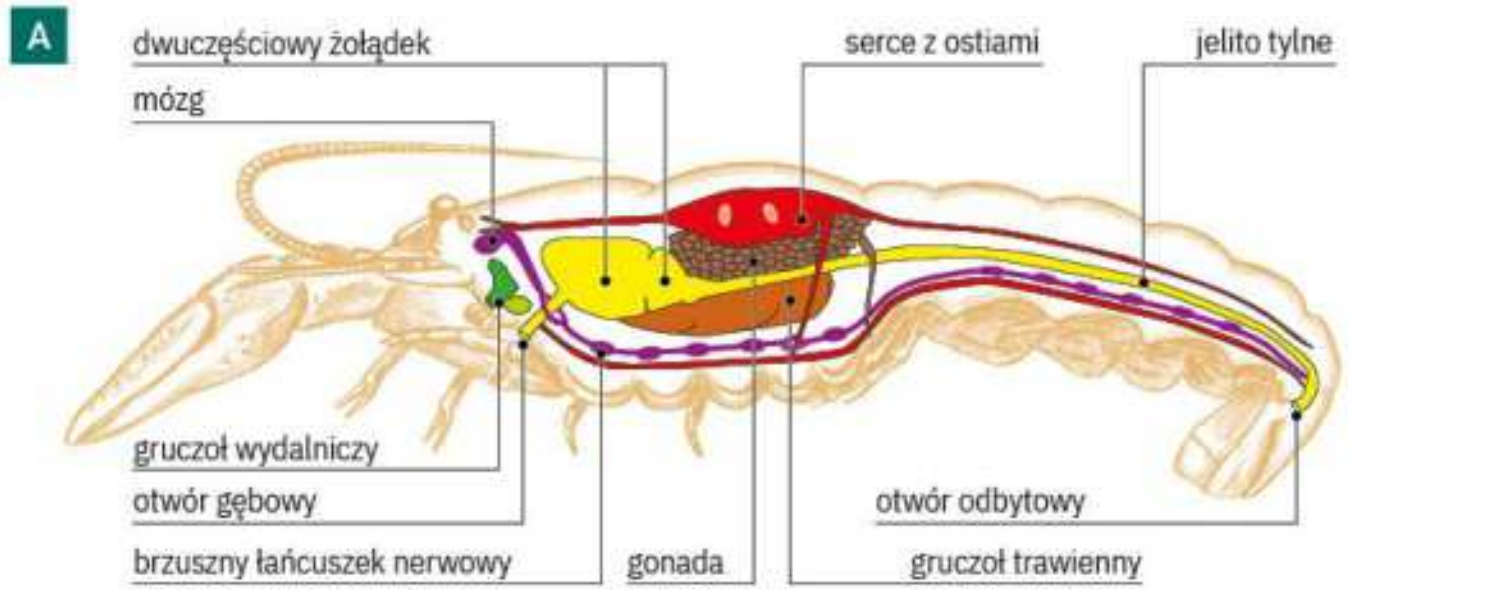
wyspecjalizowane narządy zmysłów

oczy złożone

narządy tympanalne

rozmnażanie płciowe rozdzielnopłciowe

Stawonogi rozmnażają się płciowo, są w większości rozdzielnopłciowe, z często wyraźnie zaznaczonym dymorfizmem płciowym. Tylko niektóre formy osiadłe i pasożytnicze są obojnakami. Rodzaj zapłodnienia zależy od środowiska życia. U stawonogów wodnych występuje zapłodnienie zewnętrzne, a u lądowych – wewnętrzne.



Ryc. I.7.2. Porównanie budowy wewnętrznej ciała skorupiaka (A), pajęczaka (B) i owada (C).

Samice niektórych gatunków za pomocą tzw. **pokładełka** składają jaja, które są w różny sposób zabezpieczone przed wysychaniem. Stawonogi przechodzą rozwój prosty lub złożony, a także występuje u nich stała lub okresowa partenogeneza.

pokładełko

rozwój prosty lub złożony

Przegląd stawonogów

Trylobitowce

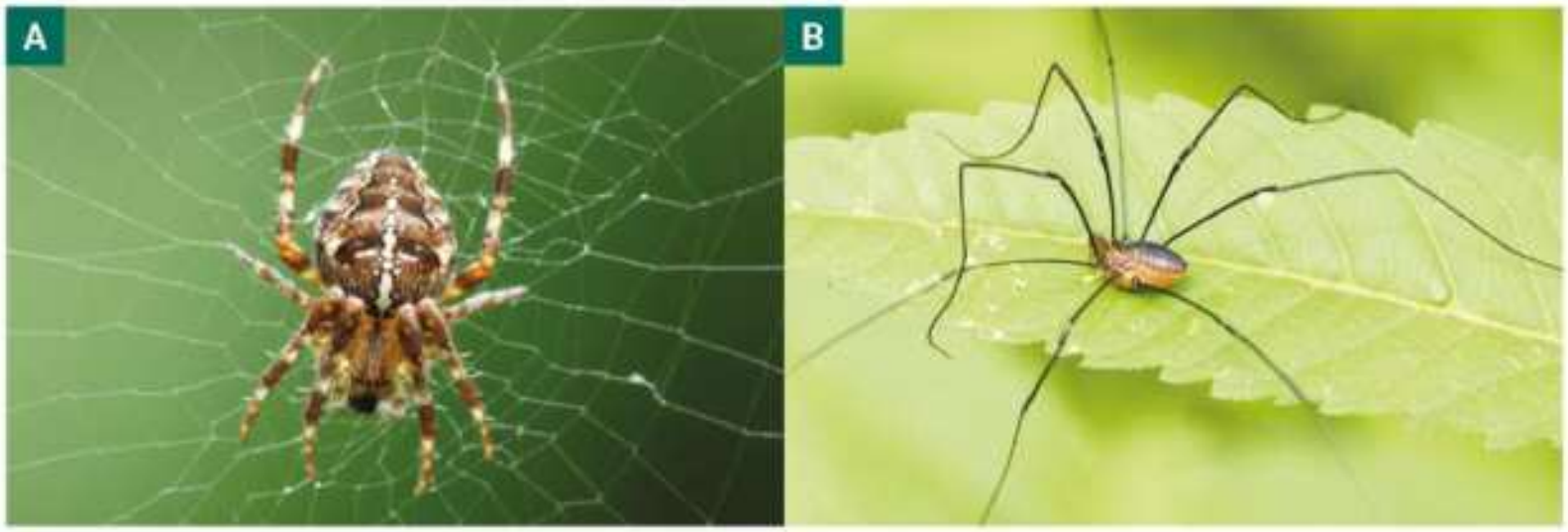
Trylobitowce obejmują wymarłe stawonogi morskie, powszechne na Ziemi w erze paleozoicznej. Prowadziły one denny tryb życia. Odznaczały się jednolitą segmentacją homonomiczną oraz niewyspecjalizowanymi odnóżami wyrastającymi z każdego segmentu.

Szczękoczułkopodobne

Są reprezentowane przez ostrogony i pajęczaki. Ostrogony to morska grupa powstała w erze paleozoicznej. Obecnie żyją tylko cztery gatunki określane jako żywe skamieniałości, ponieważ nie zmieniły one planu budowy od początku swojego istnienia, czyli od paleozoiku (**ryc. I.7.3.**).

Ryc. I.7.3. Skrzypłocz to współcześnie żyjący przedstawiciel ostrogonów. Zamieszkuje Ocean Atlantycki (wybrzeża Ameryki Północnej i Środkowej).

Pajęczaki są lądowymi przedstawicielami szczękoczułkopodobnych. Ich ciało składa się z głowotułowia i odwłoka. Na głowotułowiu występuje sześć par odnóży: nogogłaszczki i szczękoczułki, czyli odnóża gębowe, oraz cztery kroczne. Cechą charakterystyczną pajęczaków jest brak czułków oraz oczu złożonych. Na odwłoku pająków występują gruczoły przędne produkujące jedwabną, krzepnącą na powietrzu nić, z której są budowane sieci łowne, schronienia i kokony jajowe. Pajęczyna jest także specyficznym środkiem transportu dla pajęczaków (tzw. babie lato). W różnych miejscach ciała pajęczaków są rozmieszczone gruczoły jadowe, np. u skorpionów na końcu odwłoka, a u pająków na końcach szczękoczułków. Wydzielina tych gruczołów służy do zabijania ofiary. Na powierzchni ciała są rozmieszczone włoski dotykowe, a także narządy sejsmiczne odbierające drgania pajęczyny. Pajęczaki oddychają płucotchawkami lub tchawkami, a w wymianie gazowej uczestniczy układ krwionośny. Produkty przemiany materii w postaci kwasu moczowego są wydalane przez cewki Malpighiego. Pajęczaki są rozdzielnopłciowe z wyraźnie zaznaczonym dymorfizmem płciowym – samice są znacznie większe od samców. Rozwój jest prosty. U niektórych (np. u skorpionów) występuje opieka nad potomstwem. Do najważniejszych grup pajęczaków należą pająki, kosarze, roztocza, zaleszczotki i skorpiony (**ryc. I.7.4.**).



Ryc. I.7.4. Pająk krzyżak (A) i kosarz pospolity (B) – pajęczak o bardzo długich odnóżach, wielokrotnie przekraczających długość ciała.

Ryc. I.7.5. Kleszcz pospolity (A) to krwiopijny pasożytniczy pajęczak przenoszący szereg chorób wirusowych i bakteryjnych, m.in. boreliozę. Zaleszczotek książkowy (B) jest gatunkiem roztoczy zjadających papier. Skorpion (C) odżywia się owadami, pająkami, a nawet drobnymi kręgowcami.

Skorupiaki

Skorupiaki żyją głównie w wodach słonych, a niektóre w środowisku słodkowodnym i lądowym (m.in. stonogi). Spośród innych stawonogów wyróżnia je gruby i silnie zmineralizowany pancerz oraz zrośnięcie głowy z tułowiem w głowotułów. Aparat gębowy składa się z jednej pary żuwaczek i dwóch par szczek, które służą do gryzienia i rozdrabniania pokarmu. Cechą charakterystyczną skorupiaków jest występowanie dwóch par czułków będących narządem dotyku i smaku. U niektórych gatunków pierwsze trzy pary odnóży tułowiowych przekształciły się w szczękonóża, którymi zwierzęta przytrzymują fragmenty pożywienia. Wymiana gazowa zachodzi za pośrednictwem skrzeli albo całą powierzchnią ciała. Amoniak jest usuwany przez skrzela i parzyste gruczoły wydalnicze w przedniej części ciała.

Skorupiaki są w większości rozdzielnopłciowe. Przechodzą rozwój złożony lub prosty. Występuje u nich także partenogeneza (np. u rozwielitki).

Wśród skorupiaków wyróżniamy drobne gatunki ze zmienną liczbą segmentów – m.in. planktonowe rozwielitki zaliczane do wioślarek i oczliki należące do widłonogów. Do skorupiaków należą także gatunki o większych rozmiarach, np. kraby, krewetki, langusty i homary. Wśród pospolitych przedstawicieli skorupiaków w Polsce można wymienić: raka rzecznego oraz raka stawowego, a także lądowe skorupiaki: prosionki i stonogi (**ryc. I.7.6.**).

Rozwielitka pchłowata

Oczlik

Krab wełnistoszczypcy

Krewetka północna

Langusta pospolita

Rak rzeczny

Prosionek szorstki

Stonoga murowa

Ryc. I.7.6. Przedstawiciele skorupiaków.

Tchawkodyszne

Owady i wije są zaliczane do tchawkodysznych – lądowych stawonogów oddychających za pomocą tchawek. Wspólnymi cechami tych zwierząt są obecność jednej pary czułków, wyraźnie wyodrębniona głowa oraz cewki Malpighiego pełniące funkcję narządów wydalniczych.

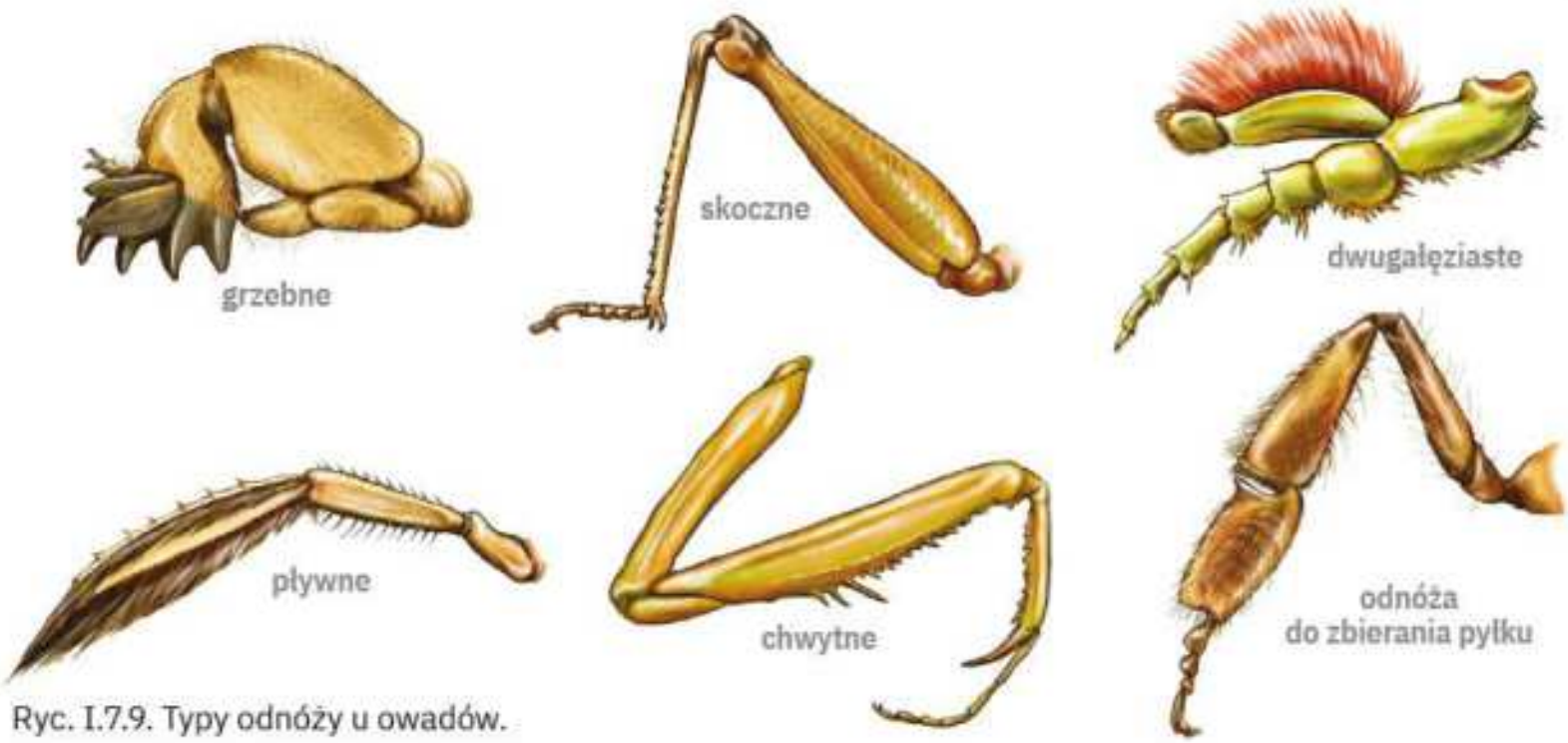
Wije stanowią pierwotną grupę tchawkodysznych. Ich ciało jest podzielone na głowę i segmentowany tułów (segmentacja homonimiczna lub heteronomiczna). Nie występuje u nich odwłok. Od wszystkich segmentów odchodzą jednakowe odnóża. Mają jedną lub dwie pary szczęk. Do wijów zaliczamy pareczniki i dwuparce. Pareczniki prowadzą nocny tryb życia. Występują w miejscach wilgotnych pod kamieniami i korą drzew. Przedstawicielami parecznikow są wij drewniak oraz drapieżne i jadowite skolopendry, których długość może sięgać do 25 cm, a jad ich jest groźny dla człowieka. Dwuparce są zwierzętami roślinożernymi, odżywiającymi się również martwymi częściami roślin. Na każdym segmencie poza trzema pierwszymi mają po dwie pary odnóży. Ich ciało jest wydłużone i ma walcowaty kształt. Najbardziej znanymi przedstawicielami tych zwierząt są krocionogi (**ryc. I.7.7.**).

Ryc. I.7.7. Wij drewniak (A), krocionóg (B).

Ciało owadów składa się z głowy, tułowia i odwłoka. Na głowie znajdują się narządy dotyku i węchu w postaci jednej pary czułków, para oczu złożonych oraz trzy pary odnóży gębowych tworzących aparat gębowy (jedna para żuwaczek i dwie pary szczęk). W zależności od rodzaju pokarmu i sposobu jego pobierania owady wykształciły różne typy aparatów gębowych na bazie modyfikacji aparatu podstawowego – gryzącego (**ryc. I.7.8.**).

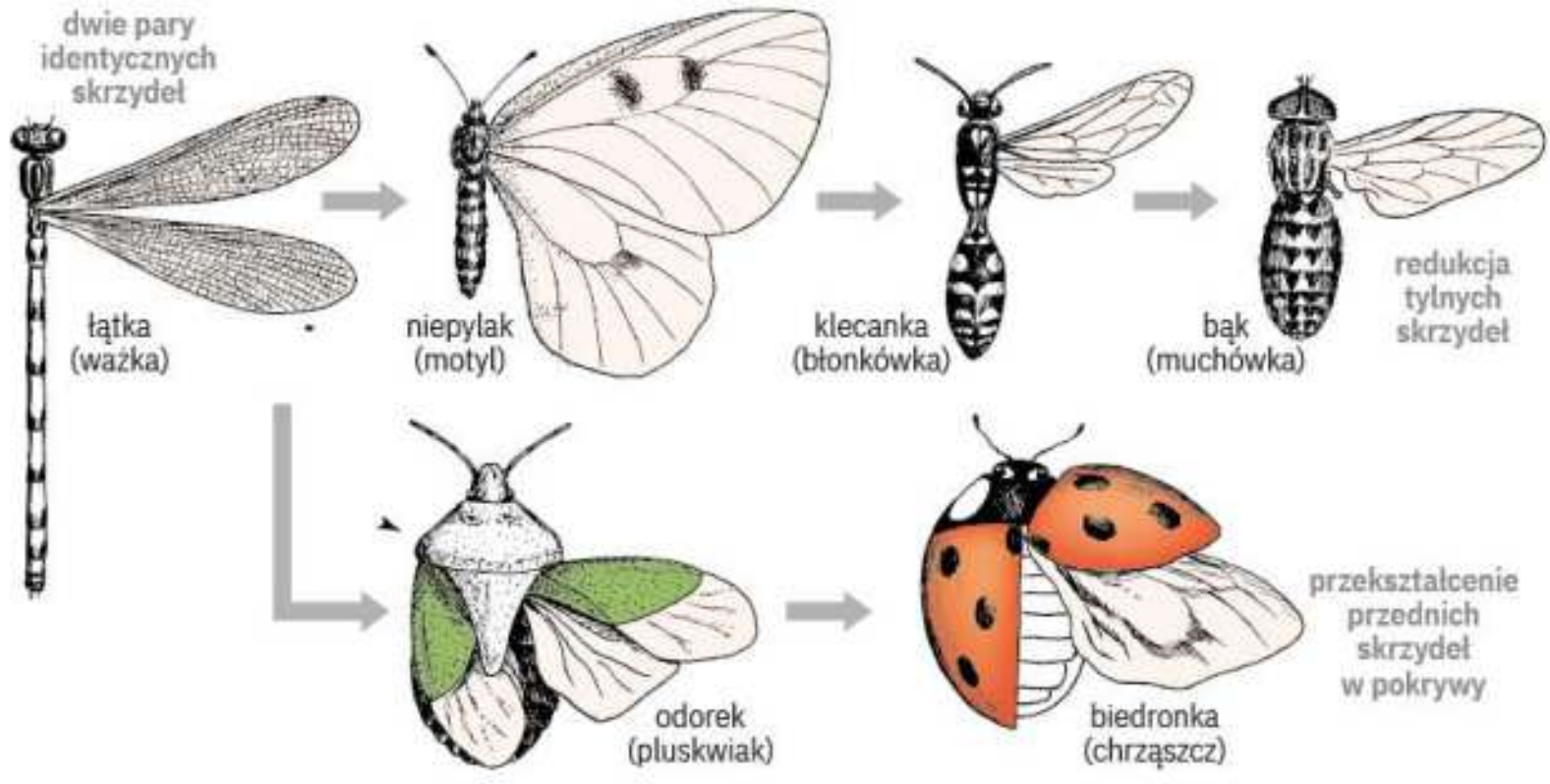
Ryc. I.7.8. Typy aparatów gębowych u owadów.

Tułów owadów składa się z trzech segmentów, a na każdym jest jedna para odnóży. Odnóża w zależności od typu środowiska i sposobu lokomocji uległy modyfikacjom (**ryc. I.7.9.**).



Ryc. I.7.9. Typy odnóży u owadów.

Odnóża służą owadom do skakania, chwytania, grzebania i pływania. Doskonałą sprawność ruchową uzyskały one dzięki obecności stawów. Odnóża segmentów tułowia przekształciły się w narządy kopulacyjne, pokładełka służące do składania jaj czy wyrostki ułatwiające poruszanie. Większość owadów na drugim i trzecim segmencie tułowia wykształciła skrzydła będące wyrostkami powłok ciała (**ryc. I.7.10.**). U takich owadów jak ważki, pszczoły czy motyle występują dwie pary błoniastych skrzydeł. Zazwyczaj pierwsza para jest większa, choć mogą być obie pary tej samej wielkości.

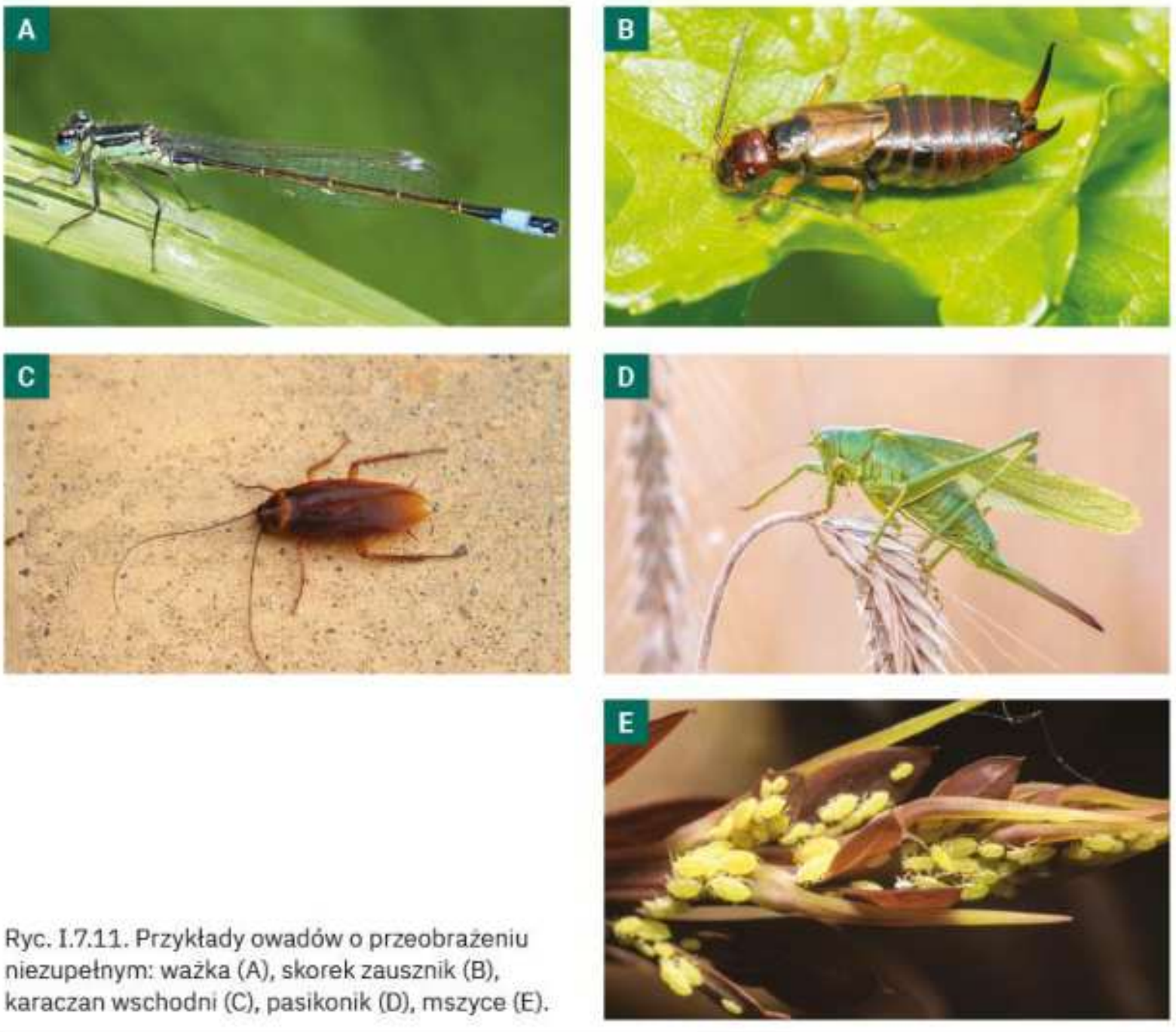


Ryc. I.7.10. Zróżnicowanie skrzydeł u owadów.

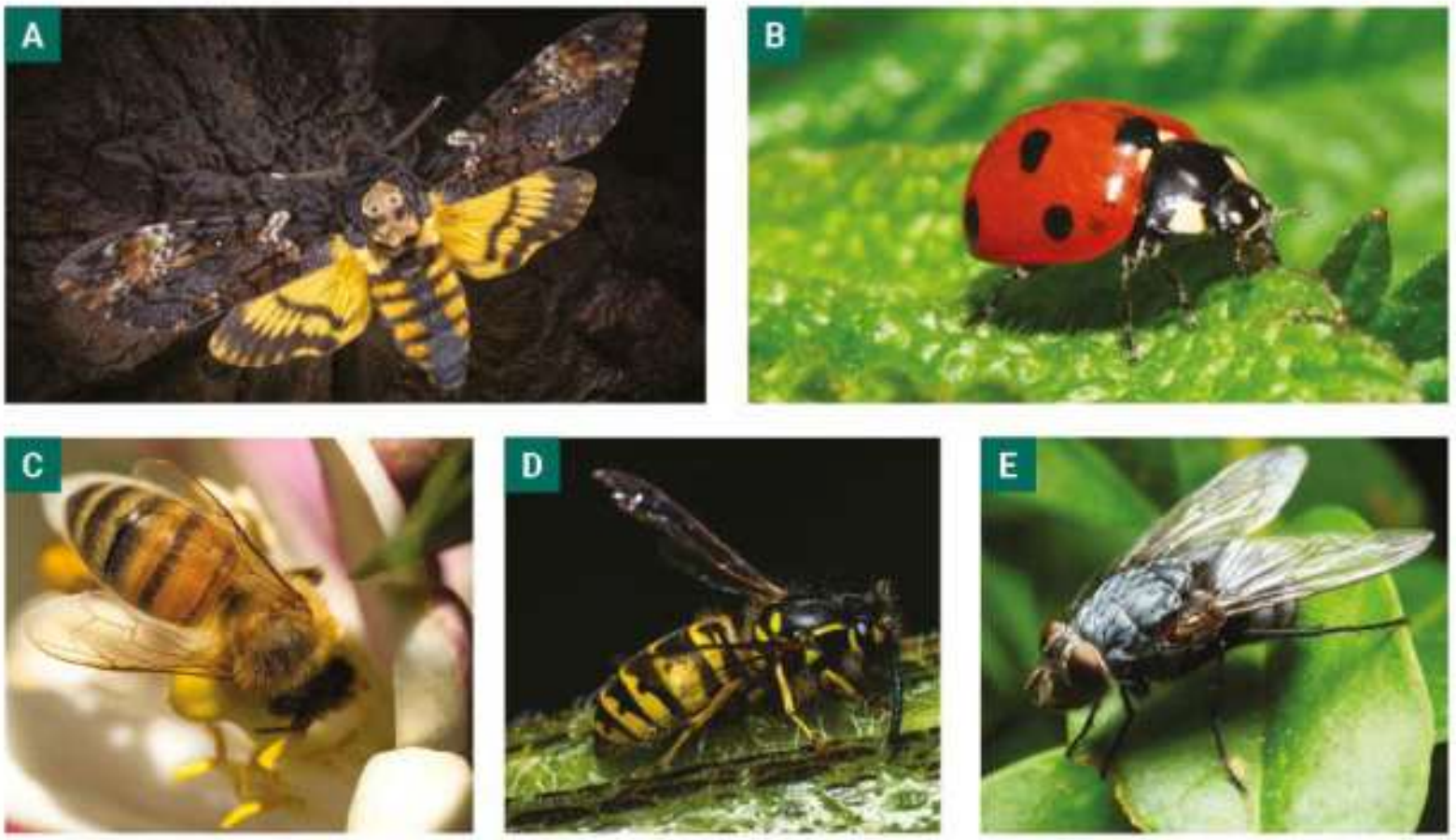
U chrząszczy pierwsza para skrzydeł jest większa i tworzy skrzydła pokrywowe chroniące ciało owada, a druga błoniasta para służy do latania. U niektórych owadów (muchy i komary) druga para skrzydeł przekształciła się w przemianki – narząd zmysłu informujący o położeniu ciała podczas lotu. U owadów pasożytniczych (np. wszy i pchły) skrzydła mogą zanikać.

Owady są zwierzętami rozdzielnopłciowymi, często z wyraźnie zaznaczonym dymorfizmem płciowym. Niektóre przechodzą przemianę pokoleń. Obok pokolenia rozmnażającego się płciowo występuje pokolenie partenogenetyczne. Zapłodnienie jest wewnętrzne, a liczba złożonych jaj jest często bardzo wysoka, np. mszyce lub termity składają dziennie nawet do 30 tys. jaj. Owady przechodzą rozwój prosty (owady bezskrzydłe) lub złożony z przeobrażeniem zupełnym i niezupełnym.

Do owadów bezskrzydłych zliczamy skoczogonki i szczeciogonki reprezentowane przez rybika cukrowego często spotykanego w wilgotnych i ciepłych miejscach, np. w kuchni i łazience. Większość owadów to formy uskrzydlone. Do najważniejszych grup owadów uskrzydlonych o przeobrażeniu niezupełnym należą ważki, jętki, karaczany, prostoskrzydłe, pluskwiaki równoskrzydłe i wszy (**ryc. I.7.11.**), a o przeobrażeniu zupełnym – chrząszcze, błonkówki, motyle, muchówki i pchły (**ryc. I.7.12.**).



Ryc. I.7.11. Przykłady owadów o przeobrażeniu niezupełnym: ważka (A), skorek zausznik (B), karaczan wschodni (C), pasikonik (D), mszyce (E).



Ryc. I.7.12. Przykłady owadów o przeobrażeniu zupełnym: zmierzchnica trupia główka (A), biedronka siedmiokropka (B), pszczoła miodna (C), osa pospolita (D), ścierwnica mięsówka (E).

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Wyjaśnij przyczyny sukcesu ewolucyjnego stawonogów.
2. Scharakteryzuj funkcje pancerza chitynowego w życiu stawonogów. Wymień zarówno wady, jak i zalety.
3. Omów rolę tchawek w życiu stawonogów lądowych.

PODSUMOWANIE LEKCJI

- Ciało stawonogów zróżnicowane jest na segmenty, które łączą się w większe jednostki – **tagmy**. ◂ s. 43
- Podstawowe **tagmy** to głowa, tułów i odwłok. Następuje tendencja do zlewania się segmentów. ◂ s. 43
- **Członowane odnóża** wywodzą się od parapodiów pierścienic. Są zbudowane z długich, grubych odcinków połączonych stawami (krótkie odcinki o giętkiej budowie). Służą do wykonywania ruchu, a oprócz tego mogą pełnić funkcje narządów zmysłów (czułki) i funkcje oddechowe oraz służyć do pobierania i rozdrabniania pokarmu (aparat gębowy). ◂ s. 43
- **Szkielet zewnętrzny** jest utworzony z oskórka zbudowanego z chityny oraz soli wapnia i magnezu. Konsekwencją powstania szkieletu zewnętrznego były zmiany w organizacji budowy stawonogów. ◂ s. 43
- Szkielet zewnętrzny nie pozwala na nieograniczony wzrost, dlatego stawonogi, szczególnie lądowe, nie osiągają dużych rozmiarów. Wadą szkieletu zewnętrznego jest konieczność okresowego zrzucania twardego pancerza (**linienia**). ◂ s. 44

s. 44 ▸ • W efekcie tagmatyzacji zanikły przegrody segmentalne, a celoma połączyła się z pierwotną jamą ciała i utworzyły razem jamę mieszaną, tzw. **miksocel**.

s. 44 ▸ • **Układ krwionośny typu otwartego** składa się z rurkowatego serca z ostiami (otwory z zastawkami, którymi hemolimfa wpływa do serca) położonego po stronie grzbietowej. W hemolimfie znajdują się rozpuszczone barwniki oddechowe: hemoglobina, rzadziej hemocyjanina (niektóre skorupiaki). U owadów brak barwnika przenoszącego tlen – jest on transportowany przez tchawki.

s. 45 ▸ • Stawonogi lądowe oddychają za pomocą **tchawek** (część pajęczaków, owady i wije), **worków płucnych** (część pajęczaków) i **płucotchawek** (u niektórych pająków). U larw niektórych owadów wykształciły się skrzelotchawki.

s. 45 ▸ • Układ wydalniczy stanowią **zmodyfikowane metanefrydia**, które u skorupiaków nazywane są gruczołami czułkowymi, szczękowymi lub biodrowymi. U wijów, pajęczaków i owadów występują cewki Malpighiego (rurki ślepo zakończone w jamie ciała; ujście otwiera się na granicy jelita środkowego i tylnego).

s. 45 ▸ • Stawonogi wodne wydalają toksyczny amoniak dzięki łatwemu dostępowi do wody, a lądowe – kwas moczowy, który jest trudno rozpuszczalny w wodzie i może być wydalany w postaci krystalicznej. Dzięki temu jest możliwe sprawne usunięcie zbędnych metabolitów azotowych przy najmniejszej utracie wody. U pajęczaków głównym produktem wydalania jest guanina.

s. 45 ▸ • **Układ nerwowy** jest scentralizowany. U form prymitywnych ma układ drabinkowy. Dzięki zlaniu się zwojów oraz wytworzeniu mózgu i brzusznego łańcuszka nerwowego możliwe stały się sprawne reagowanie na bodźce z otoczenia, zdobywanie pokarmu i złożone zachowania (w tym społeczne).

s. 45 ▸ • **Wyspecjalizowane narządy** zmysłów pozwalają na sprawny odbiór bodźców z otoczenia.

s. 46 ▸ • Występuje wyłącznie **rozmnażanie płciowe**.

s. 46 ▸ • Stawonogi są zwykle **rozdzielnopłciowe** i jajorodne, a zapłodnienie u większości jest wewnętrzne.

s. 47 ▸ • **Ich rozwój jest prosty** (wije, większość pajęczaków, bezskrzydle owady) lub **złożony** (owady uskrzydlone, skorupiaki, niektóre pajęczaki).

s. 47 ▸ • W **rozwoju złożonym** występuje przeobrażenie niezupełne lub zupełne.

8. Mięczaki – bezkręgowce o najbardziej zróżnicowanych rozmiarach ciała

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz cechy wyróżniające mięczaki;
- scharakteryzujesz wybrane grupy mięczaków.

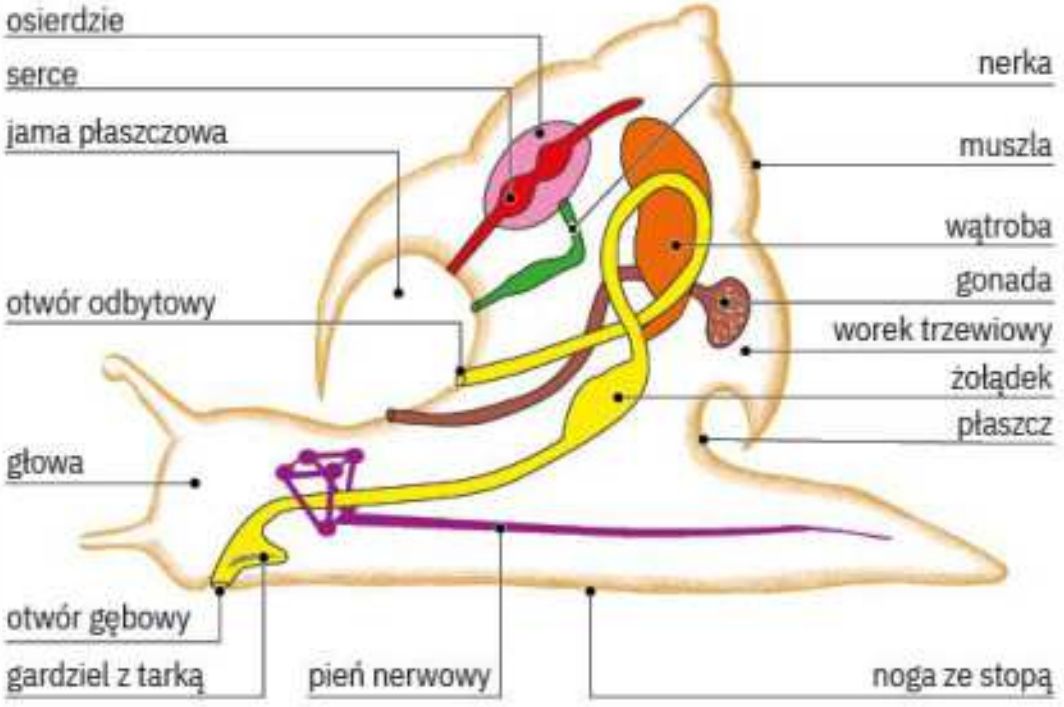
występowanie mięczaków ▸ Mięczaki występują głównie w środowisku wodnym. Większość żyje w morzach, niektóre w wodach słodkich. Na lądzie spotyka się tylko niektórych przedstawicieli

ślimaków. Rozpiętość rozmiarów ich ciała jest bardzo duża – od 1 mm (niektóre małże i ślimaki) do około 20 m (niektóre głowonogi). Żyją od kilku miesięcy do nawet 400 lat (niektóre małże głębinowe). Współcześnie znanych jest ponad 130 tys. gatunków oraz dodatkowo ponad 30 tys. wymarłych. Wśród nich występują organizmy roślinożerne, filtrujące, mułożerne, drapieżne, a także pasożyty.

Mięczaki są zwierzętami **o niesegmentowanym ciele** i dwubocznej symetrii (z wyjątkiem ślimaków). Ich ciało jest podzielone na **głowę** (z wyjątkiem małży), **nogę** oraz **worek trzewiowy**, w którym mieści się większość narządów wewnętrznych. Wnętrze worka wyścieła fałd ścienny, zwany **płaszczem**. Z wydzieliny gruczołów płaszcza powstają elementy szkieletowe, takie jak igły, łuski czy płytki, a także muszla zewnętrzna (która zanika u głowonogów), charakterystyczna cecha większości mięczaków. Warstwa zewnętrzna muszli jest zbudowana z białka konchioliny, a wewnętrzna – porcelanowa i perłowa – z węglanu wapnia. Muszla chroni ciało przed uszkodzeniem mechanicznym, termicznym i wysychaniem, pełni także funkcje szkieletu jako miejsce przyczepu mięśni. U ślimaków lądowych jest zamykana śluzem, a u niektórych wodnych, np. żyworódki – wapiennym wieczkiem. Różnorodność kształtów, barwy, wielkości, liczby skrętów jest uwzględniana przy klasyfikacji mięczaków.

podział ciała

muszla



Ryc. I.8.1. Rozmieszczenie narządów wewnętrznych mięczaka na przykładzie ślimaka.

Noga jest mięsistym, nieparzystym narządem lokomocji służącym do pełzania, pływania, zagrzebywania się w podłożu, a u głowonogów przekształcona w ramiona stanowi narząd ataku i obrony (**ryc. I.8.1.**).

Wtórna jama ciała – celoma – jest u mięczaków zredukowana do worka otaczającego serce – osierdzia – oraz jamy gruczołów płciowych i wydalniczych. W jamie płaszczowej mieszczą się narządy wymiany gazowej oraz ujścia przewodu pokarmowego, wydalniczego i płciowego.

wtórna jama ciała

Mięczaki mają **otwarty układ krążenia**, którego centralną częścią jest serce zbudowane z komory i jednego lub dwóch przedsionków. U większości mięczaków serce znajduje się po grzbietowej stronie worka trzewiowego. Krew to hemolimfa, najczęściej bezbarwna (u niektórych ślimaków i głowonogów niebieska ze względu na obecność hemocyjaniny, rzadziej czerwona). Tylko u wyżej uorganizowanych mięczaków układ krwionośny jest zamknięty.

otwarty układ krążenia

układ oddechowy ▸ Układ oddechowy mięczaków wiąże się ze środowiskiem życia. Narządem wymiany gazowej u organizmów wodnych są silnie **ukrwione skrzela**, znajdujące się w jamie skrzelowej. Wymiana gazowa odbywa się na drodze dyfuzji. U gatunków lądowych oddychanie zachodzi przez sieć naczyń krwionośnych jamy płaszczowej, pełniących funkcję **płuc**.

Układ pokarmowy mięczaków jest zbudowany z trzech odcinków: jelita przedniego, środkowego i tylnego. Rozpoczyna się otworem gębowym prowadzącym do gardzieli, do której uchodzą gruczoły ślinowe i u niektórych gatunków jadowe. W gardzieli znajdują się chitynowe szczęki i język, pokryty kilkoma rzędami ostrych chity-

tarka ▸ nowych ząbków, tworzących tarkę. **Tarka** służy mięczakom do rozcierania pokarmu lub zbierania go z twardych powierzchni, np. glonów (**ryc. I.8.1.**).

Gardziel przechodzi w przełyk, za którym znajduje się żołądek. Uchodzi do niego **wątroba** – gruczoł trawienny. Wątroba uczestniczy w trawieniu, a także w magazynowaniu zapasów węglanu wapnia wykorzystywanego do budowy muszli. Funkcję

nerki ▸ wydalniczą i osmoregulacyjną u większości mięczaków pełnią **nerki**. Są one przekształconymi **metanefrydiami pierścienic**. Orzęsionymi lejkami zbierają produkty przemiany materii z jamy płaszczowej. Z nerki odchodzą moczowody zakończone otworem wydalniczym. Produktem przemiany materii u form lądowych jest **kwas moczowy**, a u form wodnych – **amoniak** i **mocznik**.

Narządy zmysłów to głównie narządy dotyku w postaci czułków oraz wzroku w postaci oczu o prostej budowie u ślimaków i małży, a skomplikowanej u głowonogów. U niektórych mięczaków rozwinęły się narządy zmysłu chemicznego i równowagi w postaci statocysty.

układ nerwowy ▸ Układ nerwowy u mięczaków wykazuje duże zróżnicowanie – od układu drabinkowego do silnej centralizacji zwojów głowowych.

rozmnażanie płciowe ▸ Mięczaki rozmnażają się wyłącznie płciowo. Są zwierzętami rozdzielnopłciowymi (chitony, jednotarczowce, głowonogi, łódkonogi i część ślimaków) i obojnakami (większość ślimaków i część głowonogów). U mięczaków morskich występuje zapłodnienie zewnętrzne lub w jamie płaszczowej, a u lądowych – wewnętrzne (krzyżowe). Ślimaki są jajorodne, tylko niektóre jajożyworodne. Rozwój może być prosty (głowonogi, ślimaki płucodyszne) lub złożony (małże, niektóre skrzelodyszne ślimaki). W rozwoju występuje planktonowa larwa – **trochofora**, z której rozwija się następne stadium wolno żyjące – **żeglarek** (*veliger*). Jaja są składane w postaci galaretowatej masy, sznurów i kapsuł przytwierdzanych do roślin wodnych lub skał. U niektórych gatunków pozostają w ciele samicy, gdzie rozwijają się w młode ślimaki, które są wydalane do środowiska (**ryc. I.8.2.**).

Ryc. I.8.2. Samice ślimaka lądowego *Achatinella fuscobasis* rodzą żywe młode ślimaki z wykształconą muszlą.

Przegląd mięczaków

Jednotarczowce

Są to morskie mięczaki o niewielkich rozmiarach ciała od 1 do 40 mm. Ciało spłaszczone grzbieto-brzusznie składa się ze słabo wyodrębnionej głowy, przyssawkowatej nogi oraz worka trzewiowego. Po stronie grzbietowej okrywa je pojedyncza, tarczowata muszla. Cechą charakterystyczną budowy jest powtarzalność układów mięśniowego, krwionośnego, wydalniczego i rozrodczego, co może być, zdaniem niektórych badaczy, przejawem metamerii ciała występującej u pierścienic. Może to wskazywać na pochodzenie mięczaków od pierścienic bądź na obecność wspólnego przodka. Współczesne badania molekularne wskazują na bliskie pokrewieństwo jednotarczowców z chitonami (**ryc. I.8.3.**).

Ryc. I.8.3. Gatunek jednotarczowców *Lepetodrilus ovalis*. W latach pięćdziesiątych XX w. u zachodnich wybrzeży Kostaryki duńska wyprawa badawcza odkryła żyjących przedstawicieli jednotarczowców. Od tego czasu opisano przedstawicieli 33 gatunków. Zwierzęta te nie zmieniły się prawie od 500 mln lat.

Chitony

Do tej grupy zaliczamy mięczaki żyjące w strefach przybrzeżnych mórz, reprezentujące bardzo starą i odrębną linię rozwojową zwierząt. Ciało chitonów o długości od 3 mm do 430 mm jest spłaszczone, i ma słabo zaznaczoną głowę. W grzbietowej części osłania je muszla zbudowana z ośmiu ruchomych względem siebie, nakładających się płytek. Od strony brzusznej znajduje się noga z licznymi gruczołami produkującymi śluz, co ułatwia przytwierdzenie do podłoża (skały lub wielkie kamienie), a także poruszanie. W budowie niektórych układów (krwionośnego, nerwowego i oddechowego) zaznaczona jest pierwotna metameria (**ryc. I.8.4.**). W rozwoju chitonów występuje larwa przypominająca trochoforę pierścienic.

Ryc. I.8.4. *Tonicella lineata* to przedstawiciel chitonów. Większość chitonów pozostaje aktywnych nocą. W dzień wracają do swoich kryjówek prawie z dokładnością do milimetra. Takie zjawisko nazywamy homingiem.

Ślimaki (Gastropoda)

Ślimaki są najliczniejszą grupą mięczaków. Żyją w morzach (np. rozkolce, stożki), zbiornikach słodkowodnych (np. błotniarki, żyworódki, zatoczki), a także wilgotnych środowiskach lądowych (np. winniczek, pomrów wielki). Większość gatunków wodnych zamieszkuje dno zbiorników, niektóre stanowią składnik planktonu, a nieliczne mogą aktywnie pływać. Mogą się odżywiać roślinami oraz cząstkami odfiltrowanymi z wody i osadami dennymi. Niektóre są drapieżnikami i padlinożercami (**ryc. I.8.5.**). Nieliczne gatunki mięczaków są pasożytnicze.

Ryc. I.8.5. Stożki to ślimaki zamieszkujące morza tropikalne. Są drapieżnikami polującymi na inne ślimaki i ryby. Unieruchamiają swoje ofiary, wbijając w ich ciało strzałki, w których znajduje się bardzo silny jad. Paraliżuje on natychmiast ofiarę, której trawienie zajmuje ślimakowi od 1 do 2 godzin, po czym niestrawione resztki (kości czy łuski) oraz zużyte strzałki jadowe zostają usunięte. Toksyny stożków są niebezpieczne także dla człowieka.

Cechą charakterystyczną ślimaków jest asymetria ciała, wywołana obróceniem worka trzewiowego wokół osi pionowej oraz jego spiralnym skręceniem (tzw. torsja). Na skutek tego procesu jama płaszczowa znalazła się na przodzie i nieco z boku. Przewód pokarmowy i pnie nerwowe zostały skręcone ósemkowato i nastąpił zanik prawego skrzela i prawego przedsionka serca oraz prawej nerki.

U większości gatunków ciało ochrania jednoczęściowa, spiralnie skręcona, stożkowata lub spłaszczona muszla. U wielu gatunków muszla została zredukowana do wapiennej płytki znajdującej się wewnątrz płaszcza lub całkowicie zanikła, np. u ślimaków nagich (**ryc. I.8.6.**).

Ryc. I.8.6. Ślinik luzytański, przedstawiciel krajowych ślimaków nagich, odżywia się różnymi gatunkami roślin, rozkładającą się martwą materią organiczną oraz padliną. Jest jednym z najbardziej inwazyjnych gatunków ślimaków w Polsce i w Europie. Jako szkodnik upraw ogrodowych i pól powoduje duże straty gospodarcze.

Silnie umięśniona noga jest narządem ruchu. Na jej spodniej stronie w kształcie podeszwy występują liczne gruczoły śluzowe ułatwiające pełzanie. Na wyraźnie wyodrębnionej głowie znajdują się jedna lub dwie pary kurczliwych czułków (narząd dotyku). Na ich szczycie lub u podstawy są pęcherzykowate oczy. Rodzaj i miejsce występowania narządów oddechowych jest podstawą podziału ślimaków na tyłoskrzelne, przodoskrzelne i płucodyszne.

Ślimaki tyłoskrzelne to gatunki wyłącznie morskie zamieszkujące dno lub toń wodną. Ich narządem oddechowym są pojedyncze skrzela skierowane do tyłu ciała. Ta grupa zwierząt charakteryzuje się największą różnorodnością spośród wszystkich ślimaków (**ryc. I.8.7.**).

Ryc. I.8.7. *Chromodoris coi* to przedstawiciel ślimaków tyłoskrzelnych.

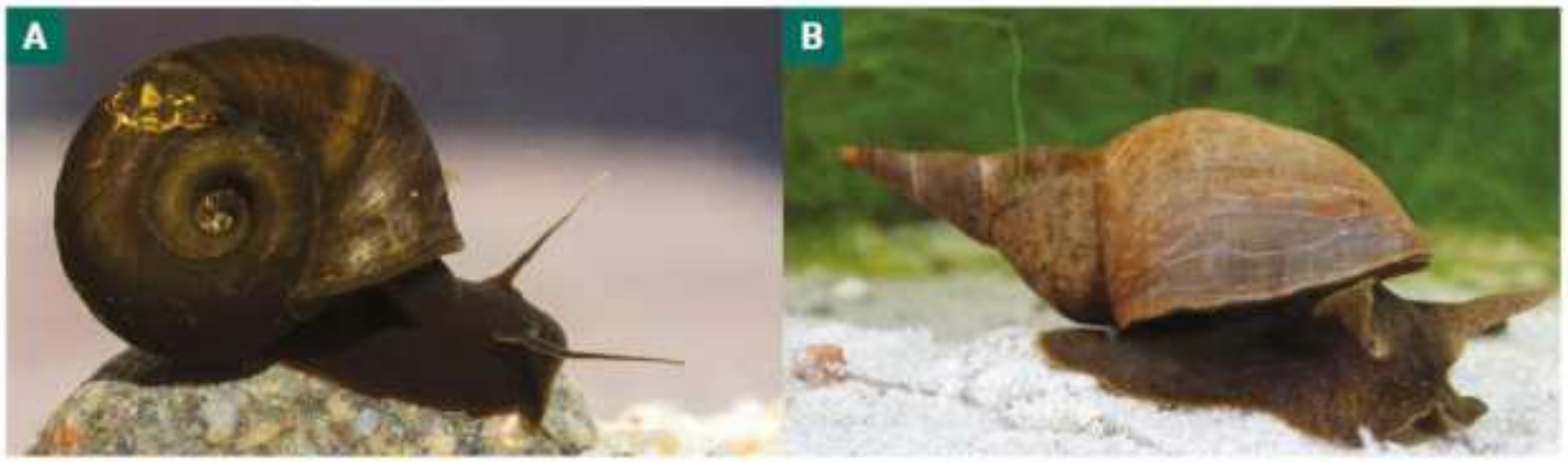
Ślimaki przodoskrzelne to głównie gatunki morskie, rzadziej słodkowodne i lądowe. Cechami charakterystycznymi są jedno lub dwa skrzela położone w przedniej części ciała oraz wieczko przyrośnięte do tylnej powierzchni nogi. Są zwierzętami rozdzielnopłciowymi. W polskiej faunie przedstawicielami przodoskrzelnych są słodkowodne rozdepki, zagrzebki i żyworódki. Do morskich przedstawicieli zaliczamy porcelanki oraz rozkolce (**ryc. I.8.8.**).

Ryc. I.8.8. Przedstawiciele ślimaków przodoskrzelnych: rozdepka rzeczna (A), żyworódka rzeczna (B), zagrzebka pospolita (C).

Niektóre mogą być drapieżnikami. Wiercą radulą otwory w muszlach innych mięczaków lub trawią skorupy produkowanym kwasem (**ryc. I.8.9.**).

Ryc. I.8.9. Ślimak *Natica lineata* wierci otwór w muszli ofiary za pomocą tarki lub trawi wapienną skorupkę ofiary wydzieliną kwasową.

Ślimaki płucodyszne to niektóre gatunki lądowe (np. ślimak winniczek) oraz większość słodkowodnych, które wtórnie przystosowały się do życia w środowisku lądowym (np. zatoczki i błotniarki) (**ryc. I.8.10.**). Wyróżniają się wyraźnie wykształconą muszlą.



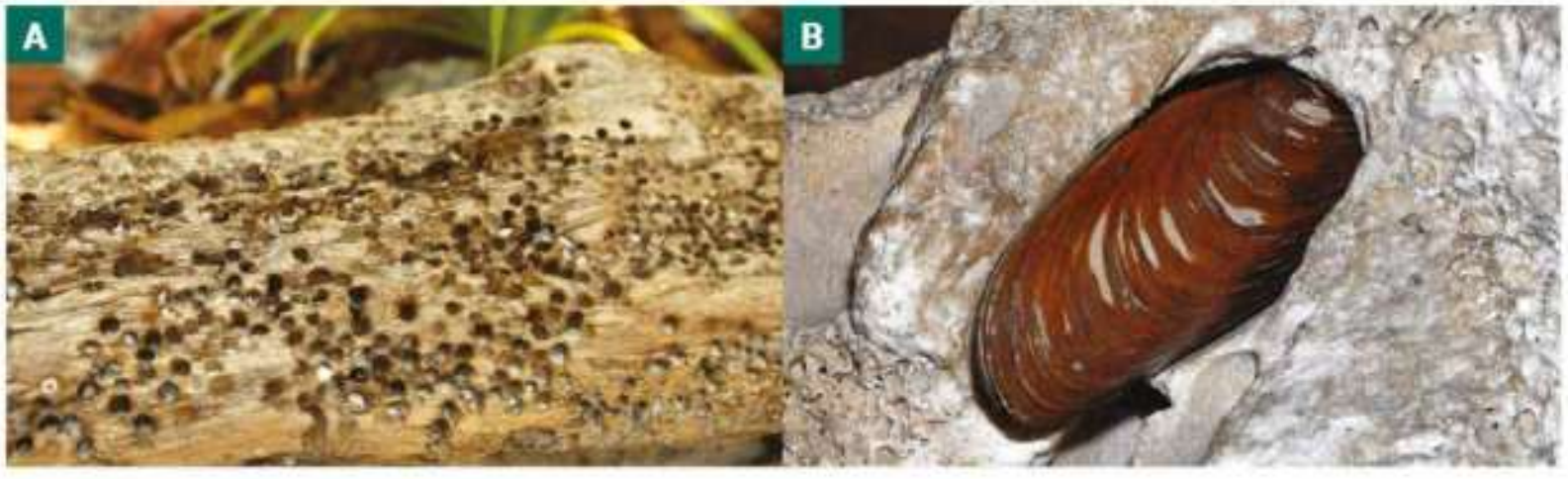
Ryc. I.8.10. Przedstawiciele ślimaków płucodysznych: zatoczek rogowy (A), błotniarka stawowa (B).

Oddychają płucami utworzonymi z wewnętrznej powierzchni jamy płaszczowej. Są obojnakami i dochodzi u nich do zapłodnienia krzyżowego. Do ślimaków płucodysznych należą także ślimaki nagie (**ryc. I.8.11.**).

Ryc. I.8.11. Pomrów wielki to jeden z największych ślimaków nagich w Polsce. Osiąga do 20 cm długości. Jest gatunkiem zawleczonym do naszego kraju. Powoduje duże szkody w uprawach rolnych, zwłaszcza w szklarniach, tunelach foliowych czy w przechowalniach owoców i warzyw. Cechuje się dużą liczebnością ze względu na brak naturalnych wrogów.

Małże

Małże zamieszkują głównie wody słone, rzadziej słodkie. Są zwierzętami mało ruchliwymi, zagrzebującymi się w dnie zbiorników wodnych lub przytwierdzającymi



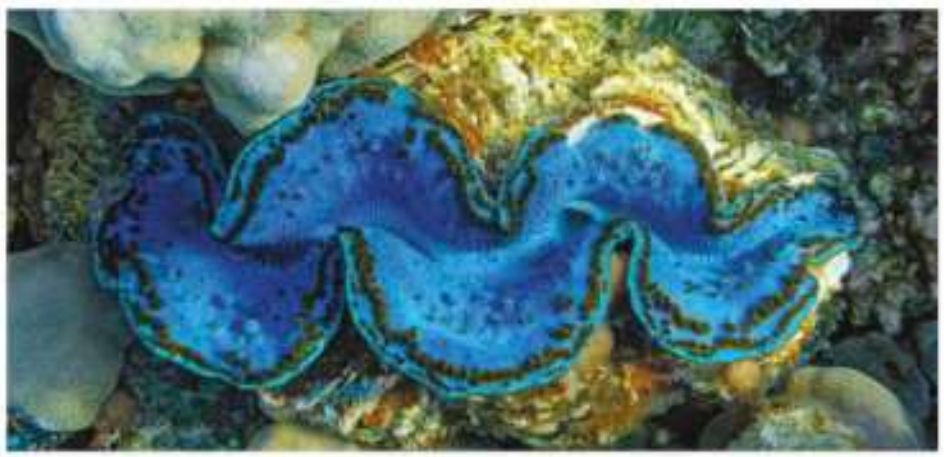
Ryc. I.8.12. Świdrak okrętowiec (A) odżywia się celulozą. Drąży w drewnie korytarze obrotami własnego ciała. Powoduje w ten sposób duże straty w drewnianych pomostach, molach czy elementach statków morskich. W 1731 r. przyczynił się do zalania wielkich obszarów w Holandii poprzez zniszczenie konstrukcji tam. Natomiast skałotłocz (B) drąży kanały w przybrzeżnych skałach.

się do skał lub kamieni. Niektóre drążą komory w drewnie lub skałach (np. świdraki i skałotocze) (**ryc. I.8.12.**).

Małże są dwubocznie symetryczne. Nie mają głowy, a bocznie spłaszczone ciała okrywa dwuczęściowa muszla. Połówki muszli są połączone więzadłem, które je otwiera, a zamykają mięśnie zwieracze. Muszla składa się z trzech warstw: rogowej, wapiennej i perłowej (**ryc. I.8.13.**).

Małże oddychają skrzelami. Nie mają tarki, a pokarm odfiltrowują z wody. Noga jest wyposażona w gruczoł bisiorowy, którego lepka wydzielina krzepnie w wodzie, tworząc nici – bisior. Za jego pomocą niektóre małże przytwierdzają się do podłoża (np. racicznice czy omułki). Małże odznaczają się dużą rozpiętością rozmiarów – od 2 mm do 1,5 m długości. Największym małżem jest przydacznia olbrzymia żyjąca u wybrzeży Australii (**ryc. I.8.14.**).

Ryc. I.8.13. Małże perłopławy mają muszle z grubą warstwą masy perłowej. Niektóre gatunki wytwarzają perły – są one reakcją obronną małża na obce ciało, które dostało się między muszlę a płaszcz lub do wnętrza płaszcza. Zwierzę otacza je warstwą perłową muszli.



Ryc. I.8.14. Przydacznia olbrzymia to największy gatunek małża na świecie. Może osiągnąć nawet do 320 kg masy ciała. Ze względu na smaczne mięso jest często poławiana.

Do gatunków krajowych zaliczamy m.in. gatunki słodkowodne żyjące w wodach rzek i jezior z piaszczystym dnem (np. szczeżuja pospolita, skójki: zaostrzona i malarska, racicznica zmienna). W Bałtyku żyją omułek jadalny, sercówka pospolita i małgiew (**ryc. I.8.15.**).

Ryc. I.8.15. Przedstawiciele krajowych małży: szczeżuja pospolita (A), skójka zaostrzona (B), racicznica zmienna (C).

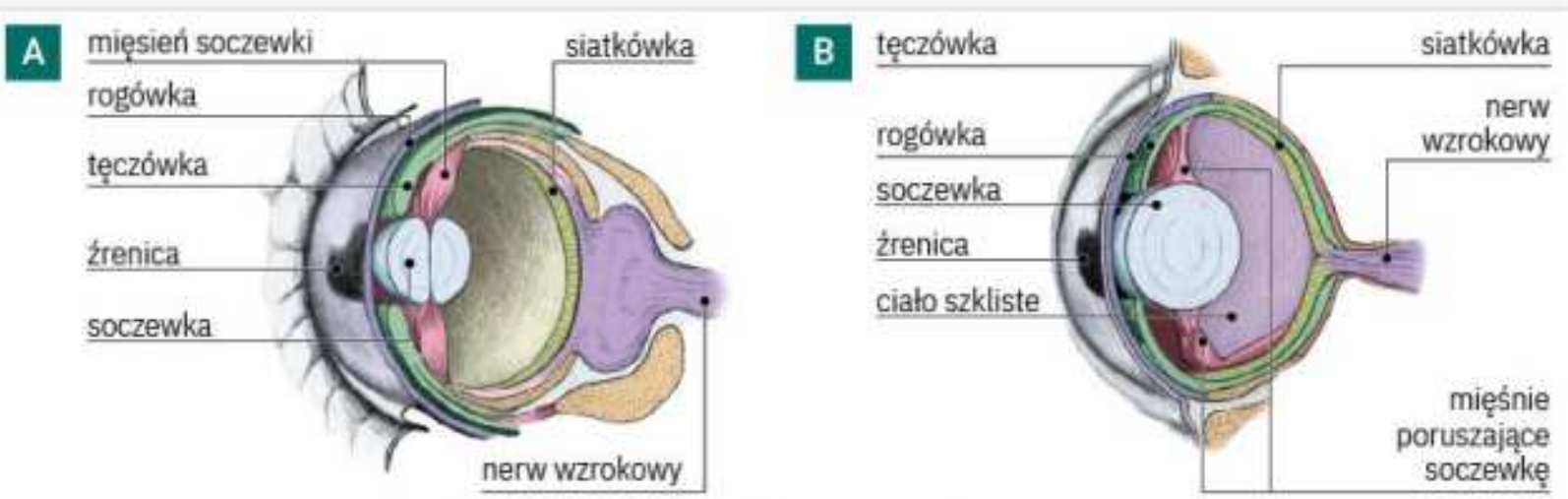
Głowonogi (Cephalopoda)

Głowonogi są najlepiej rozwiniętą grupą mięczaków. To aktywnie pływające morskie drapieżniki. Należą do nich największe zwierzęta bezkręgowe świata. U niektórych kałamarnic długość ramion dochodzi do 30 m. Wykazują symetrię dwuboczną ciała, a ich mała muszla w postaci płytek i spirali jest całkowicie pokryta płaszczem lub zanika zupełnie (ośmiornice).

Muszle zewnętrzne występowały tylko u wymarłych głowonogów – amonitów. Współcześnie spotykamy je tylko u łodzików (**ryc. I.8.16.**).

Ryc. I.8.16. *Nautilus pompilius* to przedstawiciel łodzików – głowonogów, których przodkowie pojawili się ponad 400 mln lat temu. Współcześnie żyje tylko jeden rodzaj reprezentowany przez zaledwie kilka gatunków zasiedlających ciepłe morza podzwrotnikowe. Muszla tych zwierząt jest podzielona poprzecznymi komorami wypełnionymi częściowo powietrzem i częściowo płynem. Ślimak zasiedla ostatnią, najmłodszą komorę, a pozostałe służą jako narząd hydrostatyczny umożliwiający unoszenie się w toni wodnej.

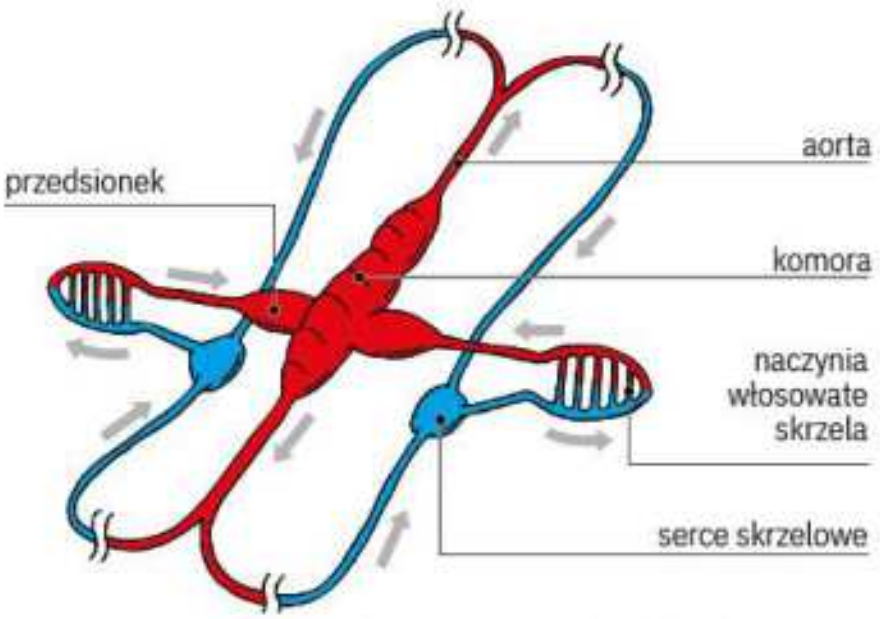
Noga głowonogów przekształciła się w ramiona osadzone wokół głowy. Wszystkie głowonogi mają po osiem ramion, a mątwy i kałamarnice dodatkowo po dwa ramiona chwytne. Narządami charakterystycznymi dla ośmiornic i dziesięciornic są przyssawki znajdujące się na wewnętrznej powierzchni ramion. Są one zaopatrzone w chitynowe pierścienie, ząbki i haczyki ułatwiające polowanie. Głowonogi poruszają się bardzo sprawnie. Wystrzykiwanie wody z jamy płaszczowej (dzięki skurczom mięśni płaszcza) zapewnia im napęd – tak rozpędzone kałamarnice potrafią wyskakiwać z wody na wysokość 2 m ponad powierzchnię. Głowonogi mają najlepiej rozwinięte oczy wśród mięczaków. Budową przypominają oczy kręgowców (np. ryb). Są zdolne do akomodacji, czyli dostrajania ostrości widzenia do odległości od obserwowanego przedmiotu. Następuje to wskutek przesuwania soczewki względem siatkówki (**ryc. I.8.17.**).



Ryc. I.8.17. Porównanie oka ośmiornicy (A) z okiem kręgowca (B).

Głowonogi mają prawie zamknięty układ krwionośny o dwóch obiegach krwi. Krew płynie w naczyniach krwionośnych i w bardzo małym stopniu wylewa się do zatok krwionośnych. Dodatkowo występują serca skrzelowe, które ułatwiają wtłoczenie krwi do skrzeli (**ryc. I.8.18.**).

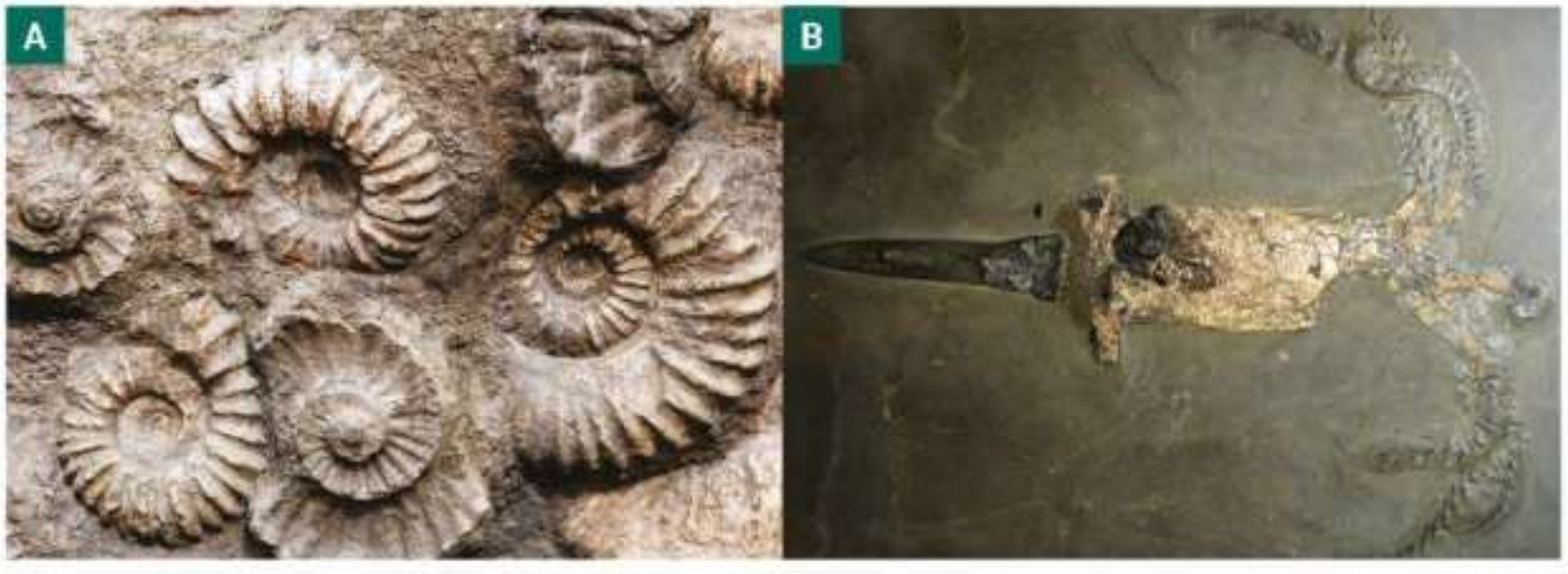
U głowonogów nastąpiło scentralizowanie układu nerwowego. Mózg, chroniony chrzęstną puszką mózgową, pozwala wykazywać złożone formy zachowań, często porównywane z niektórymi zachowaniami ptaków czy ssaków (**ryc. I.8.19.**).



Ryc. I.8.18. U głowonogów występują dwa obiegi krwi: duży (serce–ciało–serce) oraz mały (serce–skrzela–serce).

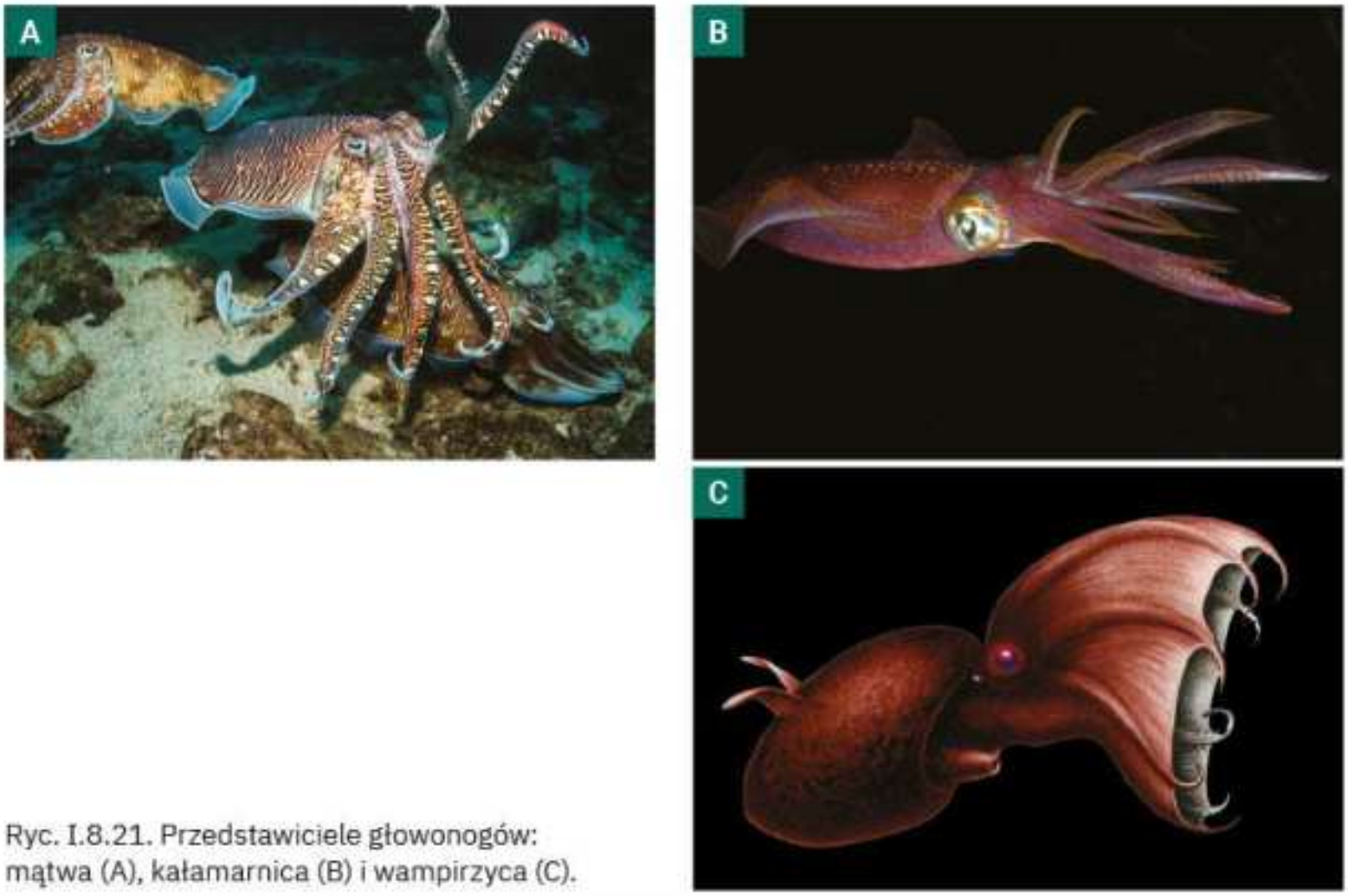
Ryc. I.8.19. Zdolności intelektualne ośmiornic są porównywalne ze zdolnościami psa lub kota. Ośmiornice odznaczają się zdolnością uczenia się, a nawet pamięcią krótkoterminową oraz trwałą.

Do głowonogów zaliczamy wymarłe amonity i belemnity, które zachowały się tylko jako formy kopalne. Amonity miały spiralną muszlę zewnętrzną o średnicy nawet do 2 m (**ryc. I.8.20.**).



Ryc. I.8.20. Wymarłe głowonogi – amonity (A) i belemnity (B).

Do współczesnych głowonogów zaliczamy mątwy, wampirzyce oraz – najbardziej inteligentne z tej grupy zwierząt – ośmiornice i kałamarnice.



Ryc. I.8.21. Przedstawiciele głowonogów: mątwa (A), kałamarnica (B) i wampirzyca (C).

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Porównaj cechy mięczaków z cechami pierścienic.
2. Scharakteryzuj środowisko życia i tryb życia ślimaków, małży i głowonogów.
3. Wyjaśnij, dlaczego głowonogi są najbardziej progresywną gromadą mięczaków.

PODSUMOWANIE LEKCJI

s. 54 ▸
- Mięczaki są bardzo zróżnicowaną grupą bezkręgowców zamieszkującą w większości **wody słone i słodkie**. Niektóre żyją także w **środowisku lądowym**.

s. 55 ▸
- Większość mięczaków to zwierzęta dwubocznie symetryczne z **wtórną jamą ciała**.

s. 55 ▸
- **Ciało podzielone** na głowę (u małży głowa jest całkowicie zredukowana), nogę i worek trzewiowy okryty płaszczem.

s. 55 ▸
- Płaszcz wytwarza **konchiolinowo-wapienną muszlę** zewnętrzną (ślimaki, małże) oraz wewnętrzną (głowonogi).

s. 56 ▸
- W układzie pokarmowym występuje gardziel zaopatrzona w szczęki i **tarkę** – narząd służący do rozdrabniania i zeskrobywania pokarmu.

- **Oddychają skrzelami** położonymi w jamie płaszczowej (ślimaki morskie, małże, głowonogi) lub **silnie ukrwioną powierzchnią jamy płaszczowej** – płucami (ślimaki lądowe i niektóre słodkowodne). ◂ s. 56
- Ich **układ krążenia jest otwarty**. Wyjątkiem są głowonogi, u których jest on półzamknięty i występują dwa obiegi krwi. ◂ s. 55
- Narządami wydalniczymi są **nerki** będące przekształconymi metanefrydiami. ◂ s. 56
- **Układ nerwowy** uległ modyfikacjom w porównaniu z układem drabinkowym pierścienic. Najbardziej rozwinięty układ nerwowy mają głowonogi, które odznaczają się złożonymi formami zachowania i bardzo dobrze rozwiniętymi narządami zmysłu. Ich oczy są porównywane do oczu kręgowców. ◂ s. 56
- Mięczaki **rozmnażają się płciowo**. Zachodzi u nich zapłodnienie zewnętrzne lub wewnętrzne. Niektóre z nich są hermafrodytami. Rozwój mięczaków jest zazwyczaj złożony z postacią larwalną, wyjątek stanowią głowonogi i ślimaki płucodyszne. ◂ s. 56
- Do mięczaków zaliczamy **chitony, ślimaki, małże i głowonogi**. ◂ s. 57–64

9. Szkarłupnie – zwierzęta wtórouste o symetrii promienistej

NA TEJ LEKCJI:

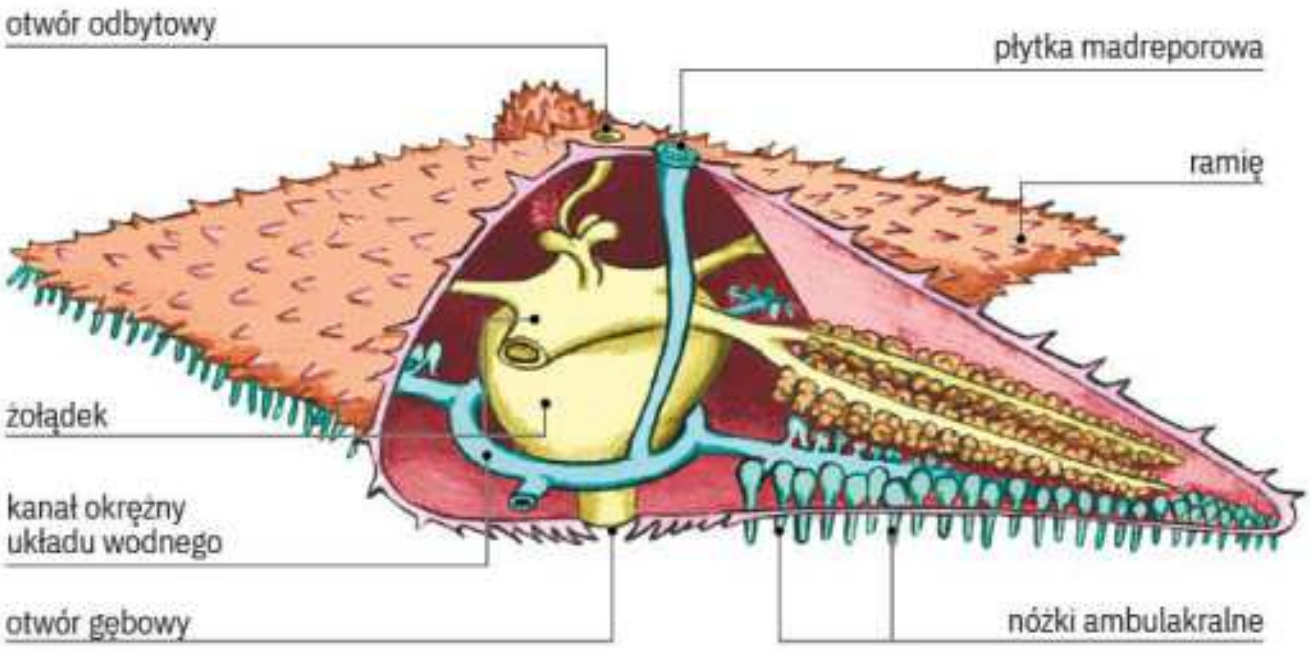
- poznasz cechy wyróżniające szkarłupnie;
- scharakteryzujesz wybrane grupy szkarłupni.

Szkarłupnie stanowią zupełnie odmienną pod względem budowy i czynności życiowych grupę zwierząt. Są boczną linią rozwojową **zwierząt wtóroustych**. Żyją wyłącznie w wodach o znacznym zasoleniu. Prowadzą wolny tryb życia. Tylko nieliczne, takie jak liliowce, strzykwy i niektóre rozgwiazdy, mogą być osiadłe. Większość gatunków to saprofagi, filtratory lub drapieżniki. Cechą wyróżniającą szkarłupnie jest **pięciopromienna symetria ciała** oraz brak wyodrębnionej głowy u postaci dorosłych. **Larwy szkarłupni są dwubocznie symetryczne**, co wskazuje na pochodzenie od zwierząt o takim planie budowy ciała. Początkowo szkarłupnie były zwierzętami dwubocznie symetrycznymi, ale przejście do osiadłego trybu życia spowodowało wtórne wykształcenie promienistej symetrii ciała. Do szkarłupni zaliczamy ponad 7 tys. gatunków żyjących współcześnie oraz 13 tys. wymarłych.

◂ **zwierzęta wtórouste**
◂ **zwierzęta morskie**
◂ **pięciopromienna symetria ciała**
◂ **brak wyodrębnionej głowy**

spłaszczone grzbieto-brzusznie ▸ Grzbieto-brzusznie spłaszczone ciało szkarłupni ma różny kształt – może być kielichowate, gwiaździste, walcowate lub kuliste. Okryte jest wapiennym, sztywnym szkieletem zbudowanym z płytek lub igieł. Cechą właściwą tylko szkarłupni jest

układ wodny ▸ **układ wodny** – ambulakralny, zbudowany z jednego kanału otaczającego przełyk i pięciu kanałów odchodzących od niego promieniście.



Ryc. I.9.1. Przekrój przez ciało rozgwiazdy.

W układzie ambulakralnym krąży woda morska łącząca otoczenie z wnętrzem cia-

nóżki wodne ▸ ła. Każdy z kanałów jest zaopatrzony w **nóżki wodne** (ambulakralne) – ruchliwe wyrostki, które służą szkarłupniom do poruszania się, a także pomagają w oddychaniu i są narządami dotyku. Szkarłupnie mają słabo wyspecjalizowane narządy oddechowe. Funkcję narządów oddechowych u jeżowców, wężowideł i rozgwiazd pełnią wyrostki ściany ciała – skrzela skórne. U strzykw funkcje narządów oddechowych pełnią dwa, cienkościenne i rozgałęzione w jamie ciała płuca wodne. W oddychaniu

otwarty układ krwionośny ▸ uczestniczy także cienka powłoka ciała. **Otwarty układ krwionośny** szkarłupni ma bardzo uproszczoną budowę: składa się z systemu zatok i kanałów, w których krąży płyn odpowiadający limfie kręgowców. Położenie otworu gębowego i odbytowego określa stronę górną i dolną ciała. Otwór gębowy mieści się na dolnej stronie ciała. Odchodzi od niego przełyk prowadzący do bardzo dużego żołądka. Żołądek przechodzi w rozgałęziające się jelito, które kończy się otworem odbytowym na górnej stronie ciała. Szkarłupnie nie mają układu wydalniczego – wydalają na drodze dyfuzji całą powierzchnią ciała oraz za pomocą wyspecjalizowanych komórek, które pochłaniają metabolity i przez układ wodny usuwają na zewnątrz. Budowa układu nerwowego jest także bardzo prosta. Tworzy go pierścień nerwowy otaczający przełyk, od którego do ramion odchodzi pięć pni nerwowych. Szkarłupnie nie wykształciły mózgu, a ich narządy zmysłu są bardzo słabo rozwinięte.

Szkarłupnie są zwierzętami rozdzielnopłciowymi. Nie występuje u nich dymorfizm płciowy. Rzadko stwierdza się formy obojnacze. Zapłodnienie jest zewnętrzne,

rozwój złożony ▸ a rozwój złożony z obecnością larwy.

Liliowce

Rozgwiazdy

Wężowidła

Jeżowce

Strzykwy

Kołonice

Ryc. I.9.2. Przedstawiciele szkarłupni.

Liliowce

Zwierzęta te stanowią najstarszą linię ewolucyjną szkarłupni. Ich ciało ma kształt kielicha z pięcioma ramionami. Prowadzą głównie osiadły tryb życia. Przytwierdzają się do podłoża wydłużonymi łodyżkami. Niektóre zachowały zdolność do prze-

mieszczania się za pomocą ramion. Mają otwór gębowy skierowany do góry. Odżywiają się planktonem, który filtrują z wody.

Rozgwiazdy

Ciało tych zwierząt ma kształt pięciopromiennej gwiazdy. Jego centrum stanowi tarcza środkowa, od której odchodzą ramiona. Rozgwiazdy poruszają się po dnie zbiornika za pomocą nóżek wodnych. Otwór gębowy jest skierowany do dołu. Są głównie drapieżnikami. Polują na małże, morskie ślimaki, pierścienice, a nawet ryby. Mają zdolność wynicowywania żołądka na zewnątrz ciała – obejmują nim zdobycz, a następnie ją trawią. Niektóre żywią się padliną. Odznaczają się bardzo dużą zdolnością do regeneracji – mogą odtwarzać całe utracone ramiona. Niekiedy nawet z jednego ramiona z zachowanym fragmentem tarczy centralnej odbudowują cały organizm.

Osobliwą rozgwiazdą jest jadowita korona cierniowa, która poluje na polipy korali rafowych Oceanu Spokojnego i Indyjskiego. Średnica jej ciała osiąga do 60 cm. Na 18 krótkich ramionach znajdują się kolce jadowe. Powoduje duże straty, niszcząc w bardzo szybkim tempie Wielką Rafę Koralową. Ekspansja tej rozgwiazdy jest prawdopodobnie wynikiem braku naturalnych wrogów w środowisku (**ryc. I.9.3.**).

Ryc. I.9.3. Korona cierniowa, jedna z największych rozgwiazd, nazwę zawdzięcza jadowitym kolcom, które przypominają biblijną koronę cierniową.

Wężowidła

Wężowidła przypominają rozgwiazdy. Ich ciało jest zbudowane z tarczy centralnej i pięciu długich ramion osiągających do 20 cm długości. Poruszają się, wykonując ramionami charakterystyczne, wijące się ruchy. Żywią się, filtrując cząsteczki z mułu. Mogą być drapieżnikami (polują na drobne zwierzęta wodne), a także padlinożercami. Nie mają otworu odbytowego – niestrawione resztki pokarmowe usuwają przez otwór gębowy położony na dolnej stronie ciała. Odznaczają się zdolnością do autotomii – w momencie zagrożenia mogą odrzucić ramiona.

Jeżowce

Zwierzęta te swoim kształtem przypominają półkulę. Są otoczone twardym, wapiennym pancerzem i gęsto rozmieszczonymi kolcami. Nie mają ramion, a do poruszania wykorzystują nóżki wodne. Do pobierania pokarmu służy im specjalny apa-

rat gębowy – nazywany latarnią Arystotelesa – zbudowany z pięciu promieniście ułożonych zębów wapiennych. Jeżowce odżywiają się wodorostami, a także mułem i szczątkami zwierząt. Niektóre gatunki, występujące w rejonie Morza Śródziemnego, na Karaibach i na południu Azji, są poławiane w celach kulinarnych.

Strzykwy

Strzykwy mają szkielet zredukowany do drobnych, wapiennych igiełek tkwiących w ciele. Ich ciało jest walcowate. Przypomina kształtem i wielkością ogórek, dlatego często strzykwy są nazywane ogórkami morskimi. Ich otwór gębowy otoczony jest wieńcem czułków służących do pobierania mułu, którym strzykwy się odżywiają. Broniąc się przed atakiem drapieżnika, mogą wyrzucać z ciała lepką wydzielinę lub przewód pokarmowy przez odbyt. Utracone narządy dość szybko się regenerują. Niektóre gatunki strzykw są poławiane i w postaci suszonej lub wędzonej stanowią przysmaki kuchni azjatyckiej.

◂ **strzykwy**

Kołonice

Ta grupa szkarłupni została odkryta w latach osiemdziesiątych XX w. Znane są tylko trzy gatunki – jeden z okolic Nowej Zelandii, jeden z Bahamów i jeden z Pacyfiku Północnego. Żyją w zatopionym drewnie. Ich ciało ma kształt dysku o średnicy 5 cm. Na jego brzegach znajdują się małe kolce. Kołonice nie mają ramion. Odżywiają się, wchłaniając pokarm przez błonę otaczającą ciało.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Przedstaw cechy wyróżniające szkarłupnie od pozostałych zwierząt wtóroustych.
2. Uzasadnij, dlaczego szkarłupnie są przykładem uwstecznienia cech w rozwoju ewolucyjnym zwierząt.
3. Wyjaśnij rolę szkarłupni w kształtowaniu ekosystemów wodnych.

PODSUMOWANIE LEKCJI

- Szkarłupnie są trójwarstwowymi **zwierzętami wtóroustymi**. ◂ s. 65
- Pojawiła się u nich wtórna **pięciopromienna symetria ciała**. ◂ s. 65
- Ciało szkarłupni jest **spłaszczone grzbieto-brzusznie**. ◂ s. 66
- U form dorosłych **nie ma wyodrębnionej głowy**. ◂ s. 65
- Mają **układ wodny** i wapienny szkielet wewnętrzny. ◂ s. 66
- Przechodzą **rozwój złożony**. Orzęsione larwy są dwubocznie symetryczne. ◂ s. 66
- Żyją wyłącznie w **wodach morskich** o wysokim stopniu zasolenia. ◂ s. 67
- Mają duże zdolności regeneracyjne, np. **strzykwy** w razie zagrożenia wyrzucają przez odbyt część przewodu pokarmowego wraz z gonadami (autotomia narządów), które następnie ulegają regeneracji. ◂ s. 69

10. Charakterystyka strunowców

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz cechy charakterystyczne strunowców;
- dowiesz się, na czym polega pokrewieństwo ewolucyjne strunowców;
- zapoznasz się z cechami wyróżniającymi kręgowce.

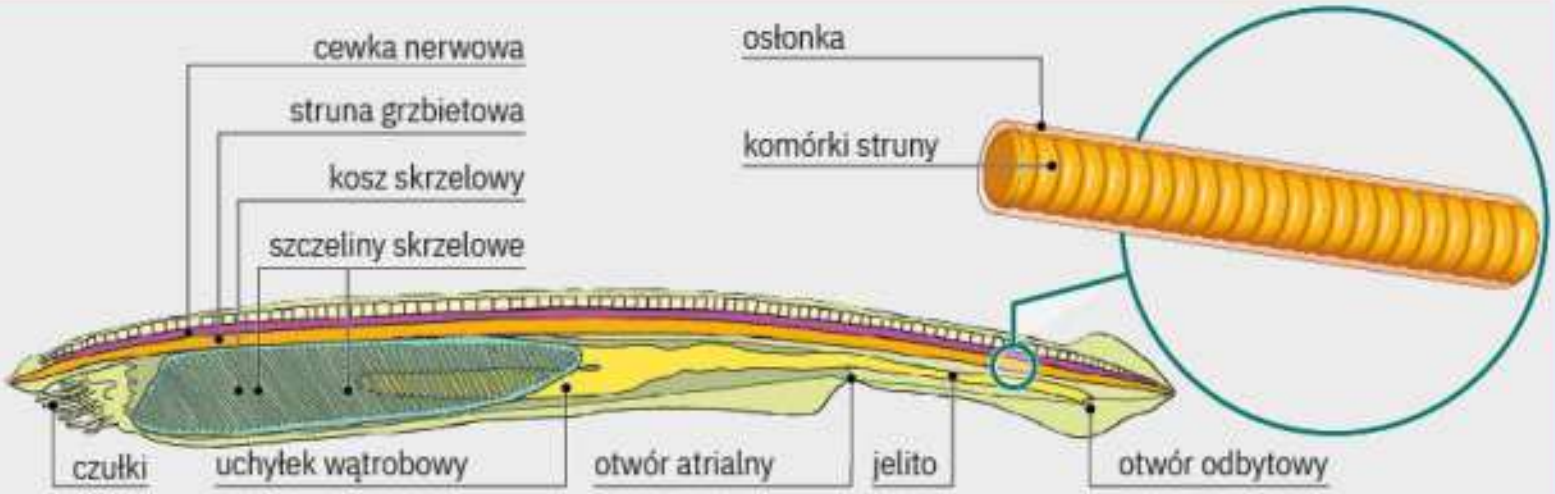
dwubocznie symetryczne

struna grzbietowa

Wszystkie strunowce są zwierzętami dwubocznie symetrycznymi, wtóroustymi, z trzema dobrze wykształconymi listkami zarodkowymi. Charakteryzują się obecnością struny grzbietowej oraz występowaniem kilku wspólnych cech, które zostały wymienione w **tabeli I.10.1.**

Tab. I.10.1. Cechy charakterystyczne strunowców

Cechy strunowców

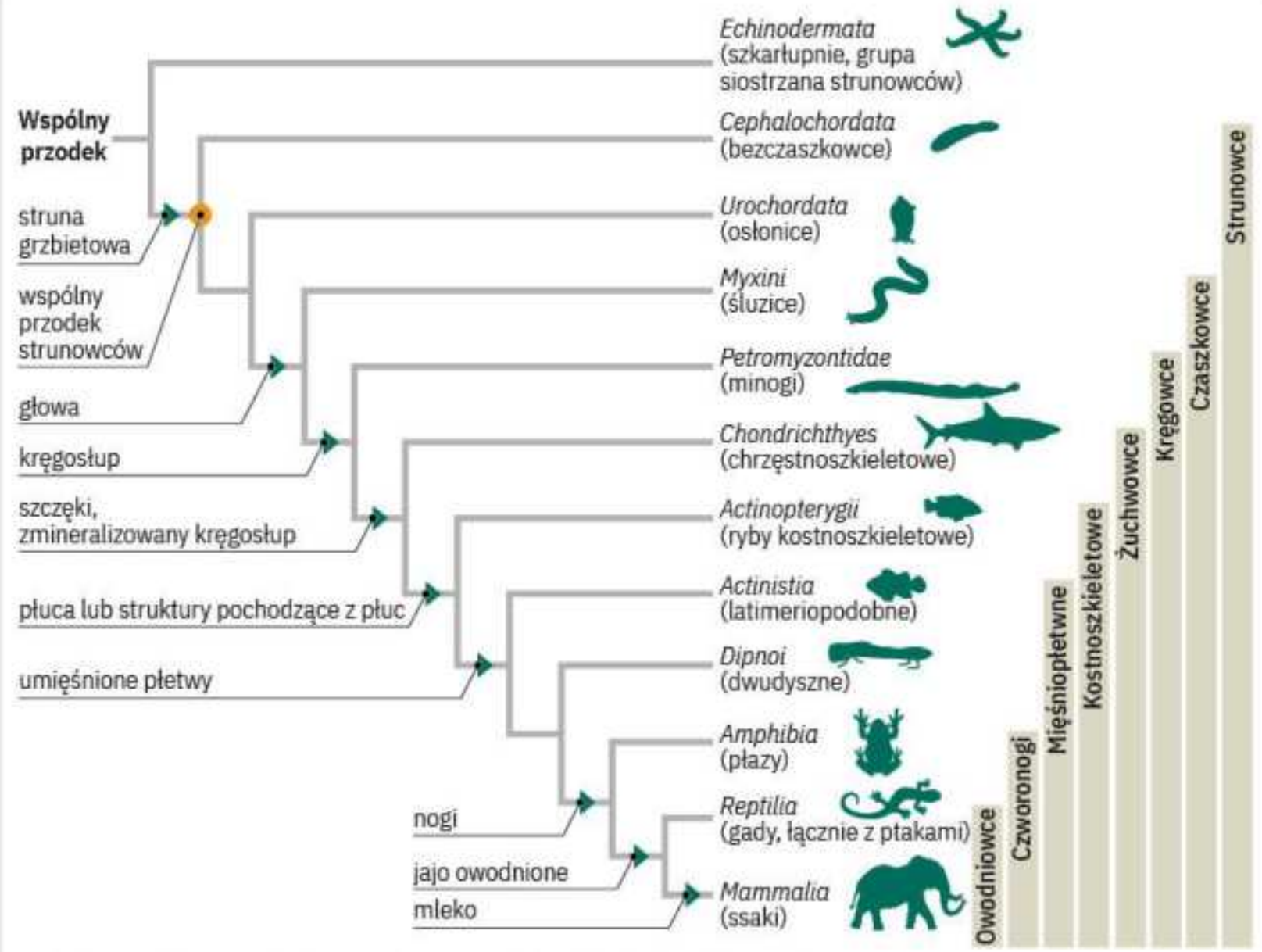


Struna grzbietowa	To wewnętrzny szkielet osiowy, który ma postać walcowatego pręta zbudowanego z tkanki łącznej. U dorosłych ryb i płazów ma postać szczątkową, a u ptaków i ssaków jest zastępowany przez kręgosłup.
Cewka nerwowa	Położona jest grzbietowo wzdłuż struny grzbietowej. Cewka nerwowa zarodka strunowców rozwija się w ośrodkowy układ nerwowy: mózg i rdzeń kręgowy (u kręgowców).
Szczeliny skrzelowe gardzieli	Gardziel, czyli odcinek położony tuż za otworem gębowym u zarodków, ma na bocznych ścianach szereg wgłębień oddzielonych bruzdami (szpary skrzelowe). U lądowych strunowców część szpar zanika, a część zostaje przekształcona w inne struktury.
Endostyl	To rowek na dnie gardzieli, który wydziela śluz. Przyczepiają się do niego cząstki pokarmu wpływające do gardzieli wraz z wodą. Występuje u osłonic, lancetnika oraz larw minogów. U pozostałych strunowców przekształcił się w tarczycę.
Ogon	Ogon znajduje się za otworem odbytowym i służy do poruszania się (czasem zanika, np. u człowieka).

Pokrewieństwo ewolucyjne strunowców

Badania wykazały, że przodek strunowców był drobnym, wodnym zwierzęciem o symetrii dwubocznej. Jego ciało składało się z dwóch części: jedna odpowiadała za pobieranie pokarmu, a druga służyła do przemieszczania się. Tradycyjny podział taksonomiczny strunowców dzieli ten typ na trzy podtypy: osłonice, bezczaszkowce i kręgowce. Pokrewieństwo ewolucyjne strunowców jest przedmiotem ciągłych analiz i dyskusji. Najnowsze badania pokazują, że kręgowce i osłonice są najbliższymi krewnymi, natomiast bezczaszkowce należą do osobnej gałęzi ewolucyjnej (**ryc. I.10.1.**).

podział strunowców



Ryc. I.10.1. Pokrewieństwo ewolucyjne żyjących obecnie strunowców.

Osłonice mają cechy strunowców w stadium larwalnym, m.in. strunę grzbietową, leżącą nad nią cewkę nerwową, ogon i segmentację mięśni. Po metamorfozie wiele z tych cech zanika, dlatego postać dorosła nie przypomina innych przedstawicieli strunowców. Nazwa osłonic wywodzi się od **tuniki** – organicznej osłonki, która otacza ich ciało. Tunika ma dwa otwory zwane syfonami: wpustowy, przez który woda wraz z pokarmem wpływa do wnętrza ciała, oraz wyrzutowy, którym niestrawione resztki pokarmu wydostają się na zewnątrz. Przedstawicielami osłonic są **żachwy**,

osłonice

żachwy

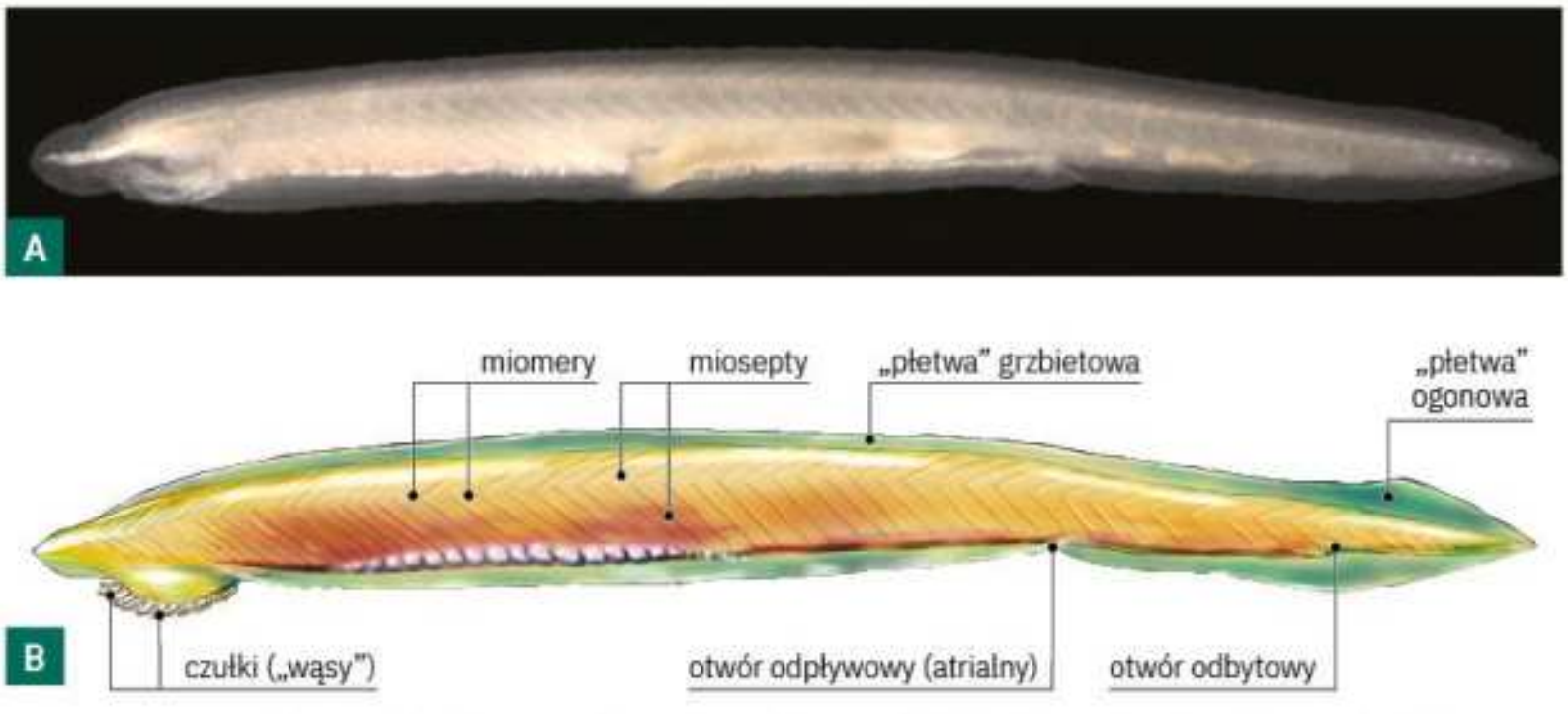
które w stadium larwalnym pływają w wodzie, natomiast postać dorosła prowadzi osiadły ryb życia na dnie morskim (**ryc. I.10.2.**).

Ryc. I.10.2. Żachwa – tryskawka złotogłowa należąca do osłonic.

bezczaszkowce

Bezczaszkowce

Do bezczaszkowców należy ponad 20 gatunków, z których najbardziej znany jest **lancetnik** (**ryc. I.10.3.**). Żyje on w płytkich morzach północno-wschodniego Atlantyku, Morza Śródziemnego i Morza Czarnego. W stadium larwalnym u lancetnika obecne są struna grzbietowa, położona nad nią cewka nerwowa, szpary skrzelowe i ogon. Po metamorfozie dorosła postać zagrzebuje się w piasku na dnie zbiornika, wystawiając przednią część ciała, z pomocą której odfiltrowuje pokarm z wody. Ciało lancetnika jest wydłużone, półprzezroczyste, o długości 5–7 cm, zakończone rozszerzeniem przypominającym lancet (**ryc. I.10.3.**), a także segmentowane, o czym świadczy szeregowe ułożenie segmentów mięśni (miomerów). Lancetniki są filtratrami. Resztki pokarmowe sklejone śluzem endostylu są kierowane do jelita. Lancetnik jest rozdzielnopłciowy, jaja i plemniki składa do wody, gdzie dochodzi do zapłodnienia.



Ryc. I.10.3. Przedstawicielem bezczaszkowców jest lancetnik (A), schemat budowy lancetnika (B).

Kręgowce

kręgowce

Kręgowce stanowią najliczniejszy podtyp strunowców, obejmujący krągłouste, ryby, płazy, gady i ptaki oraz ssaki.

Jest to grupa bardzo zróżnicowana morfologicznie (**ryc. I.10.4.**), która liczy około 70 tys. opisanych gatunków. Należą do niej zarówno gatunki roślinożerne, jak i drapieżne, wodne oraz lądowe, o małych rozmiarach (np. żaba o długości 8 mm) i największe żyjące współcześnie zwierzęta (płetwal błękitny o długości 33 m). Kręgowce osiągnęły najwyższy stopień zaawansowania ewolucyjnego. Do kręgowców zalicza się także człowiek.

Ewolucja kręgowców

kambr

Kręgowce pojawiły się ponad pół miliarda lat temu w **kambrze**. Ich najstarszymi przedstawicielami kopalnymi są **bezżuchwowce pancerne**. Ważnym etapem w ewolucji kręgowców było pojawienie się głowy składającej się z mózgu, oczu i innych narządów zmysłów, co pozwoliło na rozwinięcie bardziej złożonych zachowań (związanych z poruszaniem się czy zdobywaniem pokarmu). Strunowce z głową nazywamy **czaszkowcami** (należą do nich np. śluzice). Jedna z linii ewolucyjnych czaszkowców dała początek kręgowcom. Najstarszą współcześnie żyjącą linię ewolucyjną kręgowców reprezentują minogi i śluzice zaliczane do **krągłoustych**.

żuchwowce

Kolejnym krokiem w ewolucji było pojawienie się **szczęk** w sylurze. Szczęki są charakterystyczne dla kręgowców określanych jako **żuchwowce** (chrzęstnoszkieletowe, kostnopromieniste, mięśniopłetwe, płazy, gady, ptaki i ssaki). Szczęki umożliwiały chwytanie i rozdrabnianie pokarmu. Były charakterystyczne dla wczesnych ryb drapieżnych, które opanowały zbiorniki wodne. Zróżnicowały się na kilka grup (m.in. ryby pancerne i fałdopłetwe), z których część wymarła, a nowe formy dalej ewoluowały. Około 370 mln lat temu (późny dewon) z ryb mięśniopłetwych powstały kręgowce lądowe, czyli **czworonogi**. U czworonogów w miejsce płetw piersiowych i brzusznych rozwinęły się kończyny, dzięki którym zwierzęta te opanowały częściowo środowiska lądowe. Życie na lądzie w toku dalszej ewolucji doprowadziło do odseparowania głowy od ciała za pomocą szyi. Przełomem w ewolucji czworonogów było powstanie **jaja wyposażonego w błony płodowe**, co uniezależniło rozwój kręgowców od środowiska wodnego. Tak powstały **owodniowce**, które dość szybko opanowały lądy i powietrze oraz wykształciły rozmaite przystosowania do zajmowanych środowisk (**ryc. I.10.4.**). Wywodzące się od owodniowców linie rozdzieliły się i dały początek gadom, ptakom oraz ssakom. Fizjologia ptaków i ssaków osiągnęła jeszcze wyższy stopień specjalizacji dzięki pojawieniu się **stałocieplności**.

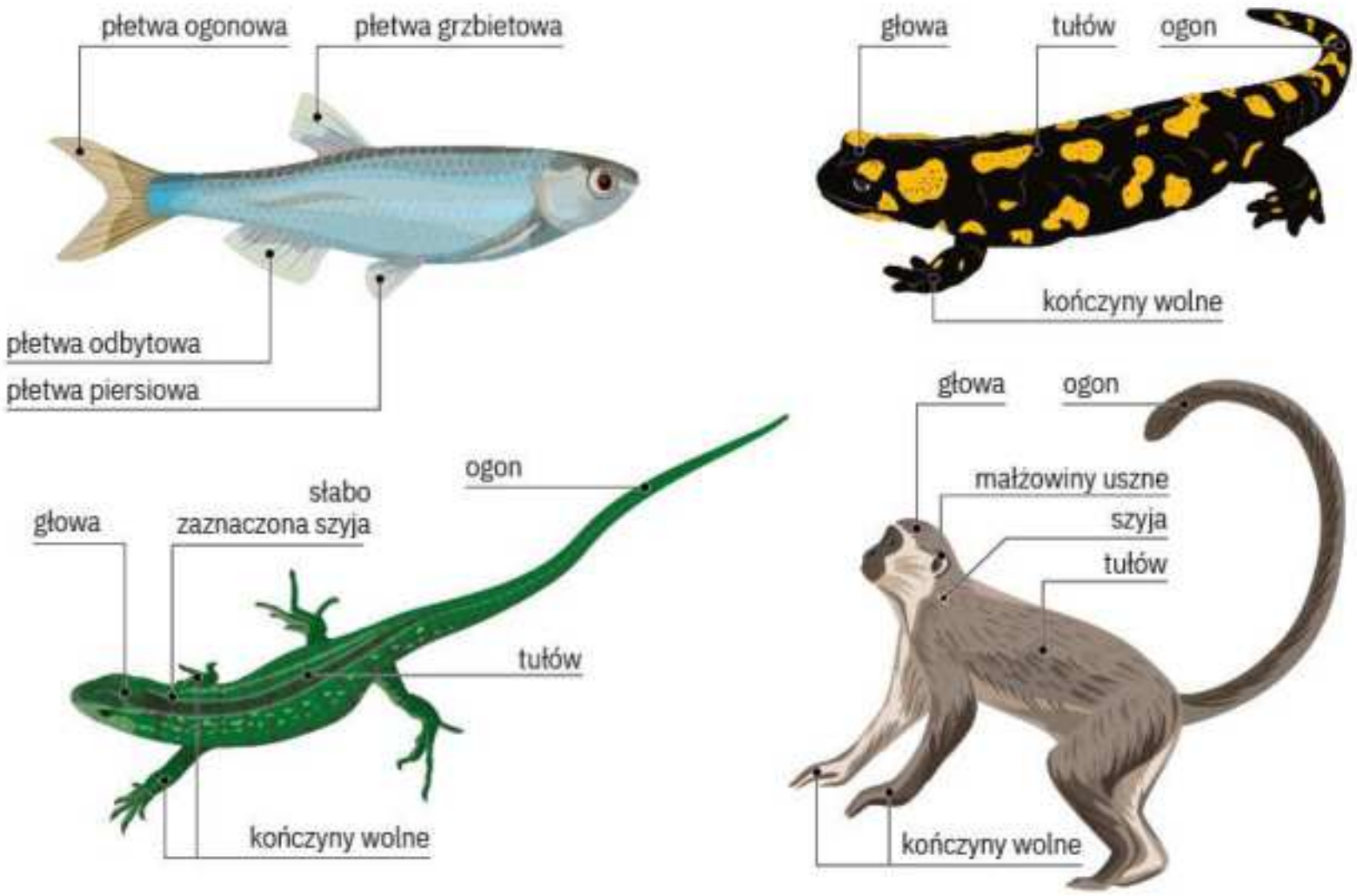
owodniowce

Ogólna charakterystyka kręgowców

ciało kręgowców

Ciało kręgowców jest dwubocznie symetryczne, z wyraźnie zaznaczoną głową, tułowiem i ogonem (**ryc. I.10.4.**). Występuje u nich wewnętrzny szkielet osiowy zbudowany z tkanki chrzęstnej lub kostnej. W jego skład wchodzą kręgosłup, czaszka, pas barkowy, pas miednicowy oraz kości kończyn (zredukowane np. u węży

i wielorybów). Szkielet początkowo tworzy struna grzbietowa (zastępowana u większości kręgowców przez kręgosłup). Szkielet głowy, czyli czaszka, stanowi ochronę mózgu. W skład czaszki wchodzą mózgoczaszka, elementy podpierające skrzela oraz u większości kręgowców – szczęki. Większość kręgowców ma również parzyste kończyny (płetwy lub kończyny wolne) (**ryc. I.10.4.**). Wspólne cechy budowy wewnętrznej kręgowców przedstawiono w **tabeli I.10.2**.



Ryc. I.10.4. Sylwetki wybranych kręgowców.

Tab. I.10.2. Budowa wewnętrzna kręgowców

Budowa wewnętrzna kręgowców		
układ pokarmowy	**Układ pokarmowy**	Na **układ pokarmowy** kręgowców składa się przewód pokarmowy z otworem gębowym i odbytem oraz gruczołami dodatkowymi (wątrobą, trzustką). Układy pokarmowe poszczególnych grup kręgowców wyróżniają się modyfikacjami i przystosowaniami, dzięki którym zwierzęta te mogą trawić różnorodny pokarm (roślinny, mięsny).
narządy oddechowe	**Układ oddechowy**	**Narządami oddechowymi** kręgowców są skrzela i płuca. Skrzela zwykle składają się z licznych blaszek skrzelowych rozmieszczonych po bokach gardzieli. Wspierają się na szkieletowych łukach skrzelowych, między którymi znajdują się szczeliny skrzelowe. U kręgowców lądowych występują płuca, które rozwinęły się z parzystego pęcherza pławnego – narządu służącego rybom do regulacji wyporności.

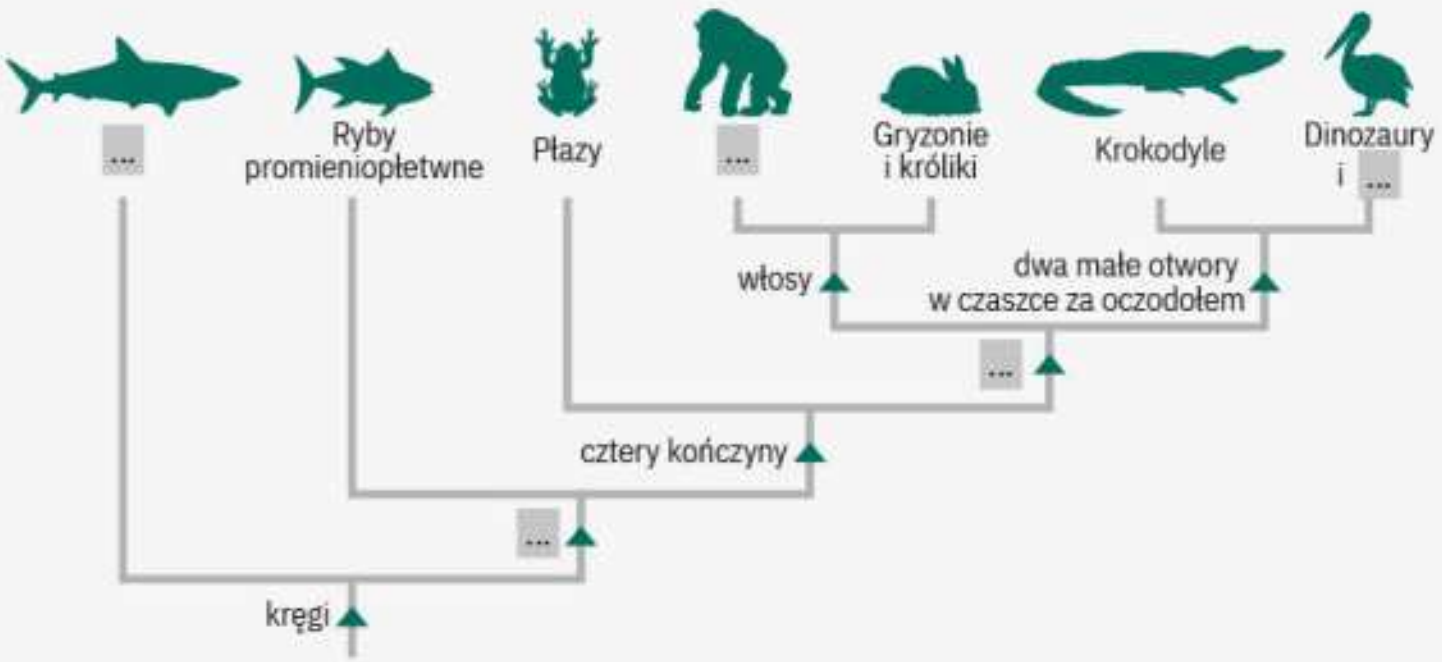
Układ krwionośny	Dzięki obecności hemoglobiny krew kręgowców ma kolor czerwony. Jej transport odbywa się w **zamkniętym układzie krążenia**. Krew tłoczona jest żyłami i tętnicami dzięki skurczom mięśnia sercowego położonego po stronie brzusznej.
Układ nerwowy	**Układ nerwowy** obejmuje ośrodkowy (centralny) układ nerwowy (OUN), czyli **mózgowie** i **rdzeń kręgowy**, oraz **nerwy**, które tworzą obwodowy układ nerwowy. OUN ciągnie się wzdłuż struny grzbietowej, a u bardziej zaawansowanych organizmów – w kanale rdzeniowym kręgosłupa. Kręgowce mają dobrze rozwinięte narządy zmysłów. W czaszce znajdują się trzy pary narządów: opuszki węchowe, oczy oraz narządy równoważno-słuchowe (błędnik i ślimak). U kręgowców wodnych występuje linia naboczna, odbierająca drgania ośrodka.
Układ wydalniczy	**Układ wydalniczy** kręgowców stanowią **nerki**, zbudowane z nefronów (pranercze u ryb i płazów oraz nerka ostateczna u owodniowców). Przez nefron spływa przesącz krwi, czyli mocz pierwotny, który podlega dalszym przemianom w mocz ostateczny. Mocz ostateczny zawiera produkty odpadowe metabolizmu, w szczególności produkty rozpadu związków azotowych. Niektóre kręgowce wydalają głównie amoniak (zwierzęta **amonioteliczne**), a inne – mocznik (zwierzęta **ureoteliczne**) lub kwas moczowy (zwierzęta **urykoteliczne**).
Rozmnażanie	Większość kręgowców jest **rozdzielnopłciowa**. Samice produkują komórki jajowe, a samce – plemniki. U ryb i płazów zapłodnienie jest najczęściej zewnętrzne. U kręgowców lądowych (jajorodnych i żyworodnych) zapłodnienie jest wewnętrzne.

- **zamknięty układ krążenia**
- **układ nerwowy**
- **układ wydalniczy**
- **rozdzielnopłciowe**

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Wymień te cechy lancetnika, które pozwoliły zaliczyć go do strunowców.

2. Przerysuj do zeszytu i uzupełnij uproszczony kladogram przedstawiający pokrewieństwo ewolucyjne strunowców.



3. Przeczytaj poniższy tekst.

Sprzągle to zwierzęta morskie osiągające długość od 2 do 20 cm. Unoszą się w toni wodnej pojedynczo lub tworzą duże kolonie. Są to filtrujące zwierzęta o beczułkowatym przezroczystym ciele, które poruszają się dzięki odrzutowi filtrowanej przez nie wody. Mają otwór wlotowy prowadzący do obszernej gardzieli przebitej otworami skrzelowymi, endostyl i atrium, do którego uchodzi odbyt. Ciało pokrywa tunika.

a) Podaj, do jakiej grupy strunowców należą sprzągle.

b) Wymień trzy charakterystyczne cechy rzędu strunowców, do którego należą sprzągle.

4. Wyjaśnij i omów cechy, które odróżniają kręgowce od strunowców.

PODSUMOWANIE LEKCJI

s. 70 ▸
- Strunowce to zwierzęta **dwubocznie symetryczne**, wtórouste, z dobrze wykształconymi listkami zarodkowymi.

s. 70 ▸
- Do cech charakterystycznych strunowców należą: **obecność struny grzbietowej**, grzbietowo położona cewka nerwowa, obecność gardzieli ze szparami skrzelowymi i endostylem oraz obecność ogona.

s. 71 ▸
- **Strunowce dzielimy na** osłonice, bezczaszkowce i kręgowce. Osłonice i kręgowce są bliżej spokrewnione, a bezczaszkowce należą do osobnej linii ewolucyjnej.

s. 71 ▸
- Osłonice w stadium larwalnym mają strunę grzbietową, cewkę nerwową i ogon. U postaci dorosłych cechy te zanikają.

s. 71 ▸
- Ciało osłonic (np. **żachw**) ma dwa otwory: wpustowy i wyrzutowy. Jest okryte organiczną osłonką – tuniką.

s. 72 ▸
- Do **bezczaszkowców** należy lancetnik, którego stadium larwalne ma typowe cechy strunowców (struna grzbietowa, cewka nerwowa, ogon). Postać dorosła o wydłużonym, lancetowatym ciele żyje w strefie przydennej i pobiera pokarm przez odfiltrowanie go z wody.

s. 73 ▸
- **Kręgowce** obejmują: krągłouste, ryby, płazy, gady i ptaki oraz ssaki.

s. 73 ▸
- Kręgowce pojawiły się w **kambrze**, a kolejnymi krokami w ich ewolucji było wykształcenie: głowy (czaszkowce), szczęk (żuchwowce) i kończyn (czworonogi), oraz pojawienie się jaj z błonami płodowymi (owodniowce) i stałocieplności.

s. 73 ▸
- **Ciało kręgowców** jest podzielone na głowę, tułów, ogon. Występuje szkielet osiowy w postaci chrzęstnego lub kostnego kręgosłupa oraz czaszki, a także parzyste kończyny wolne lub płetwy.

s. 74 ▸
- **Układ pokarmowy** tworzą przewód pokarmowy z dwoma otworami oraz gruczoły dodatkowe (wątroba, trzustka). Wyróżnia się przystosowaniami uzależnionymi od rodzaju pobieranego pokarmu.

s. 74 ▸
- **Narządami oddechowymi** kręgowców są skrzela i płuca.

s. 75 ▸
- Kręgowce mają **zamknięty układ krążenia** z sercem po brzusznej stronie. Krew zawiera czerwoną hemoglobinę i jest transportowana żyłami oraz tętnicami.

s. 75 ▸
- Na **układ nerwowy** kręgowców składają się mózgowie, rdzeń kręgowy oraz nerwy. Narządy zmysłów cechują się wysokim stopniem rozwoju.

s. 75 ▸
- Na **układ wydalniczy** składają się nerki. Zwierzęta jako końcowy produkt przemian azotowych wydalają amoniak, mocznik lub kwas moczowy.

s. 75 ▸
- Większość kręgowców jest **rozdzielnopłciowa**. U ryb i płazów zapłodnienie jest najczęściej zewnętrzne, a u kręgowców lądowych – wewnętrzne.

11. Różnorodność i przegląd systematyczny kręgowców

NA TEJ LEKCJI:

- uzyskasz informacje o najważniejszych grupach kręgowców;
- poznasz przykłady zwierząt należących do krągłoustych, ryb, płazów, gadów, ptaków i ssaków.

Tradycyjny podział kręgowców obejmuje: krągłouste, ryby, płazy, gady, ptaki oraz ssaki.

◂ **podział kręgowców**

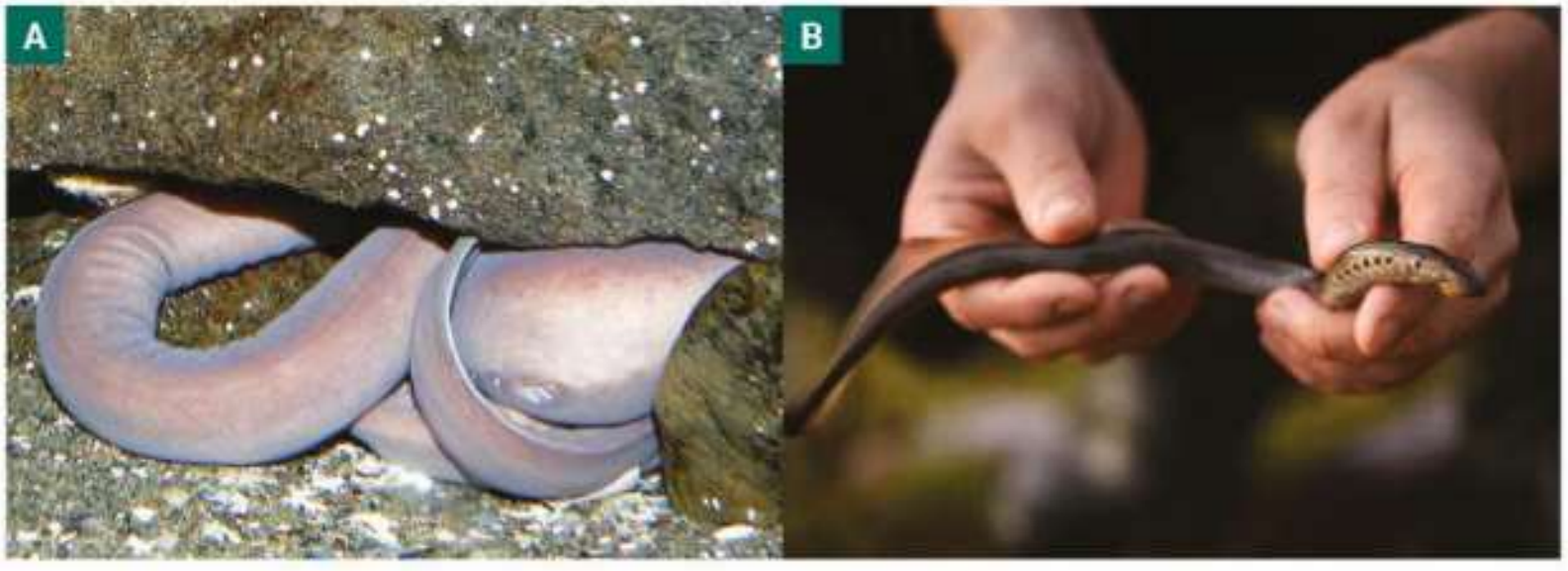
Krągłouste

◂ **krągłouste**

Przedstawicielami krągłoustych są śluzice i minogi. **Śluzice** (**ryc. I.11.1.A**) są morskimi padlinożercami. Mają ostry język, zaopatrzony w rogowe wypustki, którym wwiercają się w ciało ofiary i wyrywają kęsy pokarmu. Charakterystyczną cechą śluzic jest ich mechanizm obronny – zaatakowane wydzielają ogromną ilość śluzu, dzięki któremu łatwo wyślizgują się drapieżnikowi.

Na świecie występuje około 35 gatunków **minogów (ryc. I.11.1.B)**. Są to gatunki wodne, w większości pasożytnicze, które przyczepiają swój pozbawiony szczęk okrągły otwór gębowy do ciała ryby, ostrym językiem nacinają jej skórę i wysysają krew. W cyklu życiowym minogów występuje stadium larwalne. Larwy żyją w wodach słodkich i żywią się planktonem pobieranym przez odfiltrowywanie go z wody. Osobniki dorosłe wędrują do mórz lub jezior. Minogi mają szkielet zbudowany z chrząstki (bez kolagenu) i zachowaną strunę grzbietową otoczoną chrzęstną rurką. Od rurki wyrastają pary chrzęstnych wyrostków – szczątkowe kręgi, które częściowo zamykają rdzeń kręgowy.

◂ **minogi**



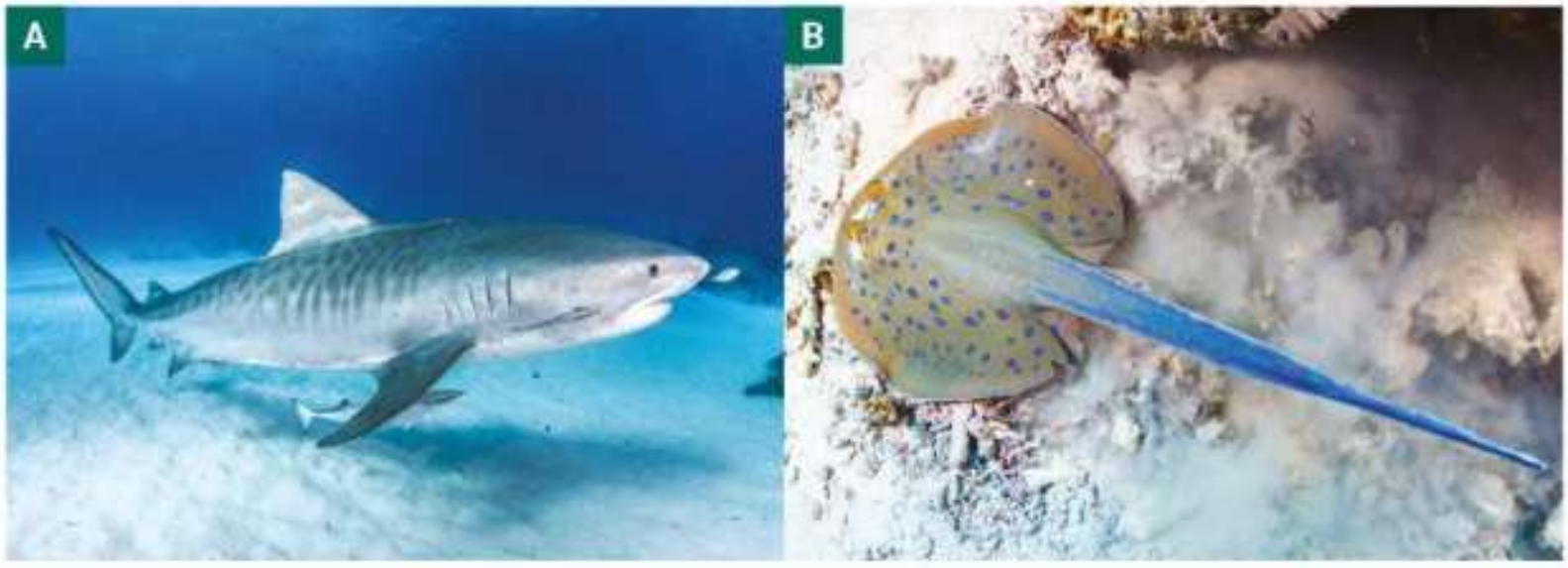
Ryc. I.11.1. Przedstawicielami krągłoustych są śluzice (A) i minogi (B).

Ryby

ryby chrzęstnoszkieletowe

Szkielet **ryb chrzęstnoszkieletowych**, jak sama nazwa wskazuje, utworzony jest z chrząstki, czasami wzmocnionej wapniem. Zwierzęta te mają szczęki, dwie pary parzystych płetw, a ich ciało pokrywają łuski plakoidalne (o budowie zbliżonej do zębów). Do ryb chrzęstnoszkieletowych należą największe drapieżniki morskie, których gatunków jest około 750. W ostatnich latach liczebność ich populacji ulega drastycznemu zmniejszeniu ze względu na intensywne połowy. Zalicza się do nich rekiny i płaszczki (**ryc. I.11.2.**).

Rekiny mają opływowy kształt ciała, dużą wątrobę z zapasem tłuszczu, co zmniejsza wyporność i umożliwia sprawne poruszanie się w toni wodnej. Większość rekinów odżywia się planktonem, który odfiltrowuje z wody. Niektóre są mięsożercami. Dzięki potężnym szczękom i zębom polują na ofiary, które rozszarpują albo połykają w całości. Rekiny mają dobrze rozwinięty mózg, a ich rdzeń kręgowy otaczają kręgi. Ich wzrok jest dobry. Potrafią wykryć pole elektryczne jako aktywność mięśni innych zwierząt. U rekinów występuje zapłodnienie wewnętrzne. Część gatunków jest jajorodna, a część – żyworodna (młode rozwijają się w macicy aż do momentu urodzenia). Liczbę gatunków rekinów szacuje się na 350. Płaszczki prowadzą przydenny tryb życia. Wyłapują i miażdżą szczękami mięczaki i skorupiaki. Mają spłaszczone ciało, z dwiema rozwiniętymi płetwami piersiowymi oraz ogonem, który u niektórych gatunków ma kolec jadowy, służący do obrony.



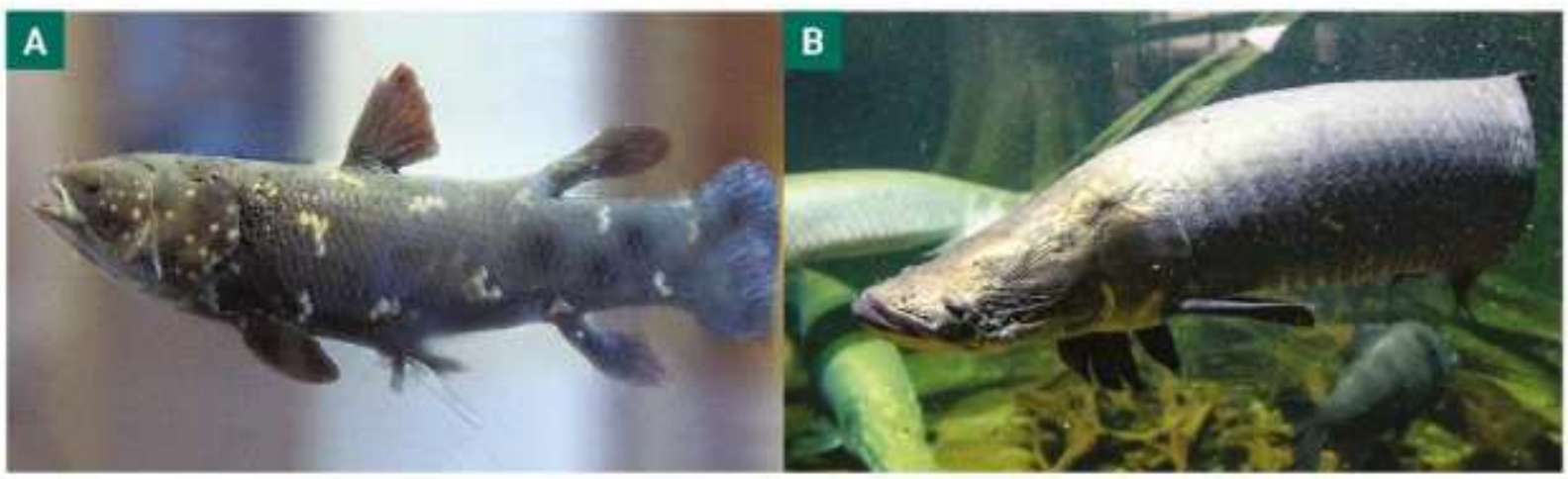
Ryc. I.11.2. Rekin żarłacz tygrysi (A) i płaszczka z rodzaju ogończa (B) należą do chrzęstnoszkieletowych.

ryby kostnoszkieletowe

Ryby kostnoszkieletowe charakteryzuje występowanie kostnego szkieletu wewnętrznego, obecność licznych kręgów oraz czterech lub pięciu par skrzeli osadzonych w komorach skrzelowych i zamkniętych wiekiem skrzelowym. Ryby kostnoszkieletowe wyposażone są w pęcherz pławny, dzięki któremu kontrolują głębokość zanurzenia. Skórę większości z nich pokrywają kostne, płaskie łuski otoczone śluzem wydzielanym przez gruczoły skórne. Większość gatunków jest jajorodna z zapłodnieniem zewnętrznym. Prawie wszystkie ryby kostnoszkieletowe należą do dwóch grup: **kostnopromienistych i mięśniopłetwych**. Cechą charakterystyczną ryb kostnopromienistych są płetwy osadzone na kostnych promieniach. Wyróżniamy ponad 27 tys. gatunków. Niektórymi żywi się człowiek

(np. dorsz, jesiotr, węgorz czy łosoś; **ryc. I.11.3.**). Z tego względu ich populacje są w wielu wypadkach zagrożone wyginięciem. Ryby mięśniopłetwe mają kości w płetwach piersiowych i brzusznych otoczone grubą warstwą mięśni. Należą do nich latimeria oraz ryby dwudyszne (ponieważ oddychają płucami i skrzelami) (**ryc. I.11.4.**).

Ryc. I.11.3. Przykłady ryb kostnopromienistych: jesiotr (A), węgorz (B) i łosoś (C).



Ryc. I.11.4. Latimeria (A) i rogoząb australijski (B) należą do ryb mięśniopłetwych.

Płazy

płazy

Do współcześnie występujących płazów zaliczamy około 6150 gatunków należących do trzech rzędów: płazów ogoniastych, bezogonowych i beznogich (**tab. I.11.1.**). Płazy prowadzą wodny, lądowy lub wodno-lądowy tryb życia. Wymiana gazowa u większości z nich zachodzi nie tylko przez płuca, lecz także przez bogato unaczynioną skórę (i często jamę gębową). Serce płazów składa się z trzech części: dwóch przedsionków i jednej komory. Zapłodnienie jest najczęściej zewnętrzne – duża liczba jaj jest składana do wody, aby zapobiec ich wyschnięciu. Nieliczne gatunki są jajorodne i żyworodne. Płazy w trakcie okresu godowego wykazują złożone zachowania, m.in. migracje do miejsc lęgowych i wydawanie charakterystycznych dźwięków. **Płazy ogoniaste**, do których zaliczamy m.in. salamandry i traszki, to organizmy przeważnie wodne, choć niektóre żyją także na lądzie. Aby się przemieszczać, wyginają ciało na boki (np. aksolotl). **Płazy bezogonowe** (np. żaby i ropuchy) poruszają się skokami, do czego używają tylnych odnóży. Pokarm (np. owady) i chwytają za pomocą długiego lepkiego języka. W ich cyklu rozwojowym występuje larwa, zwana kijanką żyjąca w wodzie, która po metamorfozie i przekształceniu się w postać dorosłą zasiedla środowisko

płazy ogoniaste

płazy bezogonowe

płazy beznogie

lądowe. Płazy bezogonowe mają wiele strategii odstraszania polujących na nie drapieżników (wydzielanie trującego śluzu i jadu, jaskrawe lub maskujące ubarwienie). **Płazy beznogie** (np. marszczelce) nie mają nóg i są prawie ślepe. Zamieszkują wilgotne lasy, gdzie drążą korytarze w glebie. Część gatunków zasiedla płytkie wody strumieni i stawów. W ostatnich latach obserwuje się gwałtowny spadek populacji płazów, związany m.in. z zanikiem siedlisk, zanieczyszczeniem powietrza czy zmianami klimatycznymi. Niepokojącym zjawiskiem jest wymieranie niektórych gatunków.

Tab. I.11.1. Podział płazów

Płazy ogoniaste

salamandra plamista | syrena jaszczurowata | traszka zwyczajna

Płazy bezogonowe

kumak górski | ropucha zielona | żaba szklana

drzewołaz niebieski | rzekotka drzewna | żaba śmieszka

Płazy beznogie

marszczelec pierścieniowy

Gady

gady

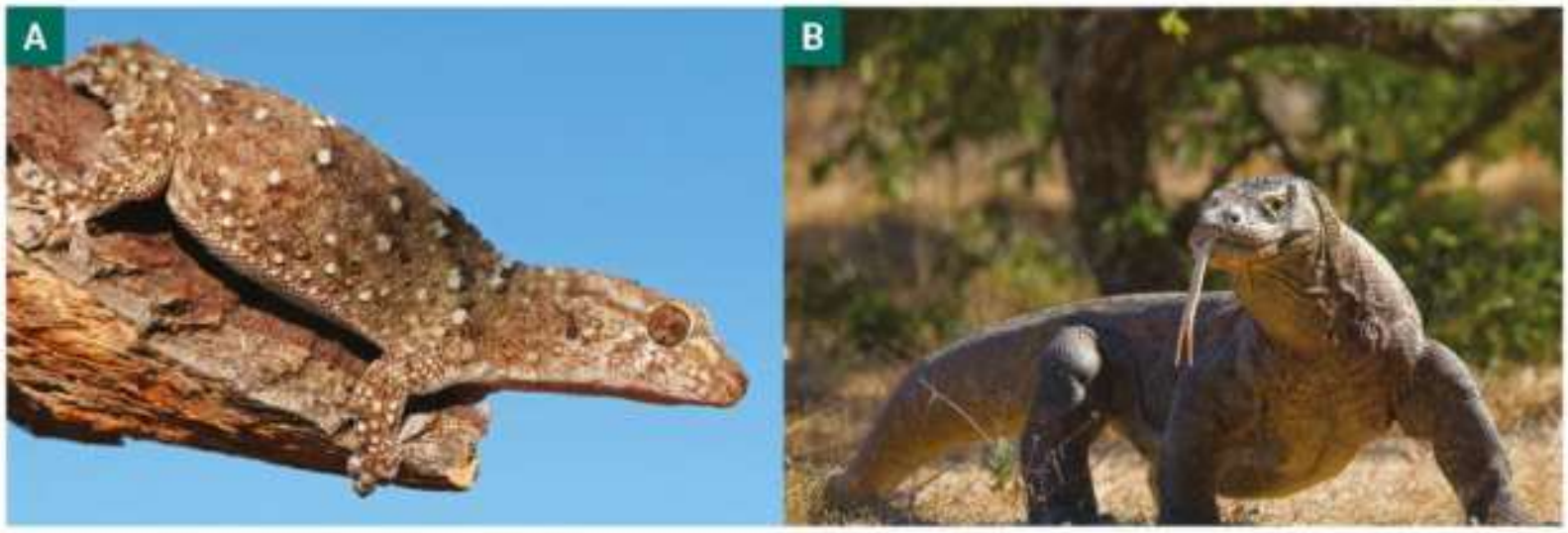
Badania filogenetyczne pozwalają do kladu gadów zaliczyć jaszczurki, węże, żółwie, krokodyle oraz ptaki. Systematyka tradycyjna wydziela ptaki jako osobną gromadę. Przodkami współcześnie występujących gadów były diapsydy, które rozdzieliły się na dwie linie ewolucyjne. Jedna z nich dała początek sfenodontom (współcześnie reprezentowanym przez hatterię), jaszczurkom i wężom. Druga linia doprowadziła do powstania krokodyli i diznozaurów. Lądowe dinozaury tworzyły bardzo zróżnicowaną grupę m.in. pod względem rozmiarów ciała, sposobu odżywiania się i poruszania. Jedna z linii dinozaurów zawierała grupę dwunożnych drapieżników (tzw. terapodów, np. *Tyrannosaurus rex*), do której należeli przodkowie ptaków.

adaptacje do lądowego trybu życia

Gady mają wiele cech będących adaptacjami do lądowego trybu życia. Ich ciało jest pokryte naskórkiem oraz łuskami zbudowanymi z keratyny. Łuski chronią skórę przed wysychaniem i urazami. Naskórek jest okresowo zrzucany w postaci wylinki. Ponieważ budowa skóry ogranicza wymianę gazową, gady mają dobrze rozwinięte płuca. Znaczna część gadów jest mięsożerna i sprawnie poluje na ofiary. Większość gadów ma trzyczęściowe serce, z przegrodą niezupełną w komorze (wyjątkiem są krokodyle z czteroczęściowym sercem). Zapłodnienie u większości gadów jest wewnętrzne, a jaja otoczone skorupą są składane na lądzie. Część gatunków (np. węże i jaszczurki) jest żyworodna. Większość współczesnych gadów (jaszczurki, węże) nie ma mechanizmów termoregulacyjnych zależnych od metabolizmu. Należą one zatem do zwierząt ektotermicznych, określanych dawniej jako zimnokrwiste (patrz dalej).

Węże i jaszczurki liczą około 7900 gatunków. Jaszczurki są zróżnicowane pod względem rozmiarów ciała – od niewielkich, kilkumilimetrowych, do mierzącego 3 m warana z Komodo (**ryc. I.11.6.**). Węże są wtórnie beznogie (**ryc. I.11.5.**). Poruszają się, wyginając ciało na boki. Ich ciało pokryte jest rzędami zachodzących na siebie dachówkowato łusek. Są mięsożerne i wykształciły wiele adaptacji do tego sposobu odżywania (bardzo czułe zmysły wyczuwające ciepło ofiary, receptory zmysłu chemicznego; gruczoły jadowe, luźne połączenie kości szczęk, elastyczna skóra, rozdwojony język).

Ryc. I.11.5. Gatunki krajowych węży: gniewosz plamisty (A), zaskroniec zwyczajny (B), żmija zygzakowata (C).



Ryc. I.11.6. Jaszczurkami są gekon leśny (A) i waran z Komodo (B).

Żółwie liczą około 370 gatunków. Mają dwutarczową skorupę zrośniętą z kręgami, obojczykiem i żebrami. Skorupa ta jest zbudowana z kostnych płytek pokrytych tarczkami rogowymi i stanowi ochronę przed drapieżnikami. Żółwie mają szczęki pozbawione zębów, ale wyposażone w rogowy dziób. Żyją w środowiskach lądowych (np. pustynnych) i wodnych (w tym olbrzymie żółwie skórzaste; **ryc. I.11.7.**).

Ryc. I.11.7. Żółw skórzasty.

Krokodyle obecnie obejmują 23 gatunki występujące w tropikalnych rejonach świata. Są największymi współczesnymi gadami (nawet do 7 m długości). Wiele ich cech świadczy o przystosowaniu do wodnego trybu życia. Duża część z nich jest zagrożona wyginięciem. Przedstawicielami tego rządu są krokodyle, aligatory i gawiale (**ryc. I.11.8.**).

Ryc. I.11.8. Krokodyl nilowy (A), aligator okularowy (B), gawial (C).

Ptaki

ptaki

Kulę ziemską zamieszkuje ponad 10 tys. gatunków ptaków. Ptaki wywodzą się ze wspólnej z krokodylami linii dinozaurów. Wszystkie modyfikacje ich anatomii i fizjologii wiązały się z przystosowaniem do lotu. Lot umożliwił aktywne poszukiwanie pożywienia (widzianego z góry i na dużym obszarze) oraz łatwą ucieczkę przed lądowymi drapieżnikami. Charakterystycznymi cechami ptaków umożliwiającymi im latanie są: opływowy kształt ciała, silne mięśnie piersiowe przyczepione do kostnego **grzebienia** na mostku, zmniejszenie masy ciała (m.in. brak pęcherza moczowego, małe gonady, czaszka pozbawiona zębów, **pneumatyczne kości**), obecność skrzydeł i piór, płuca z workami powietrznymi zapewniające wydajny przepływ powietrza, czterokomorowe serce zapewniające odpowiednie natlenienie i dystrybucję substancji odżywczych oraz wyostrzone zmysły, m.in. wzrok. Ptaki zasiedliły różne środowiska i są przystosowane do pobierania różnego typu pożywienia, co uwidacznia się m.in. w różnorodności kształtów ich dziobów (**ryc. I.11.9.**). W skład ich układu pokarmowego wchodzi **wole**, w którym magazynują pokarm. Ptaki są stałocieplne, co oznacza, że dzięki przemianom metabolicznym utrzymują ciepłotę ciała w stałym zakresie. W okresie lęgowym ptaki wykazują złożone zachowania (m.in. migracje). Wydają różnorodne dźwięki, również związane z okresem godowym (pieśni godowe). Zapłodnienie jest u nich wewnętrzne, a oskorupione jaja są składane i wysiadywane. Częste wśród ptaków jest jaskrawe ubarwienie (**ryc. I.11.10.**) ma znaczenie ochronne lub służy przywabieniu partnerki. Niektóre z ptaków w wyniku ewolucji wtórnie utraciły zdolność do lotu. Cechują je mniejsze kości skrzydeł i zredukowany grzebień na mostku lub jego brak. Najbardziej znane nieloty to pingwiny, strusie, kiwi czy emu (**ryc. I.11.11.**).

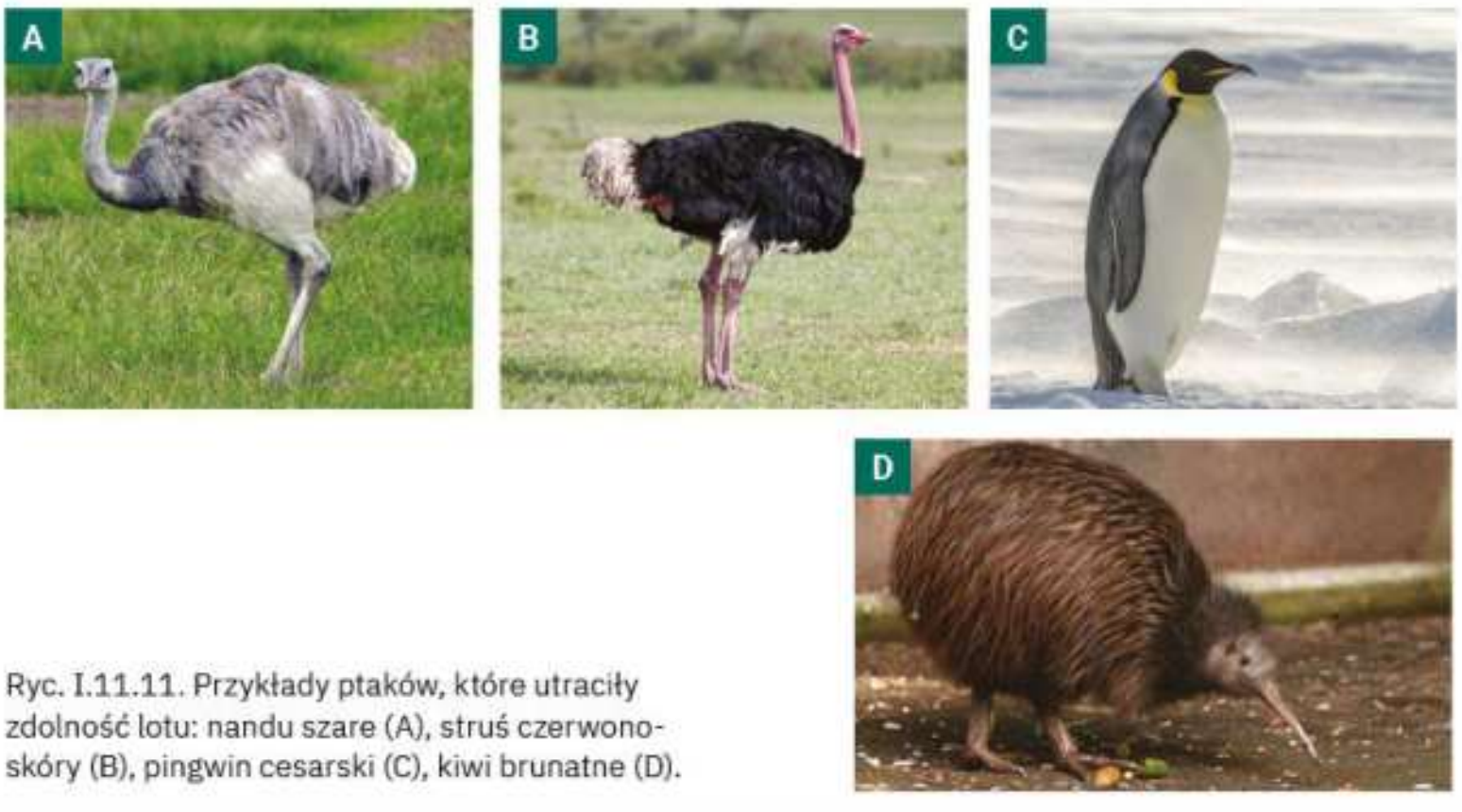
cechy charakterystyczne ptaków

pneumatyczne kości

wole

Ryc. I.11.9. Różne typy dziobów ptaków to adaptacja do rodzaju pobieranego pokarmu.

Ryc. I.11.10. Rycyk (A), maskonur zwyczajny (B), bocian biały (C), sikora modra (D), dudek (E), zimorodek (F).



Ryc. I.11.11. Przykłady ptaków, które utraciły zdolność lotu: nandu szare (A), struś czerwonoskóry (B), pingwin cesarski (C), kiwi brunatne (D).

Ssaki

cechy charakterystyczne ssaków

Cechą charakterystyczną ssaków jest obecność **gruczołów mlecznych**, z których pochodzi mleko do karmienia potomstwa. W skórze ssaków występują **włosy** oraz podskórna warstwa tłuszczu, które uczestniczą w utrzymywaniu ciepłoty ciała. Innymi cechami charakterystycznymi dla ssaków są: obecność jednej pary

otworów skroniowych w czaszce, obecność **trzech kosteczek słuchowych** ucha środkowego oraz zróżnicowanie zębów (kły, siekacze, trzonowe, przedtrzonowe) jako przystosowanie do pobierania zróżnicowanego pokarmu. Wydajny metabolizm jest zapewniony przez sprawnie funkcjonujące układy krążenia i oddechowy (obecność przepony ułatwia wentylację płuc). Kończyny ssaków są przystosowane do chodzenia, biegania, wspinania się, pływania, kopania w ziemi i latania. Ssaki mają duży mózg (podobnie jak ptaki) i wykazują zdolność uczenia się. Zapłodnienie jest zawsze wewnętrzne. Zwierzęta te, z wyjątkiem stekowców, są żyworodne. Charakterystyczna dla nich jest także długa opieka nad potomstwem. Trzy główne linie ewolucyjne współczesnych ssaków pojawiły się w kredzie. Obejmują one stekowce, torbacze i łożyskowce (ssaki wyższe).

Stekowce, do których należą jeden gatunek dziobaka i cztery gatunki kolczatek (**ryc. I.11.12.**), żyją w Australii, Tasmanii i na Nowej Gwinei. Mają ciało pokryte włosami i produkują mleko. Samice składają jaja, które noszą na brzuchu lub ogrzewają w gniazdach. Nie mają sutków, dlatego mleko jest wydzielane przez gruczoły na brzuchu matki, a młode po wykluciu wysysają je z jej futra. Przystosowaniem do życia w wodzie są błona pławna pomiędzy palcami oraz spłaszczony ogon. ◂ **stekowce**

Ryc. I.11.12. Do stekowców należą dziobak australijski (A) i kolczatka australijska (B).

Do **torbaczy** należą oposy, kangury i koale (**ryc. I.11.13.**). Tempo ich metabolizmu jest wysokie. Samice mają sutki. Zarodek rozwija się w macicy, a substancje odżywcze potrzebne do wzrostu czerpie z organizmu matki poprzez łożysko. Torbacze rodzą się na bardzo wczesnym etapie i dalszy rozwój zarodkowy przebiega pod opieką matki. U większości gatunków młode rozwijają się w specjalnej kieszeni jej ciała, zwanej **torbą**. Wejście do torby znajduje się z przodu ciała (np. u kangurów) lub z tyłu. ◂ **torbacze**

Ryc. I.11.13. Kangur olbrzymi (A) i dydelf północny (B) są torbaczami.

łożyskowce

Łożyskowce charakteryzuje bardziej zaawansowana budowa łożyska w porównaniu z torbaczami. Również okres ciąży jest dłuższy, a cały rozwój zarodkowy przebiega w macicy. Do ssaków wyższych zaliczamy wiele rzędów tych zwierząt, bardzo zróżnicowanych pod względem morfologicznym (**tab. I.11.2.**). Do łożyskowców należą też **naczelne**, obejmujące lemury, wyraki i małpy człekokształtne, a także człowieka. Naczelne mają kończyny przednie przystosowane do chwytania. Cechuje je większy mózg, krótkie szczęki i oczy w pozycji przedniej. Naczelne wykazują zaawansowaną opiekę rodzicielską i złożone zachowania społeczne.

Tab. I.11.2. Przykłady rzędów w obrębie łożyskowców

Rząd łożyskowców		
Nietoperze	Przystosowane do latania, mają błonę lotną, posługują się echolokacją, odżywiają się owadami i owocami lub krwią innych zwierząt.	Gacek brunatny
Drapieżne	Mięsożerne, łapią i rozszarpują ofiarę za pomocą silnych kłów, mają bardzo dobrze rozwinięte zmysły (węch, wzrok). Są to koty, psy, niedźwiedzie, hieny i foki.	Niedźwiedź brunatny
Nieparzystokopytne	Kończyny jedno- lub trójpalczaste; palce zakończone kopytami; roślinożerne. Są to konie, zebry i nosorożce.	Zebra stepowa

Rząd łożyskowców		
Parzystokopytne	Kończyny dwu- lub czteropalczaste, palce zakończone racicami; mają rogi lub poroże; większość przeżuwa pokarm. Są to krowy, owce, świnie, jelenie i żyrafy.	Jeleń szlachetny
Naczelne	Silnie rozwinięty mózg i wzrok, oczy osadzone z przodu głowy, palce zaopatrzone w paznokcie, przeciwstawny kciuk; są wszystkożerne. Są to małpiatki, małpy i ludzie.	Szympans zwyczajny
Trąbowce	Największe zwierzęta lądowe, mają dużą głowę, długie i silne siekacze, szerokie uszy i umięśnioną, wielofunkcyjną trąbę, a także grubą skórę. Są to słonie.	Słoń afrykański
Gryzonie	Najliczniejszy rząd; mają długie siekacze, które ścierają się przy gryzieniu pokarmu i odrastają przez całe życie. Są to myszy, szczury, chomiki, wiewiórki i bobry.	Bóbr europejski

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Porównaj budowę ryb chrzęstnoszkieletowych i kostnoszkieletowych. Podaj po dwa przykłady gatunków należących do obu grup.
2. Przerysuj do zeszytu i uzupełnij poniższą tabelę dotyczącą przystosowań kręgowców do lądowego trybu życia.

Kręgowce	**Przystosowania do lądowego trybu życia**
płazy	...
gady	...
ptaki	...
ssaki	...

3. Wśród podanych gatunków kręgowców wskaż te, które możemy określić mianem owodniowców.

   minóg rzeczny, traszka zwyczajna, niedźwiedź brunatny, wiewiórka szara, ropucha szara, rekin tygrysi, dziobak australijski, łosoś szlachetny, salamandra plamista, żółw skórzasty, słoń afrykański

4. Wyjaśnij przyczyny łączenia gadów i ptaków w jeden klad. Wymień te cechy ptaków, które odróżniają je od współczesnych gadów.
5. Wymień cechy wspólne ssaków zaliczanych do stekowców, torbaczy i łożyskowców. Podaj po jednej cesze, która odróżnia te zwierzęta.
6. Przeczytaj poniższy tekst, a następnie wykonaj polecenia.

   Wychuchol pirenejski jest nocnym drapieżnikiem wodnym. Zwinnie pływa i kopie nory na brzegu. Wydaje wysoki, furkoczący dźwięk. Żywi się drobnymi bezkręgowcami. Żyje około 3,5 roku. Samica rodzi do 3 miotów w roku, po 3–4 młode w miocie. Ciąża trwa około 30 dni. Długość głowy i tułowia to 11–16 cm a ogona to 12–16. Masa ciała wynosi 35–80 g. Zwierzę ma bardzo ruchliwy ryjek i małe oczy. Przednie łapy są małe, a tylne – duże i wyposażone w błonę pławną. Wychuchol potrafi zamykać otwory nosowe i uszne za pomocą fałdów skórnych, żeby nie wlewała się do nich woda podczas pływania i nurkowania. Dzięki temu ma również zdolność echolokacji. Stronę grzbietową zwierzęcia pokrywa błyszczące, ciemnobrązowe futerko, a strona brzuszna jest srebrzystoszara. Owłosienie na nosie i ogonie nie występuje. Nos jest wyposażony we włosy czuciowe wykorzystywane do wyczuwania ofiar podczas grzebania w mule. Na dolnej stronie ogona znajdują się gruczoły zapachowe.

   a) Do jakiej gromady kręgowców zaliczysz wychuchola pirenejskiego?

   b) Wskaż cechy wychuchola, na podstawie których można określić gromadę.
7. W dostępnych źródłach znajdź informację dotyczącą krajowych gatunków kręgowców zagrożonych wyginięciem należących do płazów, gadów i ssaków. Sporządź na ten temat notatkę w zeszycie.

PODSUMOWANIE LEKCJI

- **Do kręgowców należą**: krągłouste, ryby, płazy, ptaki i gady oraz ssaki. ◂ s. 77
- Przedstawicielami **krągłoustych** są śluzice i minogi. Są to zwierzęta pasożytnicze, które mają pozbawiony szczęk otwór gębowy. Za jego pomocą przyczepiają się do ciała ofiary. ◂ s. 77
- **Minogi** mają chrzęstny szkielet, zachowaną strunę grzbietową otoczoną chrzęstną rurką; występują u nich szczątkowe kręgi. ◂ s. 77
- **Ryby chrzęstnoszkieletowe** (rekiny i płaszczki) wyróżnia: chrzęstny szkielet wzmocniony wapniem, silne szczęki, dwie pary parzystych płetw, ciało pokryte łuskami plakoidalnymi. ◂ s. 78
- **Ryby kostnoszkieletowe** cechują: kostny szkielet, liczne kręgi, cztery lub pięć par skrzeli osadzonych w komorach skrzelowych okrytych wiekiem skrzelowym, pęcherz pławny, skóra pokryta łuskami kostnymi. ◂ s. 78
- **Ryby kostnoszkieletowe** dzielimy na kostnopromieniste (mają płetwy osadzone na kostnych promieniach, np. dorsz, łosoś) oraz mięśniopłetwe (kości płetw otoczone warstwą mięśni, np. latimeria). ◂ s. 78
- **Płazy** to zwierzęta wodne lub lądowe, które oddychają płucami oraz poprzez skórę, mają trójdzielne serce, występuje u nich zewnętrzne zapłodnienie. ◂ s. 79
- **Płazy** dzielimy na ogoniaste (salamandry i traszki), bezogonowe (żaby i ropuchy) oraz beznogie (np. marszczelce). ◂ s. 79
- Do **gadów** zaliczamy jaszczurki (np. waran z Komodo), węże (np. żmija zygzakowata), żółwie (żółw skórzasty), krokodyle oraz ptaki. ◂ s. 81
- Gady mają liczne **adaptacje do lądowego trybu życia**: ciało pokryte naskórkiem oraz łuskami, dobrze rozwinięte płuca, jajo otoczone skorupą, serce z niepełną przegrodą w komorze (wyjątek stanowią krokodyle). Gady są mięsożercami i sprawnie polują na ofiary. ◂ s. 81
- **Ptaki** wywodzą się ze wspólnej z krokodylami linii dinozaurów. ◂ s. 83
- **Ptaki** mają liczne cechy przystosowawcze do lotu , takie jak: mała masa ciała, skrzydła i pióra, pneumatyczne kości, płuca z workami powietrznymi, czterokomorowe serce, silne mięśnie przyczepione do grzebienia na mostku. ◂ s. 83
- **Cechami charakterystycznymi ptaków** są: obecność wola w układzie pokarmowym, w którym magazynowany jest pokarm, silny rozwój mózgu i narządów zmysłu, stałocieplność, dziób umożliwiający pobieranie różnorodnego pokarmu oraz wydawanie dźwięków (pieśni godowe). ◂ s. 83
- **Cechami charakterystycznymi dla ssaków** są m.in.: obecność gruczołów mlecznych, włosy, obecność jednej pary otworów skroniowych w czaszce, trzy kosteczki słuchowe w uchu środkowym oraz zróżnicowanie zębów. ◂ s. 84
- **Ssaki cechują się** dobrze wykształconymi kończynami, wydajnym metabolizmem, zapłodnieniem wewnętrznym, długą opieką nad potomstwem oraz złożonymi zachowaniami społecznymi i zdolnością do uczenia się. ◂ s. 84
- Do ssaków należą **stekowce** (dziobak, kolczatki), **torbacze** (oposy, kangury i koala) oraz **łożyskowce**. ◂ s. 85
- **Łożyskowce** obejmują wiele rzędów, bardzo zróżnicowanych pod względem morfologicznym (m.in. parzystokopytne, gryzonie, trąbowce, drapieżniki i naczelne). ◂ s. 86

PODSUMOWANIE PRZED SPRAWDZIANEM

s. 9 ▸ **Podział zwierząt tkankowych – liczba listków zarodkowych**

	Zwierzęta	
	dwuwarstwowe	**trójwarstwowe**
Liczba listków zarodkowych	dwa: ektoderma i endoderma	trzy: ektoderma, endoderma i mezoderma
Występowanie	parzydełkowce	pozostałe zwierzęta

s. 10 ▸ **Podział zwierząt trójwarstwowych**

Zwierzęta			
pierwouste			**wtóruste**
acelomatyczne – bez wtórnej jamy ciała	pseudocelomatyczne – bez wtórnej jamy ciała, pierwotna jama ciała naśladuje celomę	celomatyczne – z wtórną jamą ciała	celomatyczne – z wtórną jamą ciała
płazińce	nicienie, wrotki	pierścienice, stawonogi, mięczaki	szkarłupnie, strunowce

s. 12 ▸ **Porównanie symetrii ciała**

Cecha	**Symetria ciała**	
	promienista	**dwuboczna**
Liczba płaszczyzn symetrii	kilka	jedna
Grzbietowa strona ciała	brak, mają górną stronę z otworem gębowym i strukturami odbierającymi bodźce ze środowiska ze wszystkich stron	obecna
Brzuszna strona ciała	brak, mają dolną stronę przytwierdzającą do podłoża	obecna z narządami ruchu
Prawa i lewa strona ciała	brak	obecna
Przednia część ciała	brak	obecna, z otworem gębowym i skupiskiem narządów zmysłów, co prowadzi do centralizacji układu nerwowego i wykształcenia głowy
Tylna część ciała	brak	obecna
Tryb życia	zazwyczaj osiadły lub planktoniczny	najczęściej aktywne przemieszczanie się
Występowanie	parzydełkowce	większość zwierząt tkankowych z wyjątkiem ślimaków z prawoskrętnie ukształtowanymi muszlami i szkarłupniami z wtórną symetrią promienistą

Porównanie organizacji budowy polipa i meduzy

◂ s. 20

Cecha	Polip	Meduza
Położenie otworu gębowego	skierowany ku górze, otoczony czułkami	na spodniej stronie ciała, skierowany ku dołowi, otoczony ramionami
Kształt	cylindra	parasola (dzwonu)
Sposób rozmnażania	bezpłciowe	płciowe
Tryb życia	osiadły	wolno żyjące

Porównanie cech parzydełkowców

◂ s. 21

Cecha	Krążkopławy	Kubopławy	Stułbiopławy	Koralowce
Środowisko i tryb życia	morza, osiadłe polipy, wolno pływające meduzy	morza, osiadłe polipy, wolno pływające meduzy	morza, wody słodkie, gatunki osiadłe	morza, gatunki osiadłe
Stadium dominujące	meduza	meduza	polip	wyłącznie polip
Jama gastralna	silnie rozbudowana, system promieniście rozchodzących się kanałów tworzy układ naczyniowo-pokarmowy	podzielona czterema przegrodami	prosta, niepodzielona	podzielona sześcioma lub ośmioma przegrodami
Szkielet wewnętrzny	–	–	–	większość wytwarza szkielety wapienne

Porównanie cech płazińców, nicieni i wrotków

◂ s. 31

Cecha	Płazińce		Nicienie	Wrotki
	wolno żyjące	**pasożytnicze**		
Pokrycie ciała	wór powłokowo-mięśniowy, wielokomórkowy orzęsiony nabłonek	wór powłokowo-mięśniowy, syncytialny nabłonek z grubym oskórkiem	wór powłokowo-mięśniowy, syncytialny nabłonek z grubym oskórkiem	brak wora powłokowo-mięśniowego, syncytialny nabłonek z oskórkiem, rzęski w przedniej części ciała tworzące aparat wrotny

Mięśnie	trzy warstwy silnych mięśni: okrężne, skośne, podłużne	trzy warstwy mięśni: okrężne, skośne, podłużne	mięśnie podłużne	mięśnie podłużne i okrężne
Układ pokarmowy	proste lub rozgałęzione jelito z wysuwaną gardzielą, brak otworu odbytowego	brak, pokarm wchłaniany całą powierzchnią ciała	przewód pokarmowy z otworem gębowym i odbytowym i odbytowym, brak rozgałęzień jelita	przewód pokarmowy z otworem gębowym i odbytowym, występuje żołądek
Oddychanie	tlenowe, całą powierzchnią ciała	beztlenowe, całą powierzchnią ciała	tlenowe, beztlenowe pasożyty, całą powierzchnią ciała	tlenowo, całą powierzchnią ciała
Układ nerwowy i narządy zmysłów	dwa zwoje nerwowe i kilka pni nerwowych połączonych spoidłami, chemoreceptory, mechanoreceptory, oczka, statocysty	dwa zwoje nerwowe i słabo rozwinięte pnie nerwowe, zredukowane narządy zmysłów, mechanoreceptory, chemoreceptory	pierścień okołogardzielowy i kilka pni nerwowych, chemoreceptory i mechanoreceptory	scentralizowany w odcinku głowowym – zwój mózgowy, mechanoreceptory, chemoreceptory, fotoreceptory – plamki światłoczułe
Układ wydalniczy	protonefrydialny	protonefrydialny	protonefrydialny bez komórek płomykowych, w postaci dwóch kanałów wydalniczych	protonefrydialny
Rozmnażanie	obojnaki, zapłodnienie krzyżowe, rozwój prosty	obojnaki, możliwe, samozapłodnienie, rozwój złożony	rozdzielnopłciowe, zapłodnienie wewnętrzne, rozwój prosty lub złożony	rozdzielnopłciowe, dymorfizm płciowy, zapłodnienie wewnętrzne u niektórych gatunków partenogeneza i przemiana pokoleń

s. 39 ▸ **Porównanie pierścienic**

Cecha	**Pierścienice**		
	wieloszczety	**skąposzczety**	**pijawki**
Budowa ciała	wyodrębniona głowa, segmenty z parapodiami i szczecinkami, metameria heteronomiczna	brak wyodrębnionej głowy i parapodiów, szczecinki, metameria homonomiczna	brak wyodrębnionej głowy, parapodiów i szczecinek, metameria heteronomiczna, wykształcone przyssawki
Szkielet	–	–	–
Wymiana gazowa	skrzela na parapodiach lub całą powierzchnią ciała	całą powierzchnią ciała	

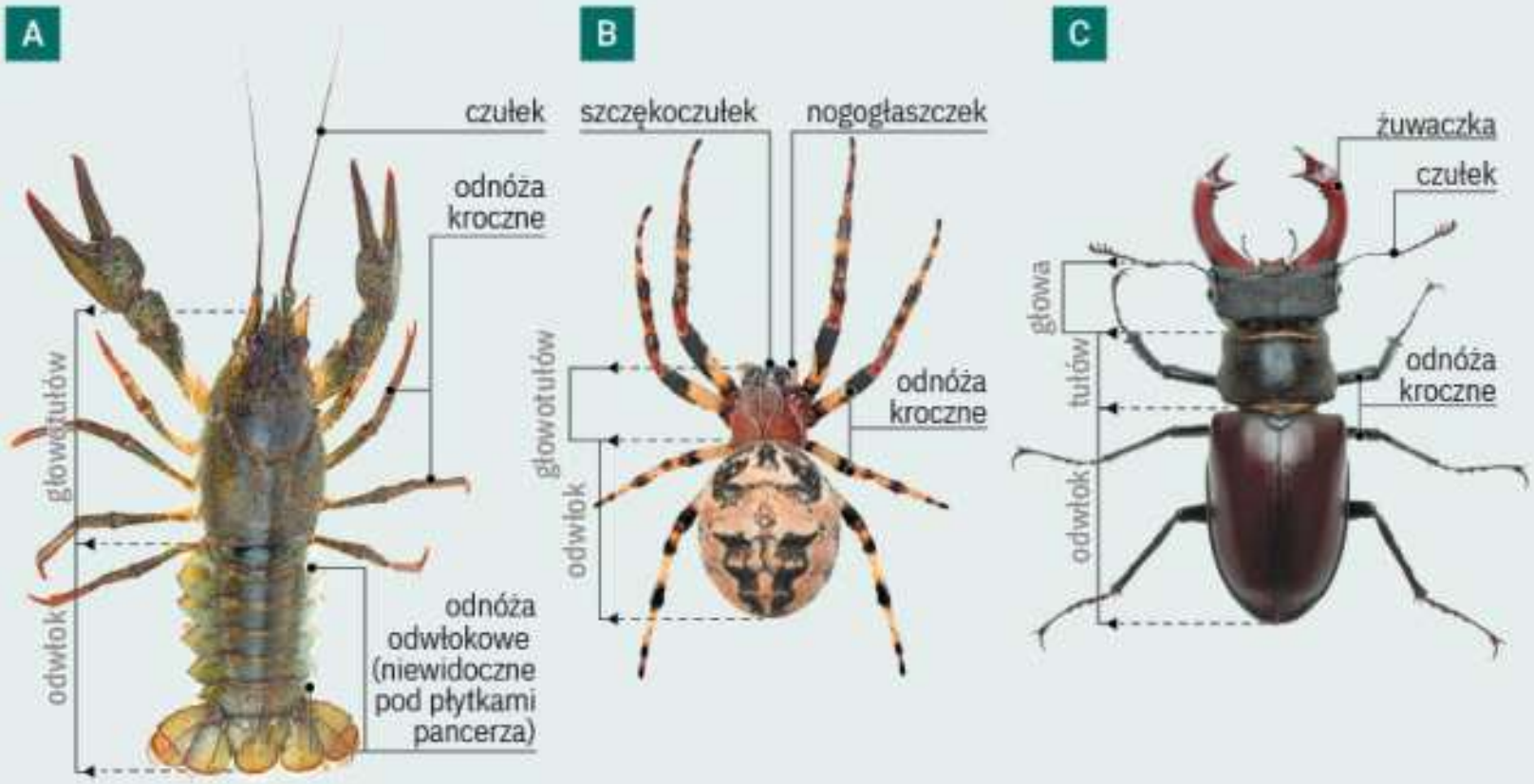
Układ krwionośny	zamknięty, brak serca		
Układ nerwowy	drabinkowy		
Narządy zmysłów	oczy, chemoreceptory, mechanoreceptory na parapodiach i w odcinku głowowym	mechanoreceptory i chemoreceptory na powierzchni ciała	oczy w przedniej części ciała, mechanoreceptory i chemoreceptory na powierzchni ciała
Układ wydalniczy	metanefrydialny		
Rozmnażanie i rozwój	rozdzielnopłciowe, zapłodnienie zewnętrzne, rozwój złożony z larwą	obupłciowe, zapłodnienie wewnętrzne krzyżowe, rozwój prosty	obupłciowe, zapłodnienie wewnętrzne, krzyżowe, rozwój prosty

Porównanie mięczaków

◂ s. 57

Cecha	**Mięczaki**		
	ślimaki	**małże**	**głowonogi**
Budowa ciała	głowa, worek trzewiowy, noga	brak głowy, obecny worek trzewiowy i noga	głowa, worek trzewiowy, noga przekształciła się w ramiona i lejek
Szkielet	zewnętrzny – muszla jednoczęściowa, asymetryczna, spiralnie skręcona	zewnętrzny – muszla złożona z dwóch symetrycznych części	zredukowana do wewnętrznej płytki, chrzęstna puszka mózgowa
Układ oddechowy	skrzela lub unaczyniona jama płaszczowa – płuca	skrzela w jamie płaszczowej	skrzela w jamie płaszczowej
Układ krwionośny	otwarty, serce składa się z komory i przedsionka	otwarty, serce składa się z komory i dwóch przedsionków	zamknięty (lub prawie zamknięty), serce składa się z komory i dwóch przedsionków, dwa obiegi krwi
Układ nerwowy	obrączka okołogardzielowa, zwoje głowowe, nożne, płaszczowe i trzewiowe	uproszczony w związku z brakiem odcinka głowowego, trzy pary zwojów połączonych spoidłami poprzecznymi i podłużnymi	zwoje nerwowe zlewają się w mózg
Narządy zmysłów	oczy na wierzchołkach czułków, statocysty (narząd równowagi)	słaby rozwój narządów zmysłów, obecne chemoreceptory	oczy o budowie podobnej do oczu kręgowców
Układ wydalniczy	zmodyfikowane metanefrydia, tzw. nerki		
Rozmnażanie i rozwój	obojnaki lub rozdzielnopłciowe, zapłodnienie wewnętrzne lub zewnętrzne, rozwój prosty lub złożony	obojnaki lub rozdzielnopłciowe, zapłodnienie zewnętrzne, najczęściej rozwój złożony	rozdzielnopłciowo, zapłodnienie wewnętrzne, rozwój prosty

s. 46 ▸ **Porównanie planu budowy stawonogów: skorupiaka (A), pajęczaka (B), owada (C)**



s. 47–53 ▸ **Porównanie grup stawonogów**

Cechy	Skorupiaki	Pajęczaki	Wije	Owady
Pokrycie ciała	chitynowy oskórek			
Tagmy	głowotułów i odwłok, u niektórych głowa, tułów i odwłok	głowotułów i odwłok	głowa i tułów	głowa, tułów i odwłok
Czułki	2 pary	brak	1 para	
Odnóża gębowe	3 pary	2 pary	2–3 pary	3 pary
Odnóża lokomocyjne	5 lub więcej par	4 pary	1 lub 2 pary na segment	3 pary
Układ oddechowy	skrzela	płucotchawki, tchawki	tchawki	
Układ nerwowy	drabinkowy			drabinkowy, zlewanie zwojów nadprzełykowych w mózg
Narządy wydalnicze	gruczoły szczękowe lub czułkowe	gruczoły biodrowe	cewki Malpighiego	
Rozwój	złożony lub prosty	prosty	prosty	prosty lub złożony

Charakterystyka wybranych rzędów owadów

◂ s. 50–54

Owady o przeobrażeniu niezupełnym		
Rząd	**Cechy charakterystyczne**	**Przedstawiciele**
Ważki (*Odonata*)	• aparat gębowy typu gryzącego • dobrze rozwinięte oczy złożone • skrzydła błoniaste • wydłużony odwłok • larwy żyją w wodzie	• łątka świtezianka • husarz władca
Karaczany (*Blattodea*)	• aparat gębowy typu gryzącego • wszystkożerne • nogi przystosowane do szybkiego biegu • żyją w zróżnicowanych środowiskach – od domów po lasy tropikalne, pustynie i jaskinie	• prusaki (*Blatella*)
Prostoskrzydłe (*Orthoptera*)	• aparat gębowy typu gryzącego • przednia para skrzydeł przekształcona w pokrywy • długie tylne nogi przystosowane do skoków • obecność aparatu dźwiękowego (na pokrywach lub odnóżach) i receptorów słuchu • roślinożerne, mięsożerne i wszystkożerne • szkodniki upraw (szarańcze, turkucie)	• świerszcze • turkucie • pasikoniki • szarańcze
Straszyki (*Phasmatodea*)	• aparat gębowy przystosowany do gryzienia i przeżuwania • brak przednich skrzydeł, tylne skrzydła przyjmują kształt wachlarza • gatunki tropikalne roślinożerne • zdolność do mimetyzmu (upodabnianie się wyglądem do roślin)	• patyczaki
Termity (*Isoptera*)	• owady społeczne o wyraźnym polimorfizmie (wielopostaciowość) • ciało zwykle pozbawione pigmentacji • odżywiają się głównie drewnem dzięki symbiozie z bakteriami	• termity
Wszy i wszoły (*Phthiraptera*)	• wtórna utrata skrzydeł w związku z pasożytniczym trybem życia • żyją na włosach i piórach zwierząt i człowieka • nogi zakończone stopami z pazurkami • przenoszą niektóre choroby bakteryjne	• wesz odzieżowa
Pluskwiaki różnoskrzydłe (*Hemiptera*)	• kłujący lub ssący aparat gębowy • dwie pary skrzydeł – jedna częściowo skórzasta (półpokrywy), druga błoniasta	• pluskwy • płoszczyce • wioślaki

Owady o przeobrażeniu zupełnym		
Chrząszcze (*Coleoptera*)	• najliczniejsza grupa owadów • opanowały wszystkie środowiska lądowe • aparat gębowy typu gryzącego • dwie pary skrzydeł – jedna gruba i sztywna, druga błoniasta • szkodniki i gatunki pasożytnicze	• rohatyniec nosorożec
Błonkówki (*Hymenoptera*)	• aparat gębowy typu gryzącego lub ssącego • dwie pary błoniastych skrzydeł • samice wielu gatunków mają żądło w tylnej części odwłoka • większość prowadzi społeczny tryb życia	• osa • pszczoła
Motyle (*Lepidoptera*)	• aparat gębowy typu ssącego przystosowany do pobierania płynnego pokarmu • larwy mają aparat gębowy typu gryzącego • mają dwie pary skrzydeł pokrytych drobnymi łuskami załamującymi światło	• jedwabniki • ćmy
Muchówki (*Diptera*)	• aparat gębowy liżący lub kłująco-ssący • mają jedną parę skrzydeł, druga przekształciła się w narząd równowagi (przezmianki) • niektóre z nich są pasożytami, mogą przenosić wiele chorób	• komary • muchy • bąki • gzy
Pchły (*Siphonaptera*)	• aparat gębowy kłująco-ssący • ciało bocznie spłaszczone, pozbawione skrzydeł • zmodyfikowane odnóża służą do długich skoków i przyczepiania się do ciała gospodarza • są krwiopijnymi pasożytami ptaków i ssaków	• pchły

s. 65 ▸ **Cechy szkarłupni**

Cechy charakterystyczne dla szkarłupni	**Cechy poprzednich grup**	**Cechy wspólne z następnymi grupami**
• układ wodny • wapienny szkielet wewnętrzny	• symetria promienista • zanik odcinka głowowego • brak centralizacji układu nerwowego • brak układu oddechowego i wydalniczego	• bruzdkowanie równoległe • przekształcenie pragęby w otwór odbytowy i powstanie wtórnego otworu gębowego

Cechy charakterystyczne strunowców, bezczaszkowców i kręgowców

s. 64–76

Cechy strunowców	Cechy bezczaszkowców	Cechy kręgowców
• obecność struny grzbietowej • cewka nerwowa położona grzbietowo • szczeliny skrzelowe w gardzieli • endostyl położony na dnie gardzieli • obecność ogona	• segmentowane mięśnie • brak mózgu • układ krwionośny zamknięty • rozdzielnopłciowość • zapłodnienie zewnętrzne • obecność larwy w rozwoju	• ciało dwubocznie symetryczne, podzielone na głowę, tułów, ogon • obecność szkieletu osiowego (kręgosłup i czaszka) • parzyste kończyny • przewód pokarmowy z dwoma otworami • liczne przystosowania związane ze środowiskiem życia

Ewolucja kręgowców

s. 73

Linia ewolucyjna	Opis
Czaszkowce	zwierzęta mające wyodrębnioną głowę (z czaszką, mózgiem, oczami i narządami zmysłów; minogi i śluzice)
Żuchwowce	zwierzęta mające szczęki, które umożliwiają chwytanie i rozdrabnianie pokarmu (m.in. ryby)
Czworonogi	obecność kończyn umożliwiających opanowanie środowisk lądowych (m.in. płazy)
Owodniowce	wykształcenie jaja wyposażonego w błony płodowe (m.in. gady, ptaki, ssaki)
Zwierzęta stałocieplne	utrzymywanie stałej temperatury ciała, niezależnej od temperatury otoczenia (patki i ssaki)

Wybrane cechy przystosowawcze kręgowców do środowiska ich życia

s. 82–91

Gromada i środowisko życia	Cechy przystosowujące do środowiska życia
Ryby (środowisko wodne)	opływowy kształt ciała, obecność płetw, oddychanie za pomocą skrzeli, pęcherz pławny, skóra pokryta łuskami i śluzem, linia naboczna, jeden obieg krwi
Płazy (środowisko lądowe i wodne)	• środowisko lądowe: obecność czterech kończyn z palcami umożliwiającymi chodzenie i skakanie, lekka czaszka, obecność szyi, dwa obiegi krwi, ciało pokryte śluzem, wydalanie mocznika, obecność powiek • środowisko wodne: silnie ukrwiona, naga skóra służąca jako narząd do oddychania, palce z błonami pławnymi (płazy bezogonowe)
Gady (środowisko lądowe)	sucha, nieprzepuszczalna dla wody skóra, pokryta łuskami i pyłkami, zrogowaciały naskórek ulegający linieniu, oddychanie płucami, ruchliwa szyja, wydalanie kwasu moczowego, jaja z błonami płodowymi, sprawne narządy zmysłów

Ptaki (środowisko lądowe, w tym przystosowania do lotu)	silnie rozwinięty mózg i narządy zmysłów, przednie kończyny przekształcone w skrzydła pokryte piórami, obecność silnego grzebienia na mostku, redukcja masy ciała, pneumatyczne kości, brak zębów, brak pęcherza moczowego, szybki i wydajny metabolizm, stałocieplność, podwójne oddychanie, obecność wola, rozdzielnopłciowość z wyraźnym dymorfizmem, zapłodnienie wewnętrzne, jajorodność
Ssaki (różne środowiska)	cztery pierwotnie pięciopalczaste kończyny (często zmodyfikowane, np. płetwy waleni, skrzydła nietoperzy), silny rozwój mózgu, zróżnicowane uzębienie, stałocieplność, silnie rozwinięte płuca, sprawny układ krwionośny, skóra pokryta włosami, żyworodność i karmienie mlekiem

s. 77–87 ▸ **Różnorodność systematyczna kręgowców**

Gromada	Podział i przedstawiciele	
Ryby	chrzęstnoszkieletowe	chimery i spodouste: płaszczki, rekiny
	kostnoszkieletowe	promieniopłetwe: śledzie, łososie, pstrągi, szczupaki, dorsze, okonie, sandacze mięśniopłetwe: latimeria, rogoząb
Płazy	ogonowe	salamandry (np. salamandra plamista), traszki (np. traszka górska), aksolotl meksykański
	bezogonowe	ropuchy (np. ropucha szara), rzekotka drzewna, kumaki (np. kumak nizinny), żaby (np. żaba trawna)
	beznogie	marszczelec
Gady	żółwie	żółw skórzasty, żółw błotny
	krokodyle	krokodyl nilowy, gawial, aligator amerykański
	jaszczurki	padalec zwyczajny, jaszczurka zwinka, gekon zielony, waran z Komodo
	węże	żmija zygzakowata, zaskroniec, gniewosz plamisty, anakonda
Ptaki	nielotne (bezgrzebieniowe)	struś, emu, kiwi
	grzebieniowe	pingwiny, mewy, czaple, bociany, kaczki, gęsi, sokoły, orły, bażanty, kury, puchacze, jerzyki, kolibry, dzięcioły, tukany, sikory, drozdy, wróble, kruki
Ssaki	stekowce	dziobaki, kolczatki
	torbacze	kangury, wombaty, dydelfy, koala
	łożyskowce	owadożerne: krety, jeże; nietoperze: gacki, podkowce; naczelne: lemury, pawiany, szympansy, człowiek; drapieżne: tygrysy, wilki, niedźwiedzie, lisy, foki; gryzonie: myszy, bobry, wiewiórki; nieparzystokopytne: konie, nosorożce; parzystokopytne: świnie, jelenie, antylopy, krowy, żyrafy; walenie: wieloryby, orki, humbaki, morświny

BLOK ĆWICZENIOWY

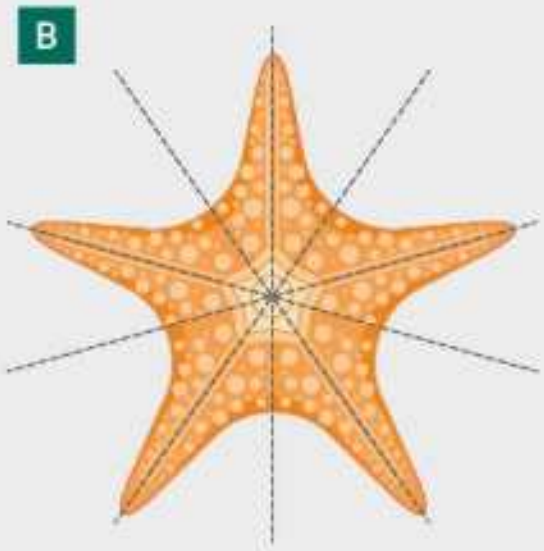
1. Na rysunku przedstawiono dwa typy symetrii ciała u zwierząt.

a) **Podaj, na którym schemacie (A czy B) przedstawiono promienistą symetrię ciała.**

b) **Określ, który rodzaj symetrii ciała daje zwierzętom większą samodzielność funkcjonowania w środowisku.**

A

B



2. Gąbki są zwierzętami beztkankowymi, zbudowanymi z dwóch warstw komórek: zewnętrznej z licznymi porami prowadzącymi do jamy gastralnej oraz wewnętrznej utworzonej przez komórki kołnierzykowate zaopatrzone w wici wywołujące ruch wody.

Uporządkuj przepływ wody przez ciało gąbki. Odpowiedź zapisz w zeszycie.

A. spongocel

B. por

C. kanały wyścielone komórkami kołnierzykowatymi

D. otwór wyrzutowy

3. Koralowce sześciopromienne mogą występować pojedynczo, jak ukwiały, oraz w postaci kolonii, jak korale madreporowe uczestniczące w budowie raf koralowych.

a) **Wyjaśnij, jakie cechy budowy koralowców pozwalają im współtworzyć rafę koralową.**

b) **Określ znaczenie rafy koralowej w zachowaniu bioróżnorodności w ekosystemach wodnych.**

4. Parzydełkowce występują w postaci dwóch form morfologicznych: polipa i meduzy. Polip jest formą osiadłą, a meduza – wolno żyjącą. Meduzy poruszają się w toni wodnej ruchem odrzutowym ciała w kształcie dzwonu.

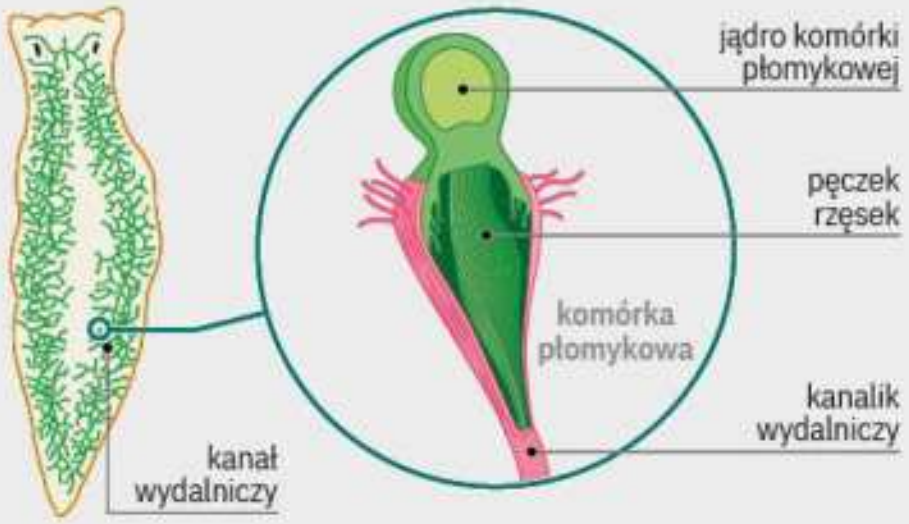
Wyjaśnij, która z form parzydełkowców – polip czy meduza – ma lepiej rozwinięte narządy zmysłów.

5. Ciało nicieni jest okryte worem skórno-mięśniowym zbudowanym z nabłonka – hypodermy – i dwóch warstw mięśni podłużnych. Wytworem nabłonka jest kolagenowy oskórek – kutykula.

a) **Omów znaczenie umięśnienia wora skórno-mięśniowego nicieni.**

b) **Wyjaśnij rolę kutykuli dla życia nicieni w różnych warunkach środowiska.**

6. Na rysunku przedstawiono budowę układu protonefrydialnego u przedstawiciela wolno żyjących płazińców.



Na podstawie: N.A. Campbell i inni, *Biologia*, Poznań 2012.

Które stwierdzenie dotyczące układu protonefrydialnego jest fałszywe? Odpowiedź uzasadnij.

A. Układ protonefrydialny to sieć cewek zakończonych komórkami płomykowymi.

B. Zadaniem układu protonefrydialnego jest głównie utrzymanie równowagi osmotycznej z otoczeniem.

C. Układ protonefrydialny usuwa niestrawione resztki pokarmowe przez otwór wydalniczy.

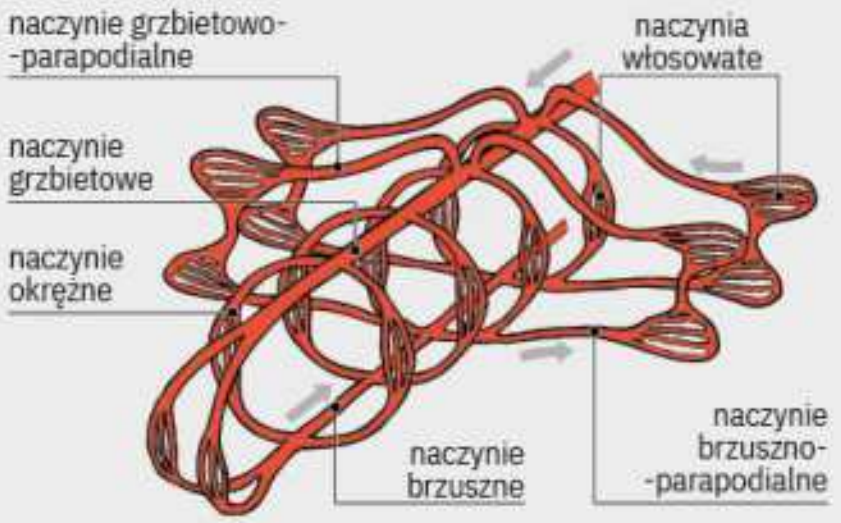
D. Komórki płomykowe powodują przepływ cieczy przez rozgałęziające się przewody do otworu wydalniczego na zewnątrz ciała.

7. Na rysunku przedstawiono przekrój przez układ krwionośny pierścienicy.

a) **Określ, jaki typ układu krwionośnego (otwarty czy zamknięty) występuje u pierścienic.**

b) **Wyjaśnij różnice między układem krwionośnym otwartym i zamkniętym.**

c) **Przedstaw kierunek przepływu krwi w układzie krwionośnym pierścienic.**



Na podstawie: N.A. Campbell i inni, *Biologia*, Poznań 2012.

8. Wrotki są organizmami kosmopolitycznymi – mogą żyć prawie we wszystkich środowiskach.

a) **Wymień cechy, które pozwoliły wrotkom żyć prawie we wszystkich środowiskach.**

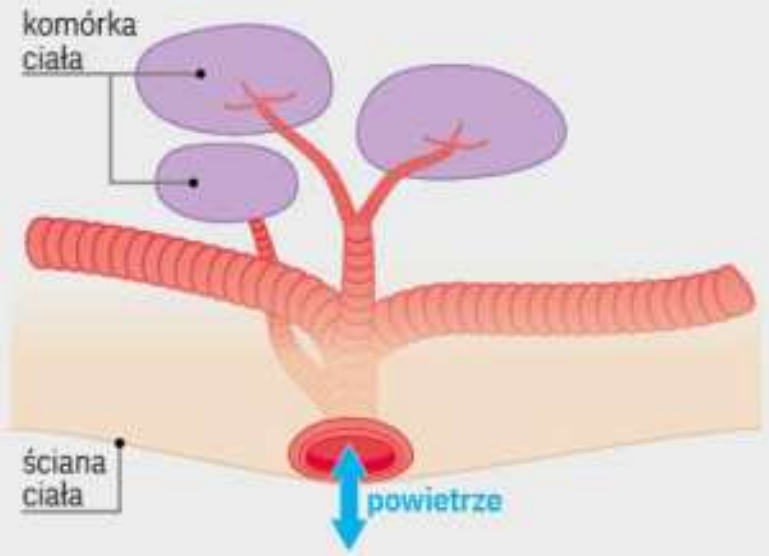
b) **Wyjaśnij funkcję aparatu wrotnego w funkcjonowaniu wrotek w środowisku.**

9. Głowonogi są najlepiej rozwiniętą gromadą mięczaków. Są aktywnie pływającymi morskimi drapieżnikami. Mają prawie zamknięty układ krwionośny złożony z dwóch obiegów krwi.

a) **Przedstaw kierunek przepływu krwi w obiegu dużym i małym.**

b) **Wymień inne cechy budowy głowonogów łączące je z wyżej rozwiniętymi zwierzętami.**

10. Na rysunku przedstawiono budowę tchawek stawonogów.



a) **Wyjaśnij, czy transport gazów oddechowych przez tchawki wymaga udziału hemolimfy.**

b) **Uzasadnij, że pojawienie się tchawek to konsekwencja powstania szkieletu zewnętrznego stawonogów.**

11. Oceń prawdziwość stwierdzeń dotyczących mięczaków. Odpowiedź zapisz w zeszycie.

A. Ciało większości mięczaków jest zróżnicowane na głowę, worek trzewiowy i nogę.

B. Tarka u małży służy do zeskrobywania, odgryzania i rozdrabniania pokarmu.

C. Serce mięczaków składa się z komory i jednego lub dwóch przedsionków.

D. U wszystkich mięczaków zaznacza się silna cefalizacja połączona z rozwojem zwojów nerwowych w części głowowej.

12. Jedną z charakterystycznych cech szkarłupni jest obecność układu wodnego.

Oceń prawdziwość stwierdzeń dotyczących tego układu. Odpowiedź zapisz w zeszycie.

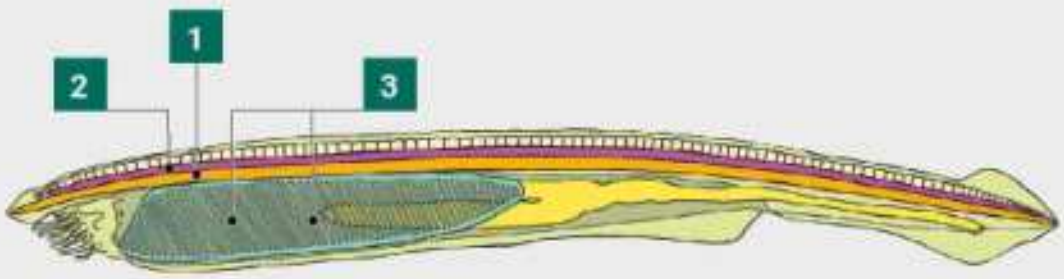
A. Układ wodny składa się z kanału okrężnego i dwóch kanałów promienistych biegnących do nóżek wodnych.

B. Układ wodny kontaktuje się ze środowiskiem zewnętrznym za pośrednictwem płytki madreporowej.

C. Układ wodny składa się z kanału okrężnego i pięciu kanałów promienistych biegnących do nóżek wodnych.

D. Nóżki wodne służą szkarłupniom do poruszania się.

13. Lancetnik należy do strunowców. Ma wszystkie cechy anatomiczne tego typu. Na rysunku przedstawiono budowę wewnętrzną lancetnika. Cyframi oznaczono struktury jego budowy typowe dla strunowców. **Wskaż odpowiedź, w której właściwie przyporządkowano nazwy narządów do cyfr.**



1 – struna grzbietowa, 2 – gardziel ze szparami skrzelowymi, 3 – cewka nerwowa

1 – cewka nerwowa, 2 – gardziel ze szparami skrzelowymi, 3 – struna grzbietowa

1 – gardziel ze szparami skrzelowymi, 2 – struna grzbietowa, 3 – cewka nerwowa

1 – struna grzbietowa, 2 – cewka nerwowa, 3 – gardziel ze szparami skrzelowymi

14. Kręgowce obejmują kilka gromad. Przynależność do kręgowców wynika z obecności wielu cech wspólnych, a gromady wyodrębniono na podstawie różnic w budowie. Poniżej wymieniono cechy kręgowców.

Wskaż, które z wymienionych cech są wspólne dla wszystkich kręgowców, a które – tylko dla ssaków.

A. obecność skostniałego szkieletu osiowego

B. wytwarzanie błon płodowych w rozwoju zarodkowym

C. skóra zbudowana z naskórka i skóry właściwej

D. dwubocznie symetryczne ciało

E. stałocieplność

F. skóra pokryta włosami

G. okres larwalny w rozwoju

H. zapłodnienie wewnętrzne

15. **Wymień trzy cechy budowy gadów, które umożliwiły im opanowanie środowisk lądowych.**

16. Ssaki opanowały wszystkie typy środowisk kuli ziemskiej.

Wymień trzy modyfikacje kończyn ssaków i podaj przykład gatunku, u którego występuje dana modyfikacja.

17. Japok wodny to południowoamerykańskie zwierzę, które prowadzi wodno-ziemny tryb życia. Długość jego ciała wynosi 25–40 cm, długość ogona to 27–43 cm, a masa ciała osiąga 510–790 g. Zwierzę ma futro prążkowane. Palce tylnych kończyn są połączone błoną pławną. Młode japoki rodzą się po 12–14 dni po zapłodnieniu. Torba lęgowa występuje u samców i samic. Otwór torby lęgowej samicy jest silnie umięśniony i jest zamykany przez mięsień okrężny w czasie nurkowania. Japok odżywia się rybami, żabami, rakami i innymi małymi zwierzętami wodnymi, które chwyta przednimi łapami. Prowadzi nocny tryb życia.

Podaj przynależność systematyczną japoka wodnego. Swoją odpowiedź uzasadnij dwoma argumentami.

18. Fauna lądowych kręgowców Słowińskiego Parku Narodowego (SPN) świadczy o wysokiej bioróżnorodności w tej grupie zwierząt na tle kraju. Na obszarze parku występują: ropucha szara i ropucha paskówka, żaba trawna i żaba moczarowa, gatunki żab zielonych: żaba jeziorkowa, żaba wodna i żaba śmieszka, a także traszka grzebieniasta oraz traszka zwyczajna. W SPN występują także jaszczurki: zwinka i żyworodna, padalec zwyczajny, zaskroniec zwyczajny i żmija zygzakowata. Poza tym optymalne warunki bytowania w SPN znajdują także liczne populacje zwierząt – cennych na skalę europejską: bóbr, wydra i nietoperze, z których trzy: mopek, borowiec wielki i mroczek posrebrzany, są wpisane na Czerwoną Listę Zwierząt Ginących i Zagrożonych w Polsce.

Na podstawie: http://link.operon.pl/httpsslowinskipnplplswiatzwierzathtml.

Na podstawie tekstu uzupełnij poniższą tabelę. Przerysuj ją do zeszytu.

Kręgowce lądowe SPN		Przykłady
płazy	ogoniaste	...
	bezogonowe	...
gady		...
ssaki		...

1. Hierarchiczna struktura ciała zwierząt
2. Hierarchiczna organizacja budowy zwierząt
3. Sposoby odżywiania się zwierząt
4. Rola składników odżywczych w funkcjonowaniu organizmu
5. Rola witamin i minerałów w diecie
6. Zasady zdrowego żywienia
7. Budowa i funkcje układu pokarmowego
8. Dodatkowe narządy układu pokarmowego. Trawienie i wchłanianie substancji odżywczych
9. Zaburzenia funkcjonowania układu pokarmowego oraz jego profilaktyka
10. Budowa i funkcje układu odpornościowego
11. Zaburzenia funkcjonowania układu odpornościowego
12. Wymiana gazowa
13. Układ oddechowy człowieka
14. Transport gazów oddechowych
15. Transport wewnętrzny zwierząt
16. Serce człowieka i krążenie krwi
17. Bilans wodny zwierząt
18. Ewolucja narządów wydalniczych zwierząt
19. Budowa i działanie układu moczowego człowieka
20. Regulacja dokrewna u zwierząt

II. Funkcjonowanie zwierząt

21. Budowa i funkcje układu hormonalnego człowieka
22. Fizjologiczna rola hormonów
23. Regulacja nerwowa u zwierząt
24. Przekazywanie informacji w układzie nerwowym
25. Budowa układu nerwowego
26. Percepcja zmysłowa u zwierząt
27. Budowa i funkcje receptorów człowieka
28. Choroby układu nerwowego
29. Sposoby poruszania się zwierząt
30. Układ ruchu – przekształcenie pracy mięśnia w poruszanie się
31. Układ ruchu człowieka
32. Pokrycie ciała u zwierząt
33. Funkcje skóry u zwierząt
34. Strategie rozrodcze zwierząt
35. Cykl życiowy zwierząt
36. Układ rozrodczy męski
37. Budowa i funkcjonowanie żeńskiego układu rozrodczego. Gametogeneza
38. Rozwój prenatalny człowieka
39. Choroby i profilaktyka układu rozrodczego
40. Wzrost i starzenie się człowieka

1. Hierarchiczna struktura ciała zwierząt

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz tkanki zwierzęce;
- dowiesz się, jaki związek ma budowa tkanki z pełnioną funkcją.

Tkanką nazywamy zespół komórek o wspólnym pochodzeniu i podobnej budowie, pełniący określoną funkcję.

listki zarodkowe ▸ Złożony plan budowy ciała wymaga współpracy różnych typów tkanek. We wczesnych etapach rozwoju zarodkowego zwierząt wykształcają się **listki zarodkowe**: ektoderma, endoderma i mezoderma, z których formują się tkanki (**tab. II.1.1.**).

Tab. II.1.1. Udział listków zarodkowych w tworzeniu tkanek

Typ tkanki	Listki zarodkowe		
	ektoderma	endoderma	mezoderma
nabłonkowa	X	X	X
łączna (w tym krew i limfa)		X	X
mięśniowa			X
nerwowa	X		

tkanki ▸

Tkanki – budowa i funkcje

W organizmie zwierząt wyróżnia się cztery podstawowe typy tkanek: nabłonkową, łączną, mięśniową i nerwową. U poszczególnych grup zwierząt tkanki charakteryzują się specjalizacją. Przedstawiony przegląd tkanek dotyczy w większości tkanek kręgowców, a szczególnie człowieka.

tkanka nabłonkowa ▸

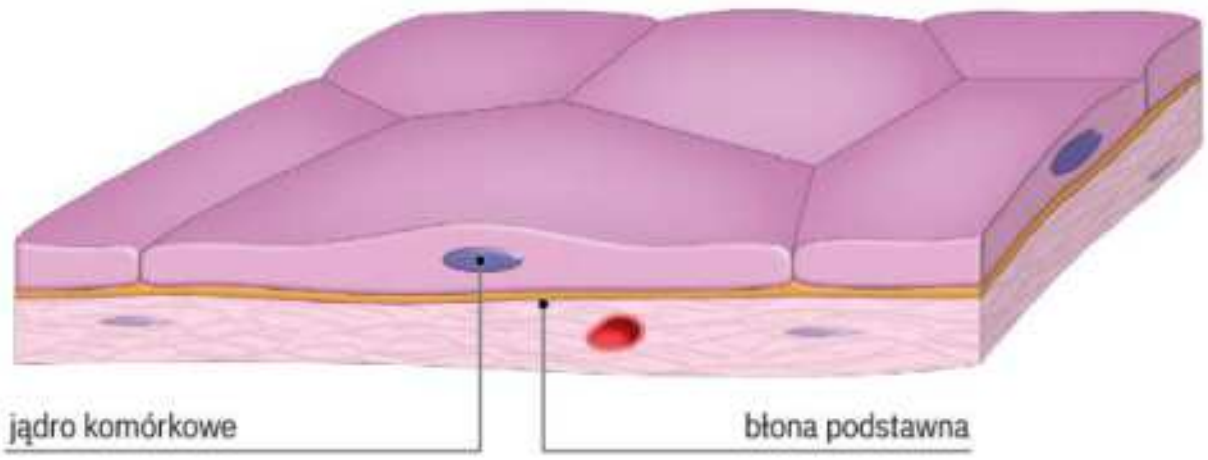
Tkanka nabłonkowa

U kręgowców tkanka nabłonkowa może formować się ze wszystkich listków zarodkowych, np. nabłonek skóry powstaje z ektodermy, nabłonek wyścielający drogi oddechowe – z endodermy, a nabłonek wyścielający naczynia krwionośne – z mezodermy.

Tkanka nabłonkowa okrywa ciało i narządy wewnętrzne. Stanowi zewnętrzną warstwę skóry, a także wyścieła przewody wewnątrz organizmu. Jeśli jej komórki wchodzą w skład gruczołów, pełni ona funkcję wydzielniczą, a jeżeli budują narządy zmysłów, nabłonek pełni funkcję zmysłową.

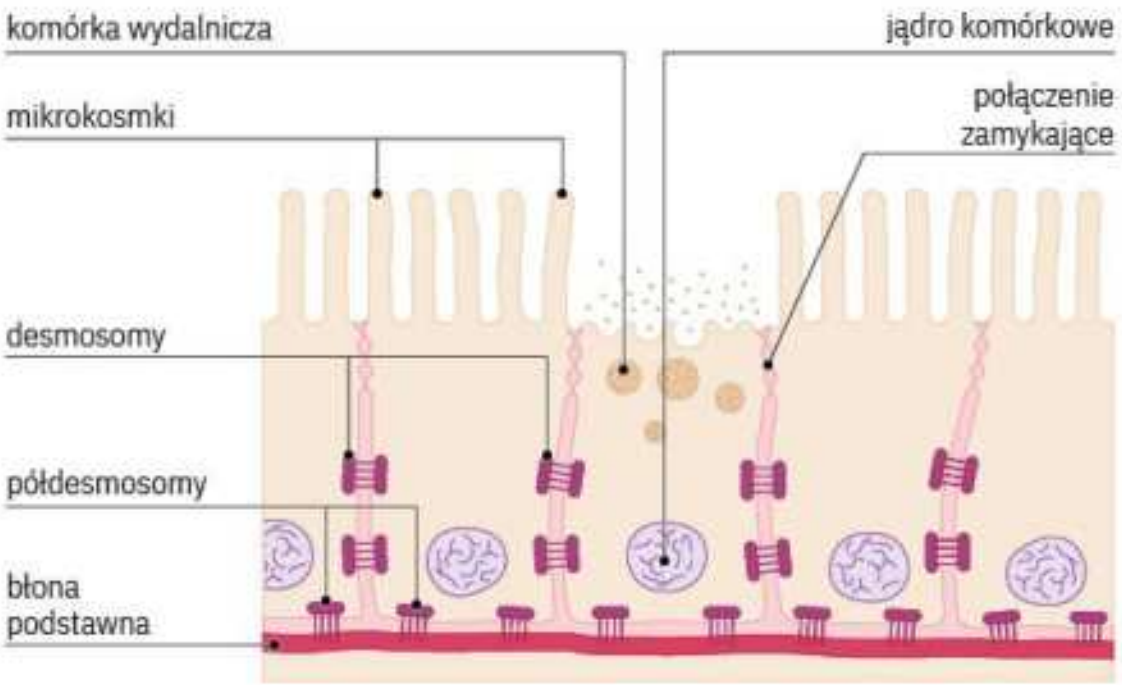
Cechą wspólną budowy wszystkich nabłonków jest zwarty układ komórek, które ściśle do siebie przylegają dzięki połączeniom – desmosomom. To białkowe wypustki, które od wewnątrz łączą się z cytoszkieletem sąsiadujących komórek. Za-

pewniają one nabłonkowi odporność na rozerwanie. W górnej części komórki są połączone połączeniami zamykającymi, co zapewnia szczelną, jednolitą barierę zewnętrzną. Komórki są osadzone na błonie podstawnej (substancji bezkomórkowej zbudowanej z włókien białkowych) (**ryc. II.1.1**.).



Ryc. II.1.1. Model budowy nabłonka jednowarstwowego płaskiego. Błona podstawna umożliwia zachowanie kształtu komórkom nabłonka i pozwala na transport substancji między nim a leżącą pod nim tkanką łączną. Dzięki temu następuje odżywianie nabłonka, który nie jest unaczyniony.

Z błoną podstawną komórki nabłonka łączą się półdesmosomami (**ryc. II.1.2.**).



Ryc. II.1.2. Połączenia komórek nabłonka.

Podstawowy podział nabłonków opiera się na kształcie komórek, liczbie ich warstw oraz funkcji, jaką spełniają (**tab. II.1.2.**). Nabłonki zbudowane z pojedynczej warstwy komórek o podobnym kształcie określamy jako **jednowarstwowe**, a gdy warstw jest więcej – jako **wielowarstwowe**. U bezkręgowców występują tylko nabłonki jednowarstwowe, natomiast w kręgowców – oba typy. Szczególny rodzaj nabłonka jednowarstwowego to nabłonek **wielorzędowy**. Jego komórki mają różną wysokość, co sprawia wrażenie, że tworzą kilka warstw. Nabłonki jednowarstwowe

nabłonek jednowarstwowy

nabłonek wielowarstwowy

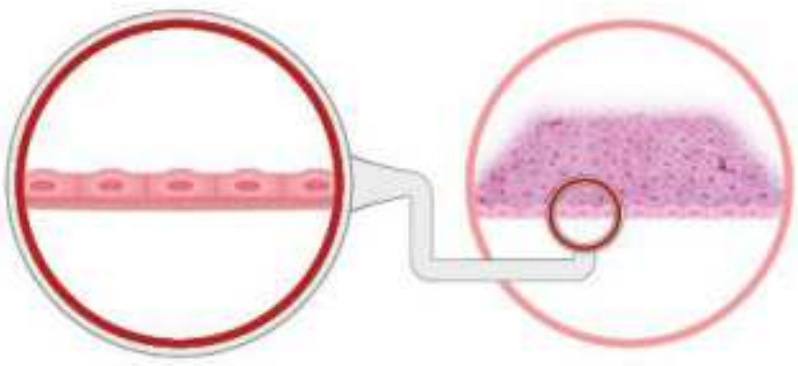
najczęściej występują w miejscach, gdzie zachodzi intensywna wymiana substancji, np. dyfuzja, a nabłonki wielowarstwowe znajdują się w miejscach, w których jest potrzebna ochrona fizyczna lub chemiczna. Komórki tkanki nabłonkowej mogą mieć kształt płaski, sześcienny (brukowy, kostkowy) lub walcowaty (cylindryczny).

Tab. II.1.2. Kryteria podziału tkanki nabłonkowej

Kryterium podziału	Rodzaj nabłonka
Liczba warstw komórek	jednowarstwowy, wielowarstwowy
Kształt komórek	płaski, sześcienny, walcowaty
Funkcje	ochronny, transportujący, wydzielniczy, czuciowy, rozrodczy

Nabłonek jednowarstwowy płaski

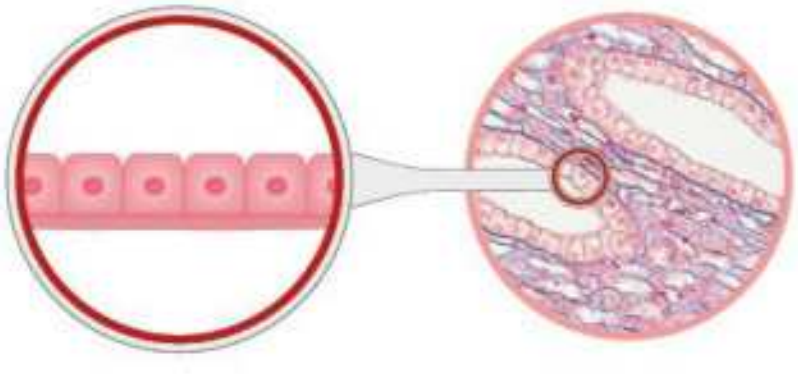
Nabłonek jednowarstwowy płaski tworzy jedna warstwa szerokich, spłaszczonych komórek, których jądra są umieszczone centralnie. Nabłonek musi być cienki i przepuszczalny, ponieważ występuje w tej części organizmu, gdzie odbywa się wymiana substancji przez dyfuzję (**ryc. II.1.3.**). W organizmie człowieka wyścieła naczynia krwionośne i limfatyczne, pęcherzyki płucne, jamy serca. Ponadto znajduje się na powierzchni błon surowiczych (opłucnej, osierdzia, otrzewnej) oraz współtworzy torebki ciałek nerkowych w nerce. Nabłonek jednowarstwowy płaski tworzy powłoki ciała większości bezkręgowców, a u zwierząt skrzelodysznych pokrywa powierzchnię skrzeli.



Ryc. II.1.3. Nabłonek jednowarstwowy płaski.

Nabłonek jednowarstwowy sześcienny

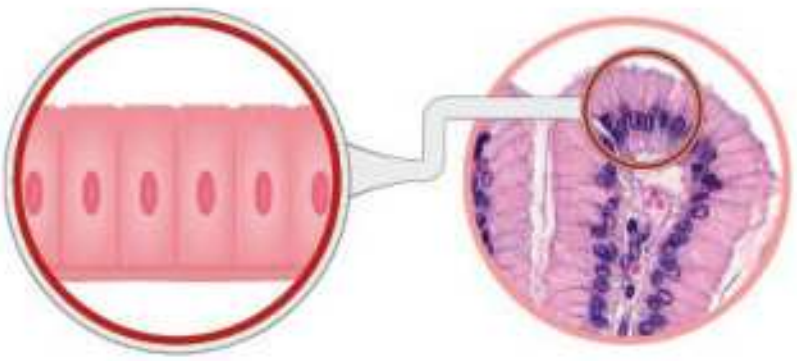
Nabłonek jednowarstwowy sześcienny jest zbudowany z jednej warstwy równościennych komórek (przypominają kształtem kostki do gry), których jądra są umieszczone centralnie (**ryc. II.1.4.**). Tkanka ta występuje u człowieka w miejscach intensywnego wchłaniania i wydzielania – w przewodach wyprowadzających gruczołów wydzielania zewnętrznego, np. w śliniankach, gruczołach mlecznych, a także w ścianach kanalików nerkowych.



Ryc. II.1.4. Nabłonek jednowarstwowy sześcienny.

Nabłonek jednowarstwowy walcowaty

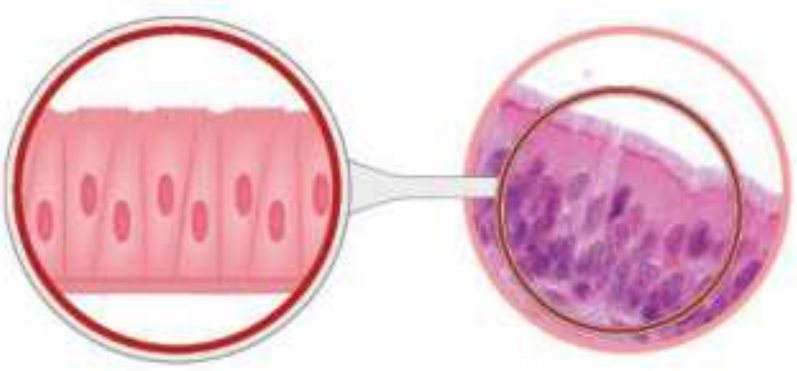
Nabłonek jednowarstwowy walcowaty składa się z jednej warstwy komórek o kształcie wydłużonym (nieregularne graniastosłupy), których jądra znajdują się blisko błony podstawnej (**ryc. II.1.5.**). U człowieka wyścieła przewód pokarmowy (od żołądka do odbytnicy), gdzie odpowiada za wydzielanie soków trawiennych. W jelicie cienkim komórki nabłonka mają liczne cienkie wypustki cytoplazmatyczne – mikrokosmki, które zwiększają powierzchnię wchłaniania składników pokarmowych. W jajowodzie dzięki licznym rzęskom ułatwiają przemieszczanie komórki jajowej (lub zygoty) w kierunku macicy.



Ryc. II.1.5. Nabłonek jednowarstwowy walcowaty.

Nabłonek jednowarstwowy wielorzędowy

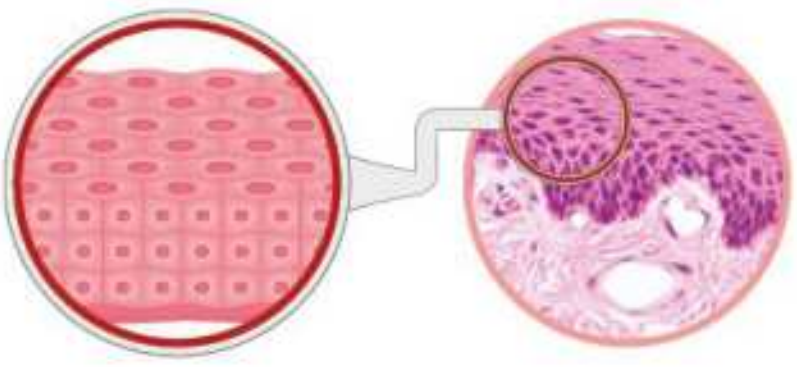
Nabłonek jednowarstwowy wielorzędowy jest zbudowany z jednej warstwy komórek o różnej wysokości i kształcie graniastosłupów, przez co jądra komórkowe znajdują się na różnych poziomach (**ryc. II.1.6.**). Podczas obserwacji mikroskopowych daje to wrażenie wielorzędowości. U człowieka nabłonek jednowarstwowy wielorzędowy wyścieła drogi oddechowe (część oddechową i węchową jamy nosowej, górną część gardła, tchawicę, oskrzela). Dzięki obecności mikrokosmków na wolnej powierzchni komórek pomaga usuwać zanieczyszczenia, np. cząstki kurzu i pyłu.



Ryc. II.1.6. Nabłonek jednowarstwowy wielorzędowy.

Nabłonek wielowarstwowy płaski

Nabłonek wielowarstwowy płaski składa się z kilku warstw komórek, których warstwa zewnętrzna jest spłaszczona (**ryc. II.1.7.**). Występuje na powierzchniach narażonych na ścieranie. Ma zdolności regeneracyjne dzięki intensywnym podziałom mitotycznym zachodzącym w głębszych jego warstwach. Nowe komórki umoż-



Ryc. II.1.7. Nabłonek wielowarstwowy płaski.

liwiają złuszczanie się warstw wierzchnich i stałe odnawianie się całego nabłonka. Nabłonek tworzy zewnętrzną warstwę skóry (naskórek). Występuje w jamie ustnej, w części środkowej i dolnej gardła, wyścieła większą część przełyku i pochwę, a także tworzy przednią powierzchnię rogówki oka. Nabłonek u kręgowców stanowi zewnętrzną warstwę skóry (naskórek). U płazów, gadów, ptaków i ssaków komórki wierzchniej warstwy naskórka rogowacieją i wypełniają się rogową substancją – keratyną.

Funkcje tkanek nabłonkowych

- **Nabłonki pokrywająco-ochronne** chronią powierzchnię ciała zwierząt przed niekorzystnym wpływem czynników środowiska, a narządy wewnętrzne – przed urazami mechanicznymi, utratą płynów ciała oraz szkodliwymi czynnikami chemicznymi, np. wielowarstwowy złuszczający się naskórek czy nabłonek jednowarstwowy płaski wyścielający serce i naczynia krwionośne.

Komórki tego nabłonka budują różne struktury zwierząt, jak łuski, pióra, sierść, włosy, pazury, paznokcie, kopyta, pokrywy dziobów u ptaków czy pochwy rogowe pustorożców.

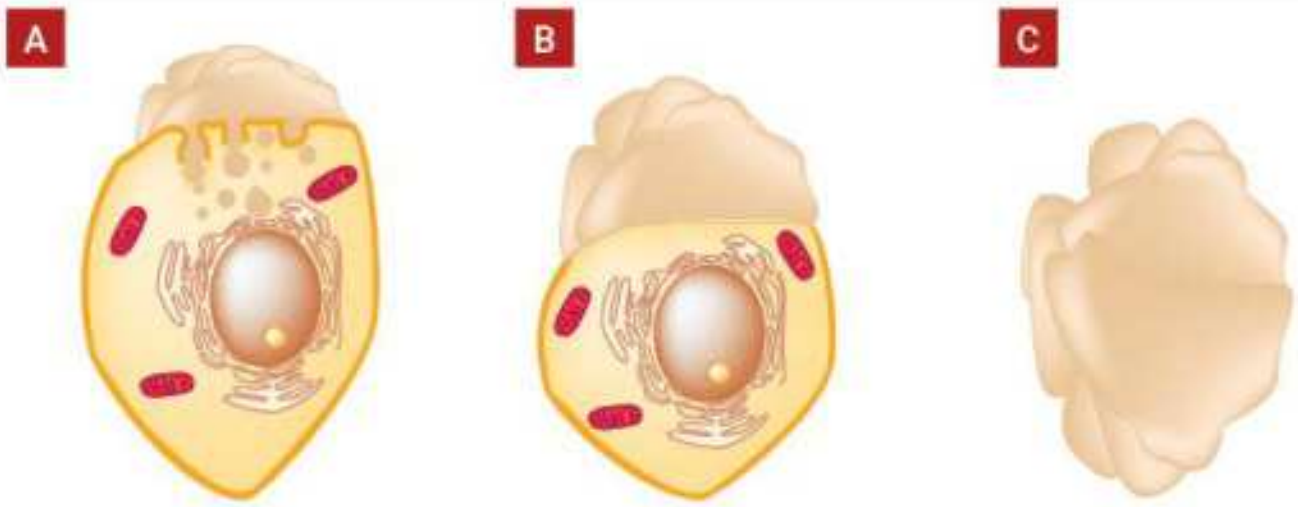
- **Nabłonki transportujące** umożliwiają przekazywanie substancji między warstwą zewnętrzną a wewnętrzną nabłonka, np. nabłonek jednowarstwowy płaski pozwala na transport gazów oddechowych w narządach wymiany gazowej, jednowarstwowy sześcienny odpowiada za transport jonów w kanalikach nerkowych, a jednowarstwowy walcowaty – za transport produktów trawienia w jelicie cienkim.

- **Nabłonki wydzielnicze (gruczołowe)** uczestniczą w syntezie i wydzielaniu różnych związków chemicznych, np. enzymów, hormonów, śluzu. Mogą być rozmieszczone pojedynczo wśród innych komórek nabłonka i tworzyć gruczoły jednokomórkowe, np. gruczoły śluzowe w nabłonku wyścielającym ciało zwierząt bezkręgowych. Mogą także występować w zespołach i tworzyć gruczoły wielokomórkowe w obrębie nabłonka, np. gruczoły błony śluzowej żołądka, lub leżące poza jej obrębem, np. gruczoły potowe u ssaków. Gruczoły, które swoją wydzielinę wyprowadzają przewodem na powierzchnię nabłonka, nazywamy zewnątrzwydzielniczymi. Są to np. ślinianki czy gruczoły łojowe. Jeśli wydzielina dostaje się bezpośrednio do płynów ustrojowych, wówczas gruczoły określa się jako wewnątrzwydzielnicze (dokrewne).

wydzielanie merokrynowe

wydzielanie holokrynowe

Wyróżnia się trzy sposoby wydzielania komórkowego: merokrynowe, apokrynowe i holokrynowe. **Wydzielanie merokrynowe** zachodzi w szczytowej części komórki, co nie prowadzi do jej zniszczenia. Tak działa większość gruczołów u zwierząt. Podczas uwalniania wydzieliny w **gruczole apokrynowym** zostaje oderwana szczytowa część komórki. Przykładem są gruczoły mlekowe ssaków. W **wydzielaniu holokrynowym** cała zawartość komórki przekształca się w wydzielinę, co prowadzi do zniszczenia całej komórki podczas wydzielania. Przykładem tak funkcjonujących gruczołów są gruczoły łojowe skóry ssaków (**ryc. II.1.8.**).



Ryc. II.1.8. Sposoby wydzielania komórkowego: merokrynowe (A), apokrynowe (B), holoktynowe (C).

- **Nabłonki lokomotoryczne**, np. nabłonek jednowarstwowy walcowaty, dzięki obecności rzęsek umożliwiają przesuwanie się komórki jajowej (zygoty) w jajowodach czy przemieszczanie się larw bezkręgowców.

nabłonki lokomotoryczne

- **Nabłonki zmysłowe** budują narządy zmysłów. Umożliwiają odbieranie bodźców ze środowiska zewnętrznego lub wewnętrznego, np. nabłonki kubków smakowych, siatkówki oka, komórki receptorowe ucha wewnętrznego.

nabłonki zmysłowe

Zwykle dany nabłonek spełnia równocześnie kilka funkcji. Dla przykładu: nabłonki pokrywające zawierają także komórki gruczołowe, a nabłonek jelita cienkiego odpowiada za funkcję pokrywająco-ochronną, wydzielniczą i transportującą.

Tkanka łączna

tkanka łączna

Tkanka łączna powstaje z mezodermy. W organizmie zwierząt jest odpowiedzialna za wiele funkcji: wypełniającą, odżywczą, transportową, szkieletotwórczą oraz obronną (**ryc. II.1.9.**). Składa się z **substancji międzykomórkowej**, w której są zawieszone **komórki**. **Komórki różnych typów tkanek łącznych różnią się kształtem i budową**. W skład substancji międzykomórkowej wchodzi **istota podstawowa** (rodzaj żelu z dużą zawartością wody w tkankach łącznych właściwych czy twarda, zmineralizowana substancja podstawowa w tkankach łącznych oporowych) oraz **białkowe elementy włókniste**, do których należą:

- **włókna kolagenowe** – zbudowane z nierozpuszczalnego białka **kolagenu**, nadają dużą wytrzymałość i odporność na rozerwanie, dlatego licznie występują w ścięgnach, chrząstkach i kościach;

włókna kolagenowe

- **włókna sprężyste** – zbudowane z białka **elastyny**, tworzącego nieregularną, sprężystą sieć, która nadaje giętkość i sprężystość;

włókna sprężyste

- **włókna retikulinowe** – zbudowane z białka **retikuliny**, które jest składnikiem delikatnych włókien stanowiących rusztowania zrębów niektórych narządów wewnętrznych, np. węzłów chłonnych.

włókna retikulinowe

Tkanka łączna jest najbardziej zróżnicowana spośród tkanek budujących organizm kręgowców. Zalicza się do niej tkanki: łączną właściwą, łączną podporową oraz łączną płynną.

Ryc. II.1.9. Klasyfikacja tkanek łącznych.

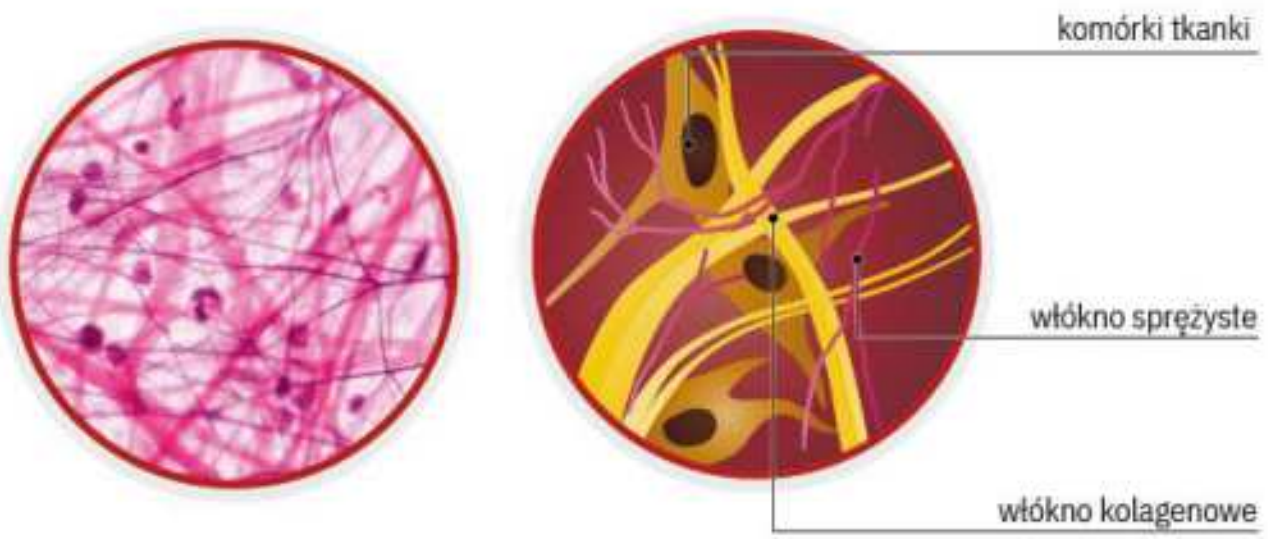
tkanka łączna właściwa

Tkanka łączna właściwa

Wyróżnia się kilka rodzajów tkanki łącznej właściwej. Charakteryzują się one odmienną budową i różnymi funkcjami.

Tkanka właściwa wiotka (luźna)

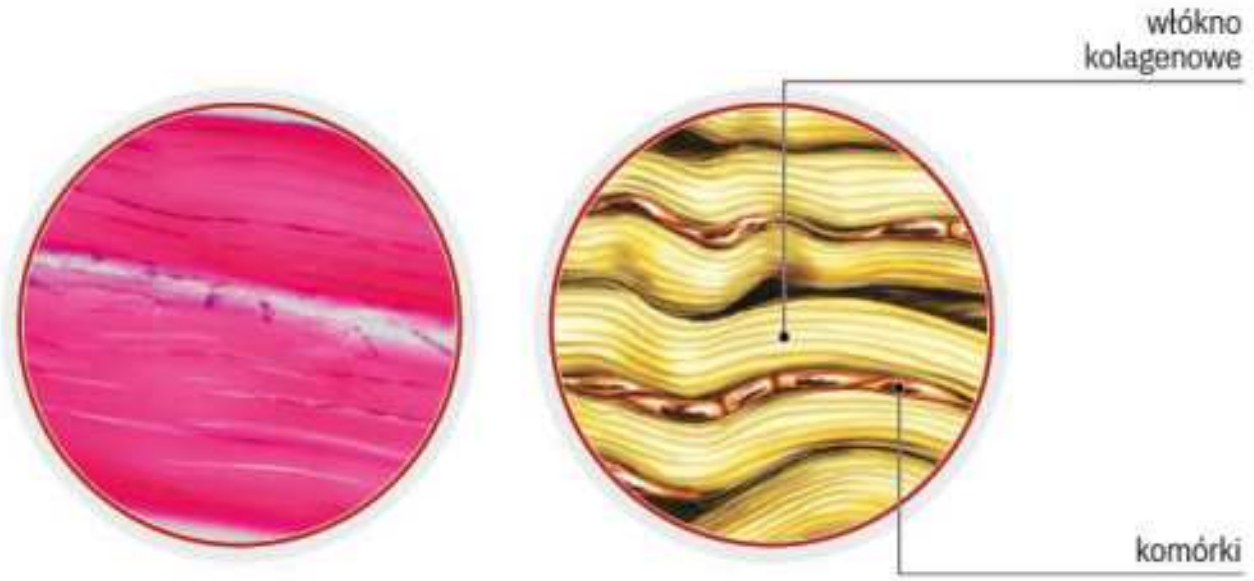
Tkanka właściwa wiotka składa się z różnych rodzajów komórek i dużej ilości substancji podstawowej, zawierającej nieregularnie ułożone włókna kolagenowe, sprężyste i retikulinowe. Dzięki takiej budowie tkanka ta stanowi rusztowanie dla innych tkanek narządów i utrzymuje je we właściwym miejscu. Razem z podskórną tkanką tłuszczową tworzy przyczep skóry do mięśni, dzięki czemu umożliwia elastyczną podporę. W mniejszej ilości tkanka wiotka wypełnia wolne przestrzenie między narządami.



Ryc. II.1.10. Model tkanki właściwej wiotkiej.

Tkanka właściwa zbita

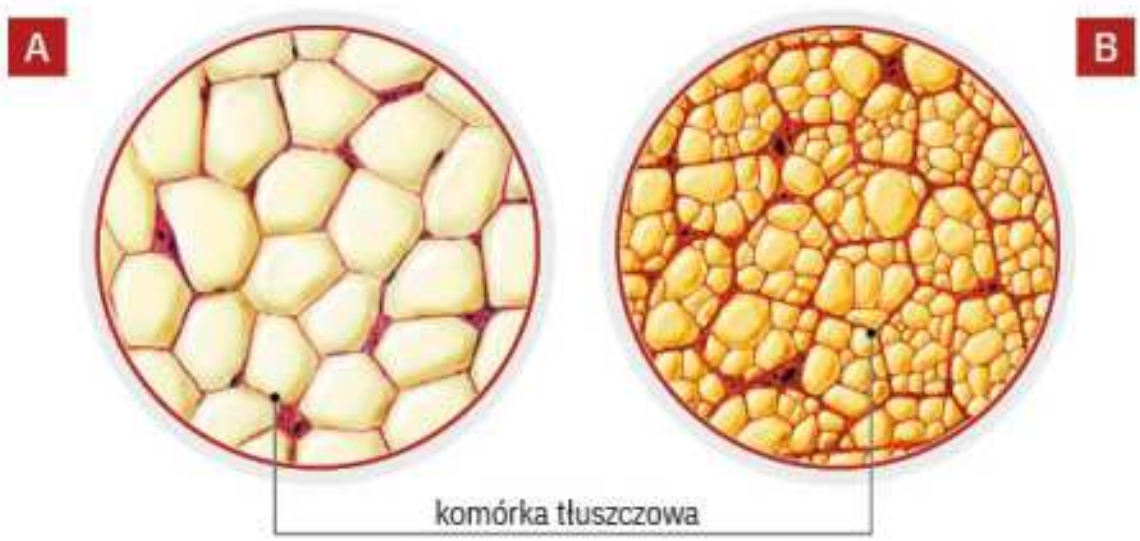
Tkanka właściwa zbita składa się z komórek, niewielkiej ilości substancji podstawowej i dużej ilości włókien, głównie kolagenowych (**ryc. II.1.11.**). Ich obecność nadaje tkance dużą wytrzymałość, a małą elastyczność w porównaniu do tkanki wiotkiej. W związku z tym tkanka buduje skórę właściwą kręgowców (umożliwia silne odkształcanie), występuje w ścięgnach, które łączą mięśnie z kośćmi, i w więzadłach – połączeniach między kośćmi.



Ryc. II.1.11. Model tkanki właściwej zbitej.

Tkanka tłuszczowa

Tkanka tłuszczowa występuje w dwóch postaciach: żółtej i brunatnej. Komórki tkanki żółtej mają jedną dużą wakuolę, w której jest magazynowany tłuszcz (**ryc. II.1.12.**). Znajduje się u zwierząt przede wszystkim pod skórą i w torebkach tłuszczowych wokół narządów wewnętrznych. Pełni funkcję termoizolacyjną i odżywczą oraz amortyzuje wstrząsy.

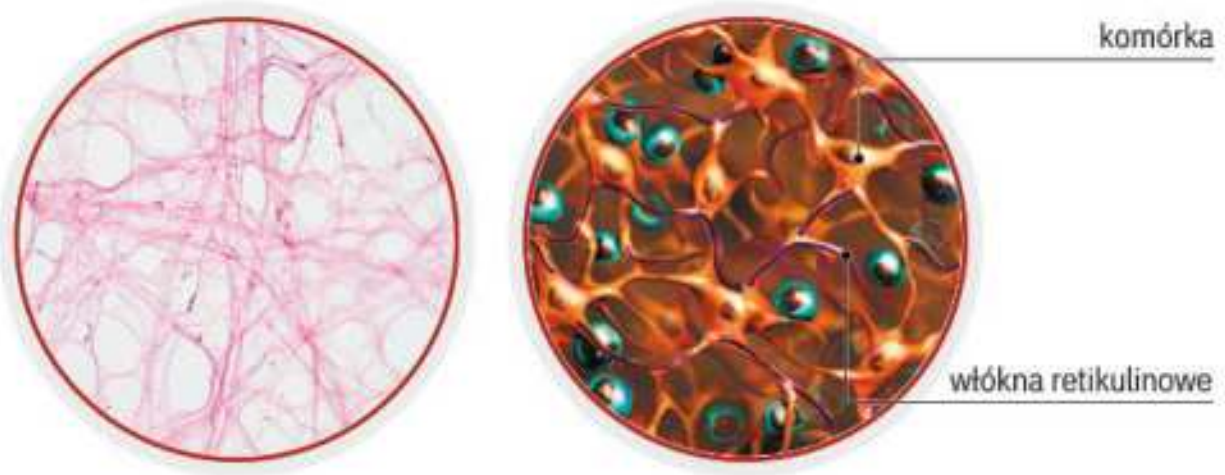


Ryc. II.1.12. Model tkanki tłuszczowej żółtej (A) i brunatnej (B). Komórka wypełniona tłuszczem zwiększa swoją objętość i pęcznieje, a po zużyciu tłuszczu się kurczy.

W komórkach tkanki brunatnej występują liczne wakuole tłuszczowe. U człowieka ta tkanka pojawia się w życiu płodowym i utrzymuje się jeszcze w okresie niemowlęcym. Jej zadaniem jest gromadzenie ciepła. Natomiast u zwierząt tkanka tłuszczowa brunatna występuje u gatunków zapadających w sen zimowy (hibernujących). Do takich zwierząt należą drobne gryzonie lub niewielkie ssaki, które szybko tracą ciepło z powodu dużej powierzchni ciała w stosunku do objętości.

Tkanka siateczkowa

Tkanka siateczkowa składa się z komórek o kształcie gwiaździstym, których wypustki łączą się ze sobą, tworząc przestrzenną sieć. Jej puste miejsca są wypełnione substancją podstawową, bogatą we włókna retikulinowe (**ryc. II.1.13.**).

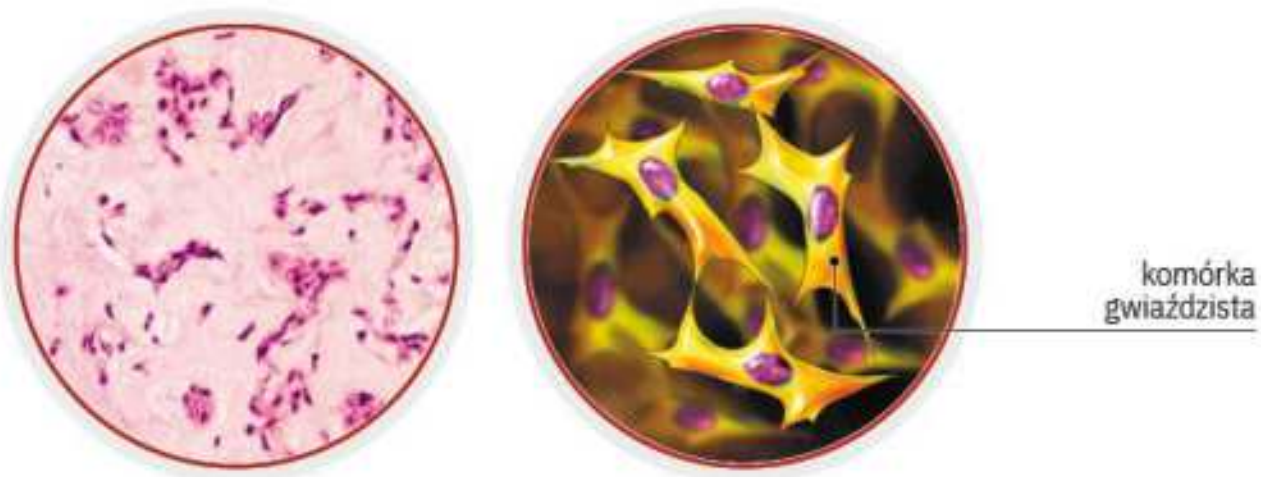


Ryc. II.1.13. Model tkanki siateczkowatej.

Tkanka siateczkowa tworzy zręby dla takich narządów, jak: grasica, wątroba, śledziona, szpik kostny, węzły chłonne.

Tkanka zarodkowa

Tkanka zarodkowa występuje u zwierząt tylko w okresie zarodkowym. Komórki o kształcie gwiaździstym mają charakter totipotencjalny, czyli mogą przekształcać się we wszystkie rodzaje komórek tkanki łącznej (**ryc. II.1.14.**). Komórki za pomocą cienkich wypustek łączą się, a przestrzenie między nimi wypełnia galaretowata substancja podstawowa, pozbawiona włókien białkowych.



Ryc. II.1.14. Model tkanki łącznej zarodkowej.

Tkanki łączne oporowe

tkanki łączne oporowe

Tkanki łączne oporowe stanowią podporę ciała zwierząt oraz ochronę przed urazami mechanicznymi. Występują u kręgowców – zwierząt z wewnętrznym szkieletem osiowym. U bezkręgowców tkanka oporowa spotykana jest tylko u głowonogów, u których buduje chrzęstną puszkę osłaniającą mózg. Ze względu na różnice w budowie i pełnionych funkcjach wyróżnia się tkankę chrzęstną (budującą chrząstkę) oraz kostną (budującą kość).

Tkanka chrzęstna

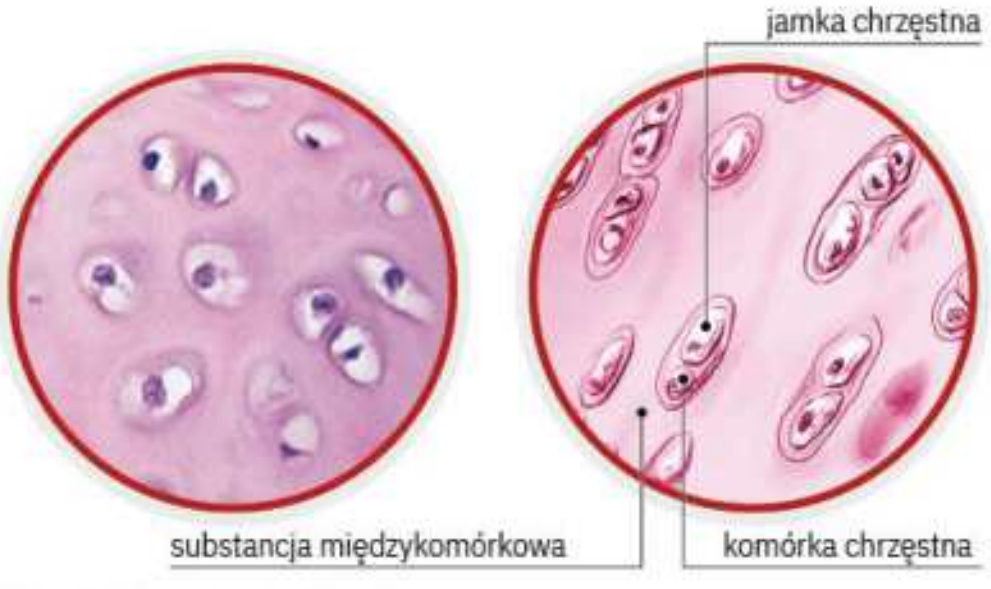
tkanka chrzęstna

Tkanka chrzęstna nie jest unerwiona i unaczyniona. Jej odżywianie odbywa się na drodze dyfuzji. Tkanka ta jest zbudowana z **komórek chrzęstnych** (**chondrocytów**) oraz **substancji międzykomórkowej** (**chondryny**), w której są zanurzone włókna białkowe produkowane przez **komórki chrząstkotwórcze** (**chondroblasty**). Komórki chrzęstne występują pojedynczo lub po kilka w jamkach chrzęstnych i tworzą jednostkę funkcjonalną – **chondron**. W miejscach uszkodzenia mechanicznego chondrocyty przekształcają się w **komórki chrząstkogubne** – **chondroklasty**, które rozpuszczają chrząstkę. Część komórek jednocześnie przekształca się w komórki chrząstkotwórcze, które są odpowiedzialne za przebudowę chrząstki. Wyróżnia się w organizmie zwierząt tkankę chrzęstną szklistą, sprężystą i włóknistą.

Tkanka ta tworzy szkielet wszystkich kręgowców w okresie zarodkowym. W późniejszym okresie zostaje on zastąpiony tkanką kostną. U ryb chrzęstnoszkieletowych i dwudysznych tkanka chrzęstna stanowi budulec szkieletu organizmów dorosłych.

- *Tkanka chrzęstna szklista*

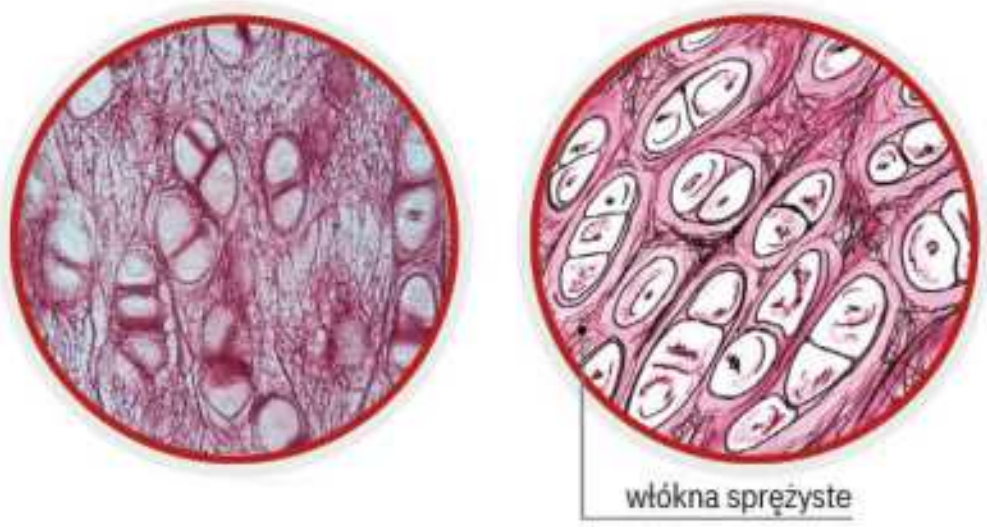
W substancji podstawowej tej tkanki między cienkimi **włóknami kolagenowymi** znajdują się liczne skupiska komórek chrzęstnych (**ryc. II.1.15.**). Daje to odporność na ścieranie i dlatego w szkielecie dorosłego człowieka tkanka ta buduje powierzchnie stawowe i przymostkowe części żeber. Występuje również w części chrzęstnej nosa, nagłośni i w oskrzelach. Stopniowo ulega kostnieniu (mineralizacji).



Ryc. II.1.15. Model tkanki chrzęstnej szklistej.

- *Tkanka chrzęstna sprężysta*

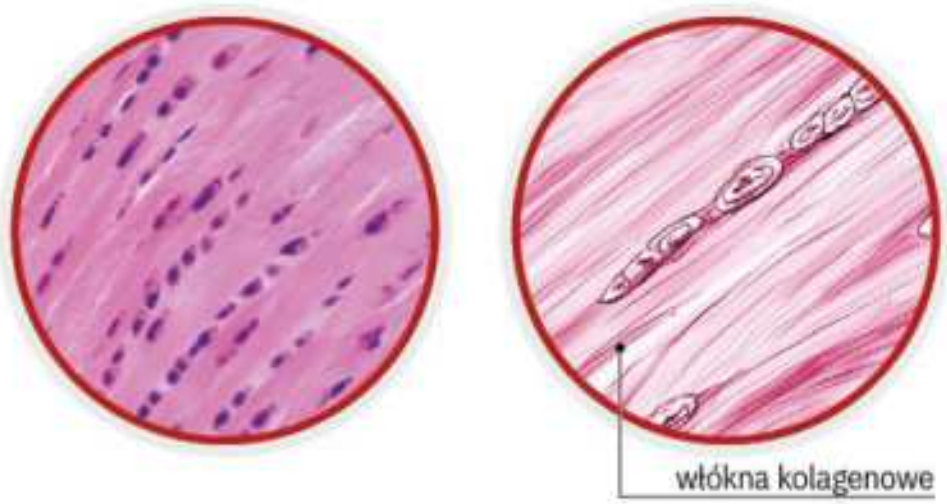
Tkanka chrzęstna sprężysta zawiera w istocie podstawowej dużą ilość **włókien sprężystych** nadających tkance elastyczność (**ryc. II.1.16.**). Występuje w małżowinie usznej, a także współtworzy część chrząstek krtani i nagłośni. Jako jedyna tkanka chrzęstna nie ulega mineralizacji.



Ryc. II.1.16. Model tkanki chrzęstnej sprężystej.

- *Tkanka chrzęstna włóknista*

Tkanka ta w substancji podstawowej ma liczne grube **włókna kolagenowe** z niewielką ilością włókien sprężystych. Dlatego jest wytrzymała na rozerwanie i zgniatanie. Występuje w miejscach przyczepu mięśni do kości, buduje spojenie łonowe oraz dyski międzykręgowe w kręgosłupie (**ryc. II.1.17.**).



Ryc. II.1.17. Model tkanki chrzęstnej włóknistej.

Tkanka kostna

Tkanka kostna powstaje na drodze kostnienia tkanki chrzęstnej szklistej lub w nieznacznym stopniu tkanki łącznej właściwej. U większości kręgowców buduje szkielet ostateczny. W przeciwieństwie do tkanki chrzęstnej w tkance kostnej

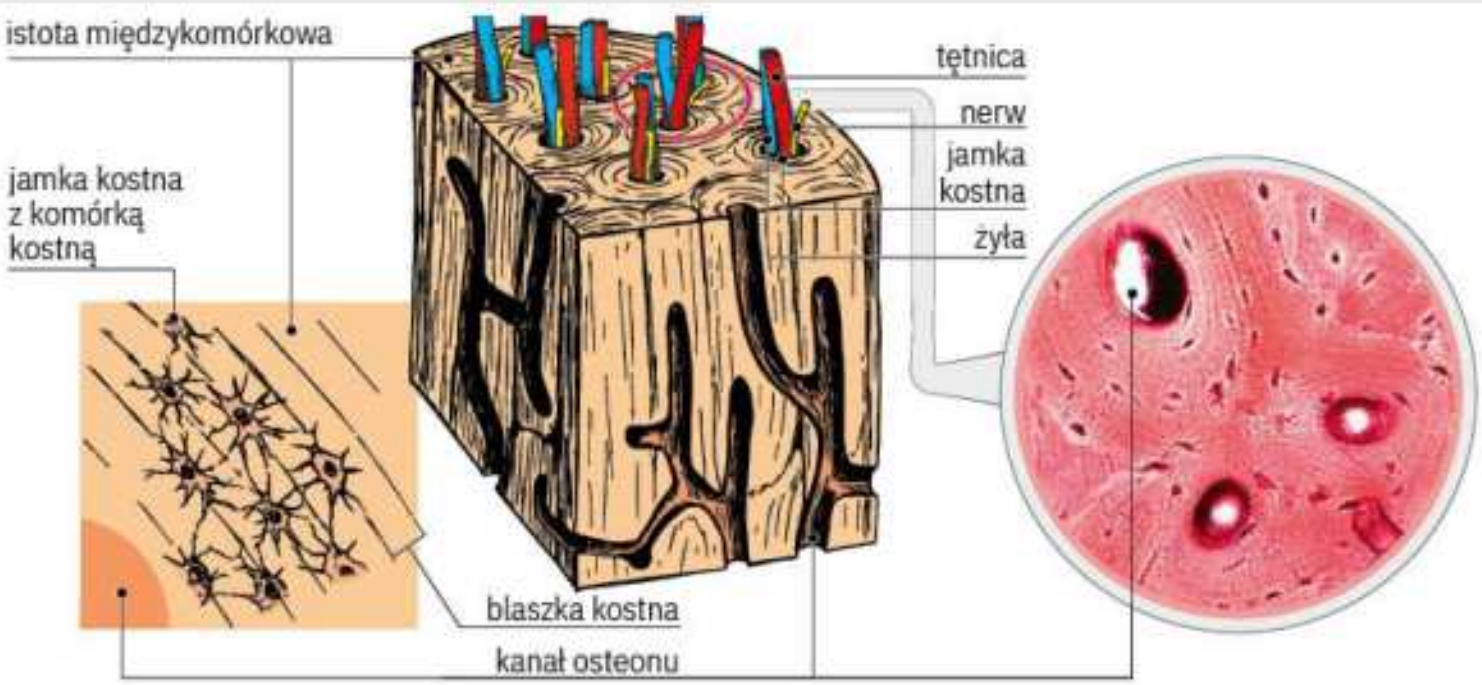
przebiegają naczynia krwionośne, które zaopatrują komórki tkanki w tlen i substancje odżywcze, a jednocześnie usuwają z nich zbędne produkty przemiany materii. Tkanka pełni wiele funkcji wynikających z jej budowy: podporową, osłaniającą narządy miękkie, zapasową dla jonów, głównie wapniowych, a także krwiotwórczą.

Kolagenowa substancja międzykomórkowa – **osseina** – jest przesycona **solami mineralnymi** (m.in. fosforanem wapnia i magnezu, węglanem wapnia). Sole mineralne nadają tkance twardość, co czyni ją odporną na ścieranie. Z kolei dzięki obecności włókien kolagenowych tkanka jest elastyczna. W substancji międzykomórkowej występują liczne **jamki kostne** połączone kanalikami kostnymi. W każdej jamce znajduje się **komórka kostna** (**osteocyt**), która kontaktuje się z innymi komórkami kostnymi za pomocą wypustek cytoplazmatycznych. Z komórek kostnych powstają **blaszki kostne**. Poza osteocytami w tkance kostnej występują komórki **kościogubne** – **osteoklasty**, które rozpuszczają martwą tkankę lub jej ubytki, oraz komórki **kościotwórcze** – **osteoblasty uzupełniające ubytki bądź odpowiadające za regenerację fragmentów kostnych**. Składniki organiczne u człowieka stanowią około 30% masy kości, a związki mineralne – około 70%. Wraz z wiekiem zmniejsza się w kościach zawartość związków organicznych, a wzrasta ilość związków nieorganicznych. Z tego powodu kości ludzi w starszym wieku są kruche i częściej mogą się łamać. Ze względu na sposób ułożenia blaszek kostnych wyróżnia się dwa rodzaje tkanki kostnej: zbitą i gąbczastą.

komórka kostna (osteocyt)

- *Tkanka kostna zbita*

W tej tkance kostnej zbitej blaszki kostne układają się koncentrycznie wokół centralnie położonego kanału Haversa, przez który przechodzą naczynia krwionośne, limfatyczne i nerwy (**ryc. II.1.18.**). Tworzy to podstawową jednostkę budulcową tkanki kostnej – **osteon**. Między osteonami znajduje się istota międzykomórkowa. Tkanka kostna zbita buduje m.in. trzony kości długich, zewnętrzne warstwy kości płaskich, a w czaszce współtworzy kości osłaniające mózg.

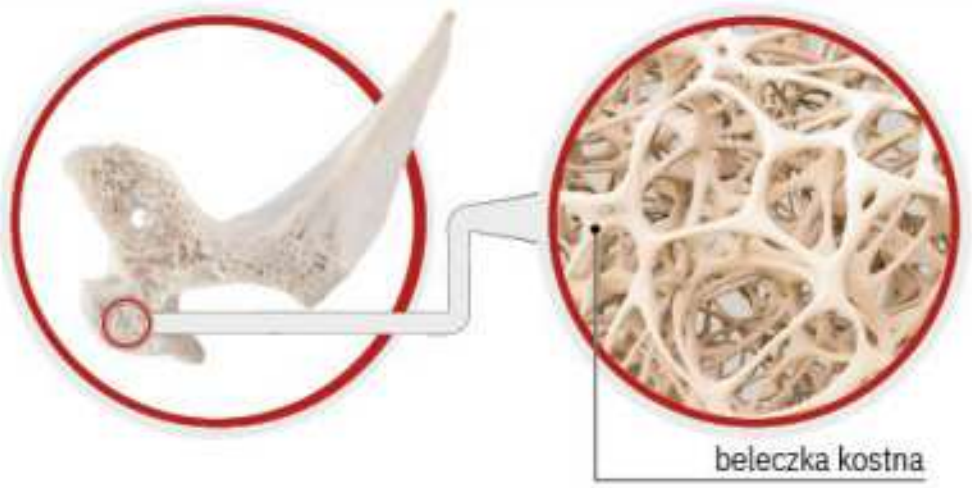


Ryc. II.1.18. Model tkanki kostnej zbitej.

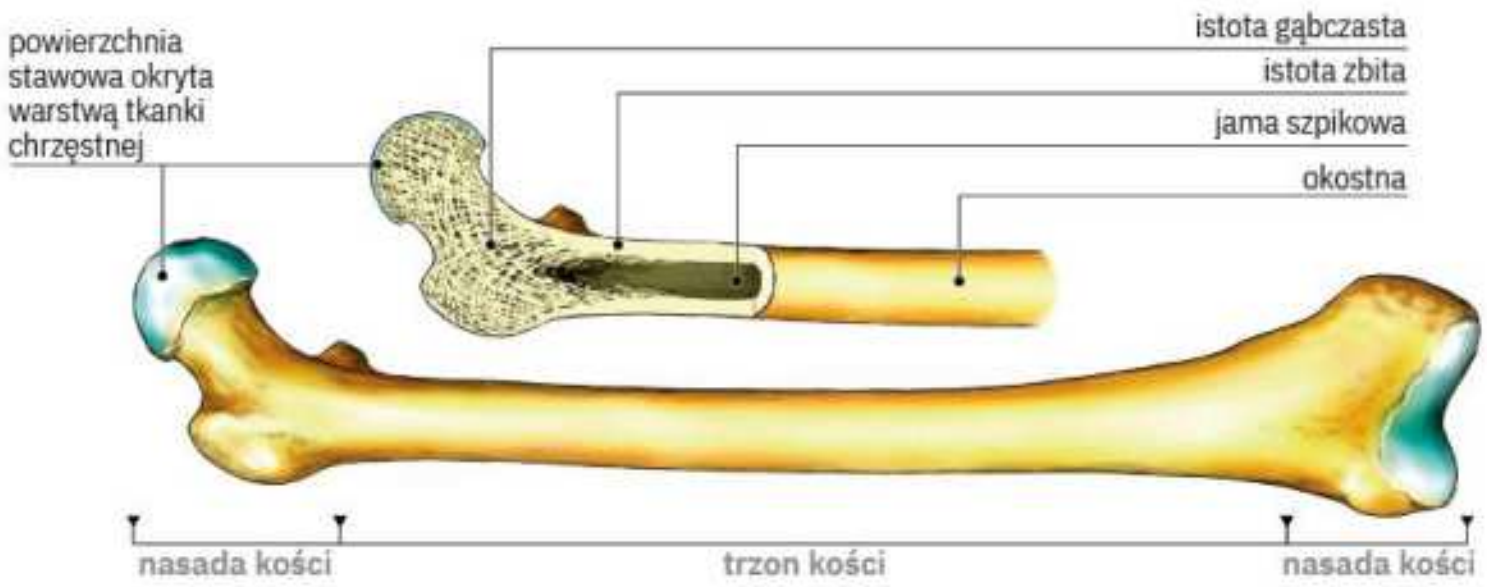
- *Tkanka kostna gąbczasta*

beleczki kostne

W porównaniu z tkanką zbitą tkanka kostna gąbczasta ma budowę mniej zwartą. Jej podstawę tworzą **beleczki kostne** utworzone z blaszek kostnych, które są ułożone w gęstą sieć przestrzenną. Przypomina to strukturę gąbki kąpielowej (stąd określenie – gąbczasta; **ryc. II.1.19**.). Taka ażurowa struktura amortyzuje przeciążenia i dlatego tkanka kostna gąbczasta buduje nasady kości długich oraz wnętrze kości płaskich (**ryc. II.1.20.**). Wewnątrz kości znajduje się jama szpikowa wypełniona szpikiem kostnym. W niektórych kościach jest to szpik żółty stanowiący główny zapas tłuszczu. W jamach szpikowych kości długich i płaskich oraz w przestrzeniach między beleczkami kostnymi znajduje się szpik czerwony odpowiedzialny za powstawanie składników krwi. Na zewnątrz kość pokrywa łącznotkankowa błona – okostna – zaopatrzona w liczne naczynia krwionośne i nerwy. Do jej zadań należy zaopatrywanie kości w tlen i składniki odżywcze. Za regenerację kości są odpowiedzialne komórki kościotwórcze i kościogubne. Komórki kościogubne rozpuszczają kość w miejscu jej uszkodzenia, a komórki kościotwórcze uzupełniają powstałe ubytki.



Ryc. II.1.19. Model tkanki kostnej gąbczastej.

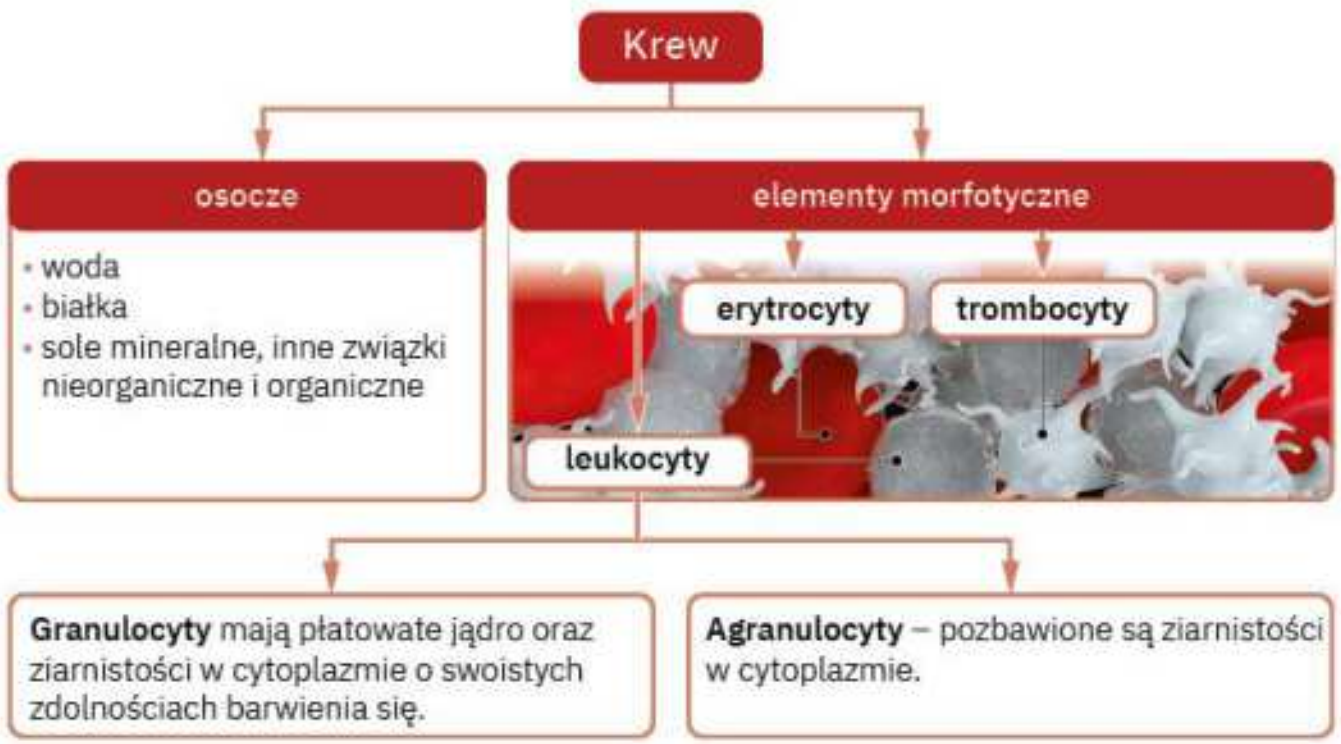


Ryc. II.1.20. Lokalizacja istoty zbitej i gąbczastej w kości długiej.

Krew w organizmie zwierząt spełnia funkcję:

- oddechową – poprzez transport tlenu z płuc do wszystkich komórek ciała;
- odżywczą – zaopatruje wszystkie komórki w substancje budulcowe i energetyczne;
- wydalniczą – poprzez transport zbędnych i szkodliwych produktów przemiany materii: dwutlenku węgla i związków azotu;
- immunologiczną – uczestniczy w reakcjach odpornościowych organizmu;
- termoregulacyjną – rozprowadza ciepło po organizmie i pozwala na utrzymanie stałej temperatury ciała.

Funkcje krwi wynikają z jej budowy. Krew składa się z substancji podstawowej – nieupostaciowanego **osocza** (ok. 55% objętości krwi) oraz zawieszonych w nim komórek – **elementów morfotycznych krwi** (ok. 45% objętości krwi) (**ryc. II.1.21.**). W skład osocza – lekko żółtej cieczy – wchodzą: woda (ok. 90%), związki nieorganiczne (ok. 1%) oraz związki organiczne (ok. 9%). Związki nieorganiczne to głównie jony sodu, potasu, magnezu, wapnia i chloru oraz wodorowęglany. Odpowiadają one za utrzymanie równowagi osmotycznej i stałego pH krwi. Wśród związków organicznych osocza występują przede wszystkim białka: **albuminy** transportujące jony wapnia, barwniki żółciowe oraz kwasy tłuszczowe buforujące krew (utrzymujące stałe pH), **immunoglobuliny** odpowiedzialne za reakcje odpornościowe organizmu przez wytwarzanie przeciwciał, a także **fibrynogen** biorący udział w krzepnięciu krwi. Oprócz białek w skład osocza wchodzą substancje odżywcze dostarczane do komórek (np. glukoza, aminokwasy, witaminy) oraz zbędne produkty przemiany materii, m.in. mocznik, kwas moczowy, a także hormony. Osocze pozbawione fibrynogenu nosi nazwę **surowicy krwi**.



Ryc. II.1.21. Składniki krwi.

Składniki morfotyczne krwi

We krwi człowieka występują trzy rodzaje **elementów morfotycznych**: erytrocyty (krwinki czerwone), leukocyty (krwinki białe) i płytki krwi (trombocyty). Krwinki czerwone, czyli **erytrocyty**, mają kształt dwuwklęsłych krążków, a ich czerwone zabarwienie wynika z obecności **hemoglobiny** – barwnika rozpuszczonego w cytoplazmie. Liczba erytrocytów we krwi mężczyzny wynosi około 5,4 mln/mm^3, we krwi kobiety – około 4,5 mln/mm^3, natomiast u noworodka to około 7 mln/mm^3.

Ilość erytrocytów jest cechą gatunkową i zmienia się w zależności od wielu czynników, np. wieku, płci, rodzaju spożywanych pokarmów czy wysokości, na której przebywamy. W górach powietrze wraz ze wzrostem wysokości nad poziomem morza staje się rzadsze i spada w nim zawartość tlenu. Dlatego w organizmie człowieka tam przebywającego wzrasta ilość erytrocytów, co oznacza, że więcej tlenu dotrze do każdej komórki ciała. Dojrzałe erytrocyty człowieka (i pozostałych ssaków; **ryc. II.1.22.**) nie mają jądra komórkowego i większości organelli komórkowych, co zmniejsza wyraźnie koszty ich metabolizmu i dzięki temu mogą one transportować tlen i częściowo dwutlenek węgla. Erytrocyty żyją stosunkowo krótko – około 120 dni. Powstają w czerwonym szpiku kostnym niektórych kości (kręgi, łopatki, mostek, żebra, kości czaszki), a rozkładają się w śledzionie i wątrobie.

Ryc. II.1.22. U ssaków dojrzałe erytrocyty są pozbawione jądra komórkowego. Wyjątek stanowią daniele, wielbłądy oraz lamy, u których krwinki czerwone mają jądro komórkowe.

Krwinki białe, czyli **leukocyty**, są najbardziej zróżnicowaną pod względem budowy grupą morfotyczną krwi. Ich liczba u człowieka wynosi 5–10 tys./mm^3 i często się zmienia, np. podczas choroby zakaźnej czy nowotworowej. Leukocyty są bezbarwne (widoczne w mikroskopie po odpowiednim barwieniu), o kształcie kulistym lub owalnym. Niektóre z nich tworzą wypustki, za pomocą których mogą ruchem pełzakowatym przedostawać się ze światła naczynia krwionośnego do tkanek. Są większe od erytrocytów i mają jądro komórkowe oraz organelle komórkowe. Leukocyty powstają u człowieka głównie w czerwonym szpiku kostnym, ale także w układzie limfatycznym (grasica, śledziona), a rozkładają się w śledzionie. Czas ich życia wynosi od kilku dni do kilku lat (w wypadku komórek pamięci immunologicznej). Leukocyty biorą udział w reakcjach obronnych organizmu.

Wyróżnia się dwa rodzaje leukocytów: granulocyty i agranulocyty. **Granulocyty** mają ziarnistości w cytoplazmie (o specyficznych zdolnościach do barwienia) oraz duże płatowate jądro. Ziarnistości wchodzą w reakcje z barwnikami i z tego względu granulocyty dzieli się na granulocyty obojętnochłonne, kwasochłonne oraz zasadochłonne. Największy udział w ogólnej liczbie leukocytów mają **obojętnochłonne** – stanowią 60–70%.

Agranulocyty nie mają ziarnistości w cytoplazmie w porównaniu z granulocytami. Mają duże, wypełniające prawie całą cytoplazmę jądro komórkowe kształtu kuli-

stego lub nerkowatego. Agranulocyty dzieli się na limfocyty i monocyty. **Limfocyty** stanowią 25–35% ogólnej liczby leukocytów. Należą do nich **limfocyty T** żyjące do kilku lat oraz **limfocyty B**, które żyją dość krótko – do 10 dni (z wyjątkiem komórek pamięci immunologicznej).

Monocyty są największymi komórkami krwi. Stanowią one 4–6% ogólnej liczby leukocytów. Mają duże jądra o kształcie nerkowatym. Odznaczają się zdolnością do ruchu pełzakowatego. Monocyty produkują **interferon** – białko hamujące namnażanie się wirusów. Żyją dość krótko – od 3 do 5 dni.

Trombocyty (płytki krwi)

Trombocyty są bezbarwnymi, najmniejszymi elementami morfotycznymi krwi. U kręgowców są jednojądrowymi komórkami o owalnym kształcie. Jedynie u ssaków powstają jako oderwane różnokształtne fragmenty dużych komórek szpiku kostnego. Podobnie jak erytrocyty nie mają jądra komórkowego. Ich liczba u człowieka wynosi 200–400 tys./mm^3. Żyją dość krótko (8–10 dni), a jeśli nie zostaną wykorzystane, są usuwane w wątrobie i śledzionie. Trombocyty uczestniczą w procesie krzepnięcia krwi.

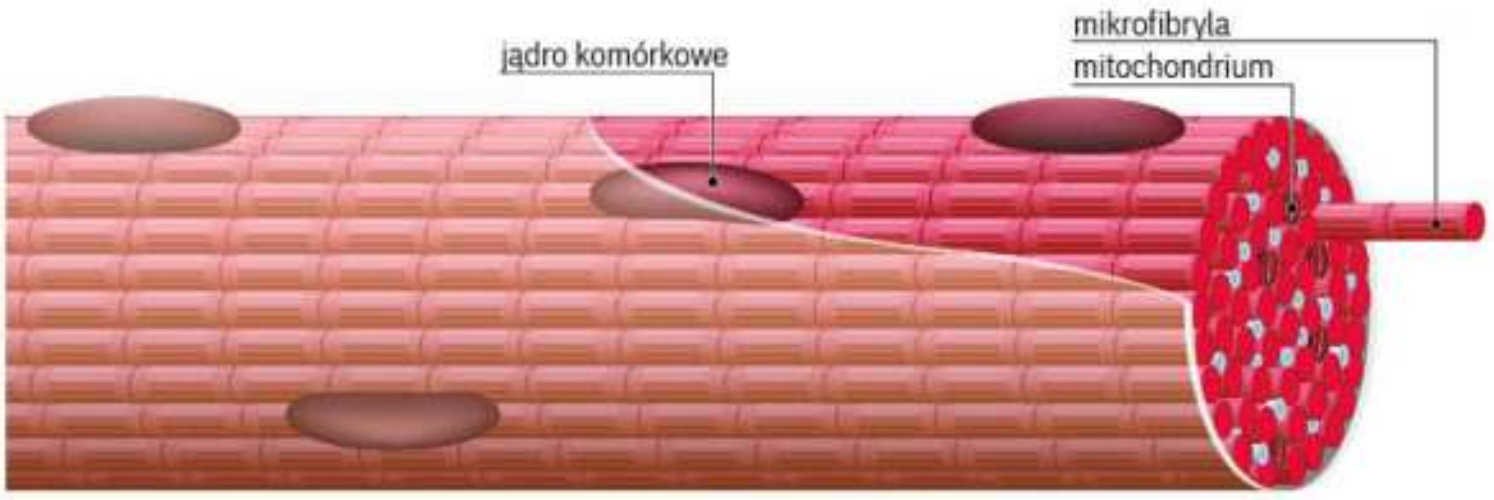
Limfa (chłonka)

Limfa powstaje jako przesącz składników krwi przez naczynia krwionośne do przestrzeni międzykomórkowych innych tkanek. Skład limfy jest bardzo zbliżony do osocza krwi, zawiera jednak mniej substancji wielkocząsteczkowych, takich jak białka. W limfie znajdują się duże ilości limfocytów oraz tłuszczów pokarmowych, nadających jej żółtawe zabarwienie. Naczynia, przez które przepływa limfa, nazywamy naczyniami limfatycznymi. Limfa bierze udział w reakcjach odpornościowych organizmu.

Tkanka mięśniowa

◂ tkanka mięśniowa

Podstawową cechą tkanki mięśniowej jest jej zdolność do aktywnego kurczenia się, która pozwala na wykonywanie ruchów. Wynika to z odpowiedniej budowy tkanki mięśniowej złożonej z komórek mięśniowych o wydłużonym kształcie. Takie komórki nazywa się włóknem mięśniowym. W cytoplazmie włókna oprócz typowych organelli komórki eukariotycznej znajdują się kurczliwe białka tworzące filamenty – cienkie, zbudowane z białka **aktyny**, oraz grube, które tworzy białko **miozyna** (**ryc. II.1.23.**).



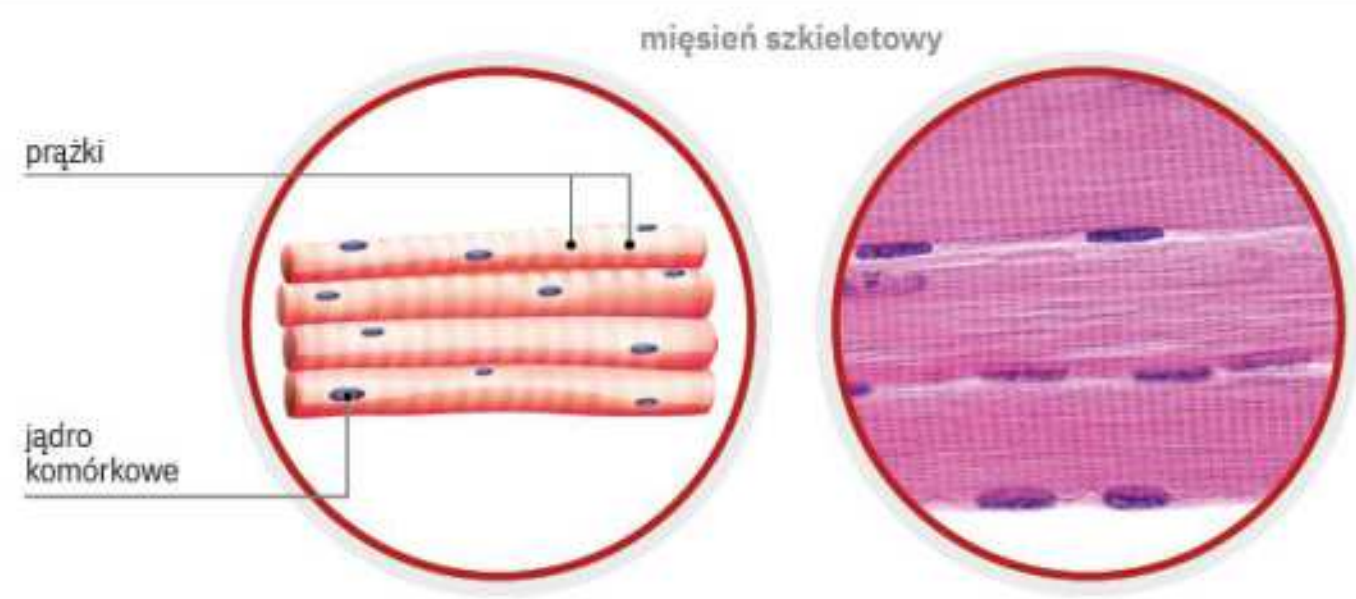
Ryc. II.1.23. Schemat organizacji włókna mięśnia poprzecznie prążkowanego.

Z filamentów miozynowych i aktynowych powstają większe jednostki – **miofibryle** (włókienka kurczliwe), które zebrane w pęczki składają się na włókna mięśniowe. Włókno mięśniowe może zawierać do kilkunastu pęczków miofibryli. **Włókna mięśniowe** łączą się w pęczki, tworząc **mięsień**.

W zależności od budowy i funkcjonowania włókien mięśniowych wyróżnia się u kręgowców tkankę mięśniową poprzecznie prążkowaną szkieletową, tkankę poprzecznie prążkowaną serca i tkankę mięśniową gładką.

Tkanka mięśniowa poprzecznie prążkowana szkieletowa

Włókna mięśniowe tkanki poprzecznie prążkowanej szkieletowej mają kształt cylindryczny i osiągają długość nawet do kilkudziesięciu centymetrów. Powstają w wyniku łączenia się wielu pojedynczych komórek mięśniowych, dlatego mają wiele jąder komórkowych rozmieszczonych peryferycznie – na obrzeżach. W miofibrylach tych mięśni układ filamentów cienkich i grubych jest bardzo regularny, na jednym poziomie. Pod mikroskopem daje to obraz charakterystycznego poprzecznego prążkowania. Praca tych mięśni wymaga zużycia dużej ilości energii, dlatego mają one dużą liczbę mitochondriów, a tym samym zapotrzebowanie na tlen – w związku z tym są dobrze ukrwione i unaczynione. Wykonują szybkie skurcze zależne od woli osobnika. Budują mięśnie szkieletowe człowieka i pozostałych kręgowców.

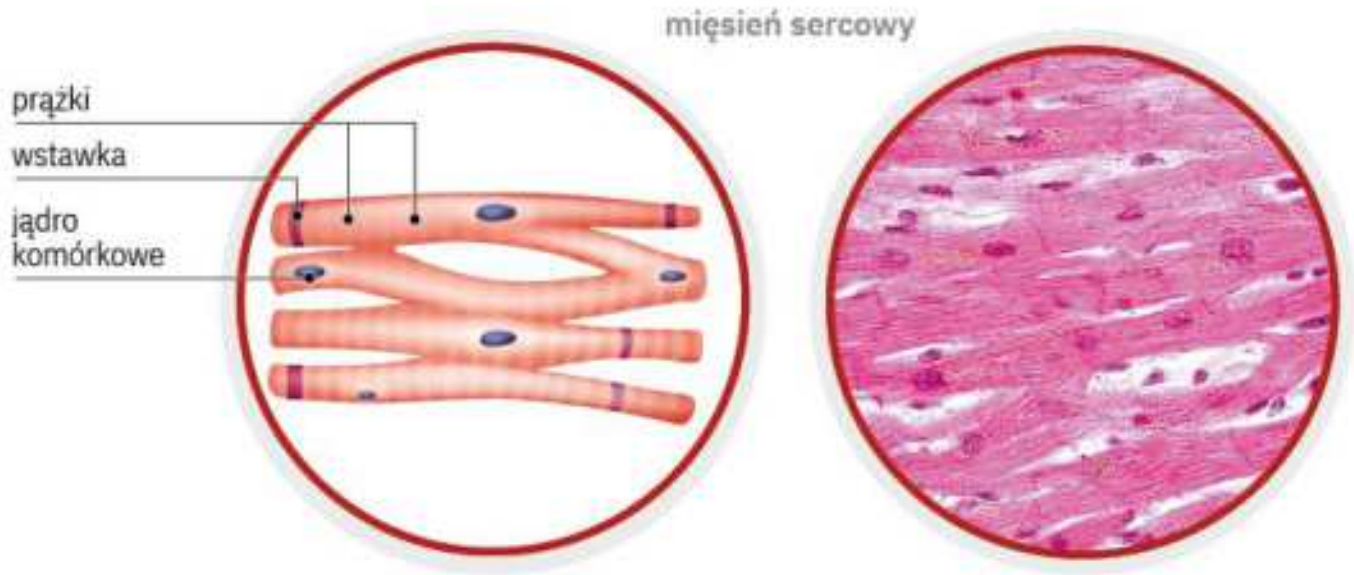


Ryc. II.1.24. Model tkanki poprzecznie prążkowanej szkieletowej.

Tkanka mięśniowa poprzecznie prążkowana serca

Tkanka mięśniowa poprzecznie prążkowana serca kręgowców jest zbudowana z widlasto rozgałęziających się komórek, wykazujących poprzeczne prążkowanie. Komórki łączą się ze sobą za pomocą wstawek i tworzą przestrzenną sieć. Pozwala to na zmniejszanie się objętości jam serca podczas skurczu i jego pracę we wszystkich trzech wymiarach. Centralnie w komórkach znajdują się jedno jądro lub dwa jądra komórkowe oraz duża liczba mitochondriów. Tkanka poprzecznie prążkowana serca jest dobrze ukrwiona i unerwiona, a jej praca nie zależy od woli osobnika.

Jednak możemy na nią wpływać pośrednio, np. w czasie stresującej sytuacji czy intensywnego wysiłku fizycznego.

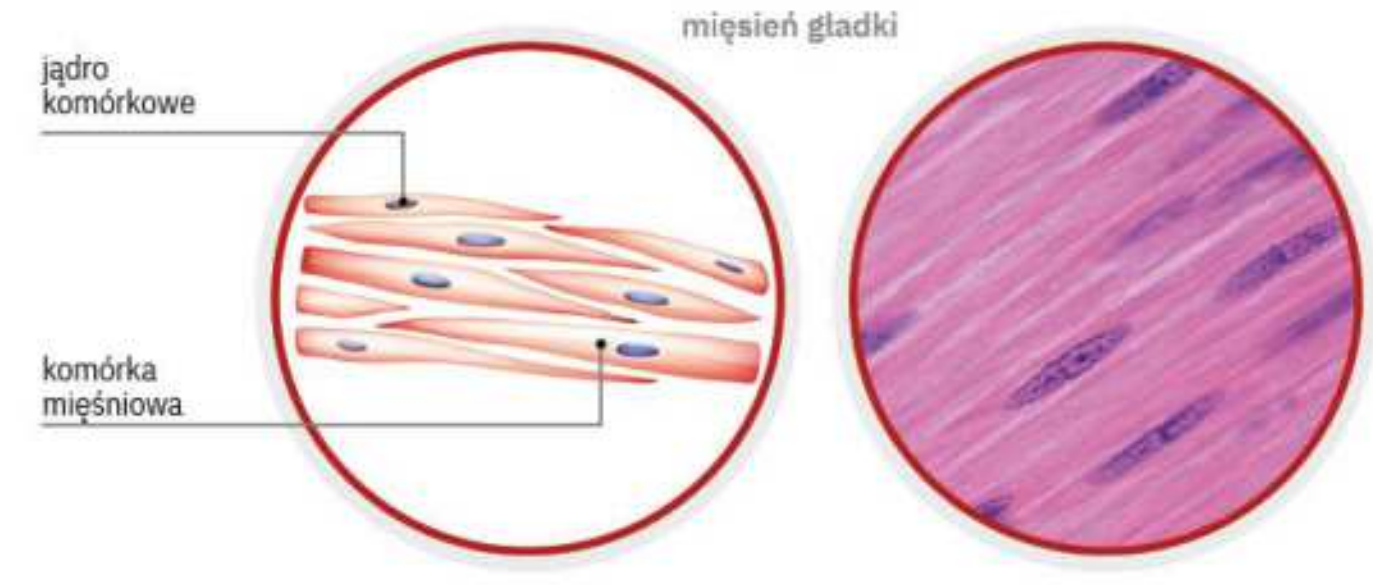


Ryc. II.1.25. Model tkanki poprzecznie prążkowanej serca.

Tkanka mięśniowa gładka

Tkanka mięśniowa gładka kręgowców jest zbudowana z wrzecionowatych komórek. Mają one jedno jądro położone centralnie, a w ich cytoplazmie znajdują się liczne miofibryle. Nieregularne ułożenie filamentów cienkich i grubych podczas obserwacji pod mikroskopem nie daje efektu poprzecznego prążkowania. Tkanka ta jest słabo unaczyniona, a jej powolne skurcze nie zależą od woli osobnika. Tkanka mięśniowa gładka buduje ściany narządów wewnętrznych, m.in. żołądka, jelit, ścian naczyń krwionośnych.

U bezkręgowców – płazińców, nicieni i pierścienic – tkanka mięśniowa umożliwia poruszanie się tych zwierząt. Buduje wór powłokowo-mięśniowy i ściany narządów wewnętrznych.



Ryc. II.1.26. Model tkanki mięśniowej gładkiej.

tkanka nerwowa i glejowa

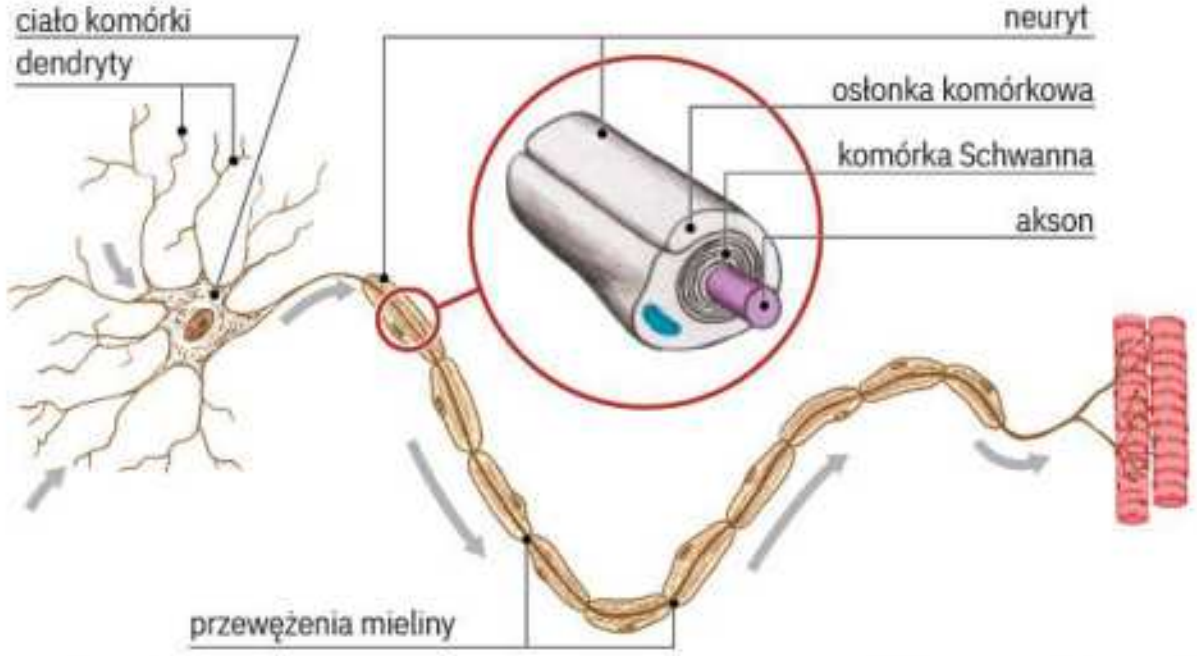
Tkanka nerwowa i glejowa

W skład **tkanki nerwowej** wchodzą komórki nerwowe – neurony, które odbierają bodźce ze środowiska zewnętrznego i wewnętrznego. Typowy **neuron** jest zbudowany z ciała komórki (perykarionu) oraz dwóch wypustek cytoplazmatycznych – **dendrytów** i **neurytów** (aksonów) (**ryc. II.1.27.**).

W cytoplazmie ciała komórki nerwowej znajdują się jądro komórkowe z otaczającą je cytoplazmą oraz wszystkie organelle komórki eukariotycznej. Pierwszy rodzaj wypustek to **dendryty** – krótkie, rozgałęziające się wypustki odbierające i przekazujące impuls nerwowy do ciała komórki. **Neuryt** (akson) to pojedyncza długa wypustka nerwowa (może osiągnąć długość ok. 1 m), która przekazuje impuls nerwowy od ciała komórki nerwowej do innego neuronu, włókna mięśniowego lub gruczołu.

włókna nerwowe

Długie wypustki nerwowe, których zakończenia znajdują się w znacznej odległości od ciała komórki nerwowej, tworzą **włókna nerwowe**. Neuryty są często bardzo długie – osiągają nawet do kilkudziesięciu centymetrów długości. Z tego powodu muszą być odpowiednio chronione i izolowane przez osłonki nerwowe – mielinowe (rdzenne) – i komórkowe (dawniej Schwanna, czytaj: szwana). Neuryty przewodzące impulsy, np. z rdzenia kręgowego do mięśni szkieletowych, są otoczone osłonką mielinową i komórkową. Osłonki powstają ze specjalnych komórek owijających się wokół aksonu. Wewnętrzna osłonka jest zbudowana z mieliny – substancji bogatej w tłuszcze i cholesterol. Wokół osłonki mielinowej znajduje się osłonka komórkowa.

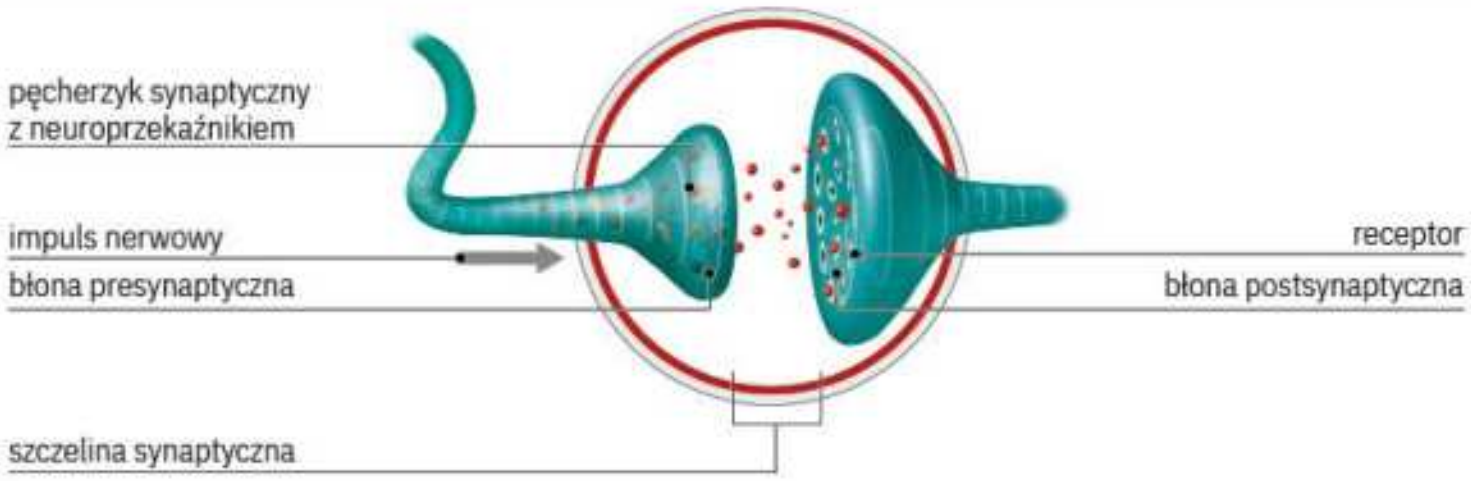


Ryc. II.1.27. Model budowy dwuosłonkowego neuronu ruchowego. Strzałki wskazują kierunek przewodzenia impulsów nerwowych.

impuls nerwowy

Miejsce połączenia między neuronami lub neuronami a innymi komórkami organizmu nazywamy **synapsą** (**ryc. II.1.28.**). Synapsa pozwala na przekazywanie **impulsu nerwowego**. Gdy impuls nerwowy dotrze do zakończenia neurytu (**błony presynaptycznej**), następuje uwalnianie z pęcherzyka synaptycznego **neuroprzekaźnika** – substancji chemicznej (np. acetylocholiny, noradrenaliny). Substancja

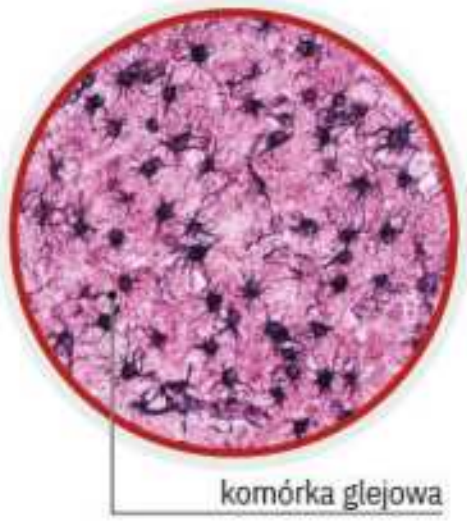
ta dyfunduje przez szczelinę synaptyczną do receptora w **błonie postsynaptycznej**. Połączenie z receptorem skutkuje powstaniem impulsu nerwowego w kolejnej komórce nerwowej. Jeśli przekazywanie impulsu nerwowego następuje między dwoma neuronami, to taki rodzaj synapsy określa się jako **synapsę nerwowo-nerwową**. Jeżeli aksony przekazują impulsy do komórek mięśniowych, wówczas występuje **synapsa nerwowo-mięśniowa**, a jeżeli do komórek gruczołowych – **synapsa nerwowo-gruczołowa**.



Ryc. II.1.28. Mechanizm przekazywania impulsu nerwowego. Strzałka wskazuje kierunek przewodzenia impulsu nerwowego.

Przerwy w osłonce mielinowej nazywa się **przewężeniami Ranviera** (czytaj: ranwiera). Dzięki nim zwiększa się szybkość przewodzenia impulsów nerwowych – między kolejnymi odcinkami osłonki przemieszczają się one skokowo i mogą osiągnąć prędkość do 120 m/s. Obecność dwóch osłonek, z których wewnętrzna działa jak dobry izolator elektryczny, umożliwia przemieszczanie się impulsów na duże odległości. We włóknach niezawierających osłonki mielinowej, bez właściwości izolacyjnych szybkość przewodzenia impulsów jest znacznie wolniejsza (ok. 4 m/s).

Zdolności do regeneracji tkanki nerwowej są bardzo niewielkie. Komórki nerwowe nie dzielą się, z wyjątkiem odtworzenia utraconych fragmentów neurytu. Dlatego tkance nerwowej towarzyszy **tkanka glejowa**, która dostarcza substancji odżywczych, odgranicza tkankę nerwową od innych tkanek i narządów oraz wypełnia miejsca po jej uszkodzeniach (**ryc. II.1.29.**).



Ryc. II.1.29. Komórki tkanki glejowej. Liczba komórek glejowych jest dziesięciokrotnie większa niż neuronów w układzie nerwowym człowieka.

Obserwacja

Obserwacja mikroskopowa preparatów trwałych tkanek zwierzęcych

Przygotuj dostępne w pracowni biologicznej trwałe preparaty następujących tkanek: nabłonkowej, łącznej, mięśniowej i nerwowej. Narysuj w zeszycie oglądane preparaty mikroskopowe. Wskaż cechy charakterystyczne budowy poszczególnych tkanek i opisz ich powiązanie z wykonywaną funkcją.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Opracuj i narysuj w zeszycie graf przedstawiający podzial tkanki nabłonkowej ze względu na budowę i pełnione funkcje.
2. Porównaj znaczenie tkanki łącznej tłuszczowej w życiu człowieka i zwierząt.
3. Porównaj funkcje tkanki kostnej zbitej i gąbczastej, uwzględniając różnice w ich budowie.
4. Do tkanek chrzęstnych zaliczamy chrząstkę szklistą, sprężystą i włóknistą. Podaj, która z nich nie ulega mineralizacji. Uzasadnij swoją odpowiedź.
5. Podaj cechy pozwalające zaliczyć krew do tkanek łącznych.
6. Narysuj w zeszycie tabelę, w której porównasz budowę i funkcje tkanek mięśniowych.
7. Wyjaśnij, jaką funkcję w przewodzeniu impulsów nerwowych pełni osłonka mielinowa.

PODSUMOWANIE LEKCJI

s. 104 ▸
- W powstaniu tkanek biorą udział trzy **listki zarodkowe**: ektoderma, endoderma i mezoderma.

s. 104 ▸
- W organizmie człowieka występują cztery podstawowe **tkanki**: nabłonkowa, łączna, mięśniowa i nerwowa.

s. 105 ▸
- Ze względu na kształt i rozmieszczenie wyróżnia się **nabłonek jednowarstwowy** (płaski, sześcienny, walcowaty, wielorzędowy) oraz **wielowarstwowy** (płaski).

s. 109 ▸
- Najbardziej zróżnicowaną pod względem budowy i funkcji jest **tkanka łączna**. Wyróżnia się tkankę łączną właściwą, tłuszczową, oporową (chrzęstną szklistą, sprężystą, włóknistą oraz kostną zbitą i gąbczastą), płynną (krew i limfa). Najważniejsze funkcje tkanki łącznej to funkcje: podporowa, transportowa i obronna organizmu.

- **Tkanka mięśniowa** dzieli się na mięśniową poprzecznie prążkowaną szkieletową, poprzecznie prążkowaną serca i gładką. Włókna mięśniowe (komórki mięśniowe) są zbudowane z kurczliwych białkowych miofibryli, które zapewniają tkance zdolność do skurczu. ◂ s. 119
- **Tkankę nerwową** budują neurony, zdolne do przekazywania impulsu nerwowego komórki nerwowe, oraz komórki glejowe, pełniące funkcje ochronne i odżywcze. ◂ s. 122
- Przekazywanie **impulsów nerwowych** zachodzi dzięki połączeniom – synapsom (nerwowo-nerwowym, nerwowo-mięśniowym, nerwowo-gruczołowym). ◂ s. 122

2. Hierarchiczna organizacja budowy zwierząt

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz powiązania funkcjonalne między narządami w obrębie układu;
- dowiesz się, jak funkcjonują powiązania między układami narządów w obrębie organizmu;
- prześledzisz mechanizm homeostazy.

U większości zwierząt tkanki łączą się w **narządy**, czyli wyższego rzędu struktury wyspecjalizowane w pełnieniu funkcji, np. serce, płuca, mózg, żołądek. W narządach najczęściej występują różne rodzaje tkanek. Dla przykładu: w sercu główną masę stanowi tkanka mięśniowa poprzecznie prążkowana, wnętrze komór i przedsionków wyścieła nabłonek, a na zewnątrz serca znajduje się osierdzie zbudowane z tkanki łącznej. Narządy mające podobną budowę i spełniające podobne funkcje tworzą **układy narządów**, np. układ pokarmowy, oddechowy, krwionośny. Ściśle współpracujące ze sobą **układy narządów tworzą organizm**. W organizmie zwierząt wyróżnia się następujące układy narządów: powłokowy, ruchu (szkieletowy, mięśniowy), pokarmowy, krwionośny, odpornościowy, oddechowy, wydalniczy, nerwowy, dokrewny i rozrodczy. Budowa tych układów ściśle wiąże się z ich funkcjami.

◂ układy narządów

Układ pokarmowy składa się z przewodu pokarmowego i gruczołów trawiennych. Odpowiada za pobieranie pokarmów i ich trawienie za pomocą enzymów trawiennych, a także za wchłanianie cząstek pokarmowych i usuwanie niestrawionych resztek.

Układ odpornościowy tworzą naczynia limfatyczne, węzły chłonne i komórki: granulocyty i agranulocyty. Chroni on organizm wspólnie z **układem limfatycznym** przed zakażeniami drobnoustrojami chorobotwórczymi.

Układ oddechowy składa się z dróg oddechowych i płuc. Uczestniczy on w wymianie gazowej między krwią a środowiskiem zewnętrznym. Ponadto odpowiada za dostarczenie do organizmu tlenu niezbędnego do oddychania wewnątrzkomórkowego.

Układ krwionośny jest zbudowany z serca i naczyń krwionośnych. Odpowiada za transport do komórek substancji i gazów oddechowych oraz odprowadzanie ich z komórek. Ponadto uczestniczy w termoregulacji.

Układ wydalniczy tworzą nerki i drogi moczowe. Służy on do usuwania zbędnych oraz szkodliwych produktów przemiany materii z krwi oraz odpowiada za utrzymanie równowagi wodnomineralnej w organizmie.

Układ hormonalny (wydzielania wewnętrznego) tworzą bezprzewodowe gruczoły wydzielające hormony bezpośrednio do krwi. Do funkcji tego układu należy kontrola procesów metabolicznych. Wspólnie z układem nerwowym nadzoruje także wszystkie czynności życiowe organizmu.

Układ nerwowy jest zbudowany z mózgu, rdzenia kręgowego, narządów zmysłów i nerwów. Odbiera on bodźce ze środowiska zewnętrznego i wewnętrznego, przekształca je w impulsy nerwowe oraz uczestniczy w dalszym ich przekazywaniu. Odpowiada również za koordynację pracy całego organizmu.

Układ ruchu składa się z **układu szkieletowego i mięśniowego**. Układ szkieletowy tworzą ścięgna, chrząstki i więzadła. Stanowi on osłonę i podporę dla narządów wewnętrznych, a także jest miejscem przyczepu mięśni. Układ mięśniowy tworzą mięśnie szkieletowe. Układ ten umożliwia ruch zarówno całego ciała, jak i jego poszczególnych części.

Układ powłokowy tworzy skóra i jej wytwory: włosy, paznokcie, pazury, gruczoły skórne. Chroni on organizm przed urazami zewnętrznymi i stanowi barierę przed czynnikami chorobotwórczymi. Ponadto bierze udział w termoregulacji oraz usuwaniu zbędnych produktów przemiany materii i odbieraniu bodźców ze środowiska.

Układ rozrodczy jest zbudowany z gruczołów płciowych (jąder i jajników) oraz związanych z nimi struktur. W układzie rozrodczym odbywa się produkcja komórek rozrodczych, które w procesie zapłodnienia tworzą nowy organizm.

Mechanizm homeostazy

homeostaza ▸

Współpraca tkanek, narządów i układów pozwala na utrzymanie stabilnych warunków wewnętrznych, czyli **homeostazy**. Za utrzymanie równowagi wewnętrznej zwierząt odpowiada wiele czynników, m.in. odpowiednia temperatura ciała, stężenie składników odżywczych, tlenu i innych gazów, ciśnienie i skład chemiczny krwi (**ryc. II.2.1.**).

układ hormonalny i nerwowy ▸

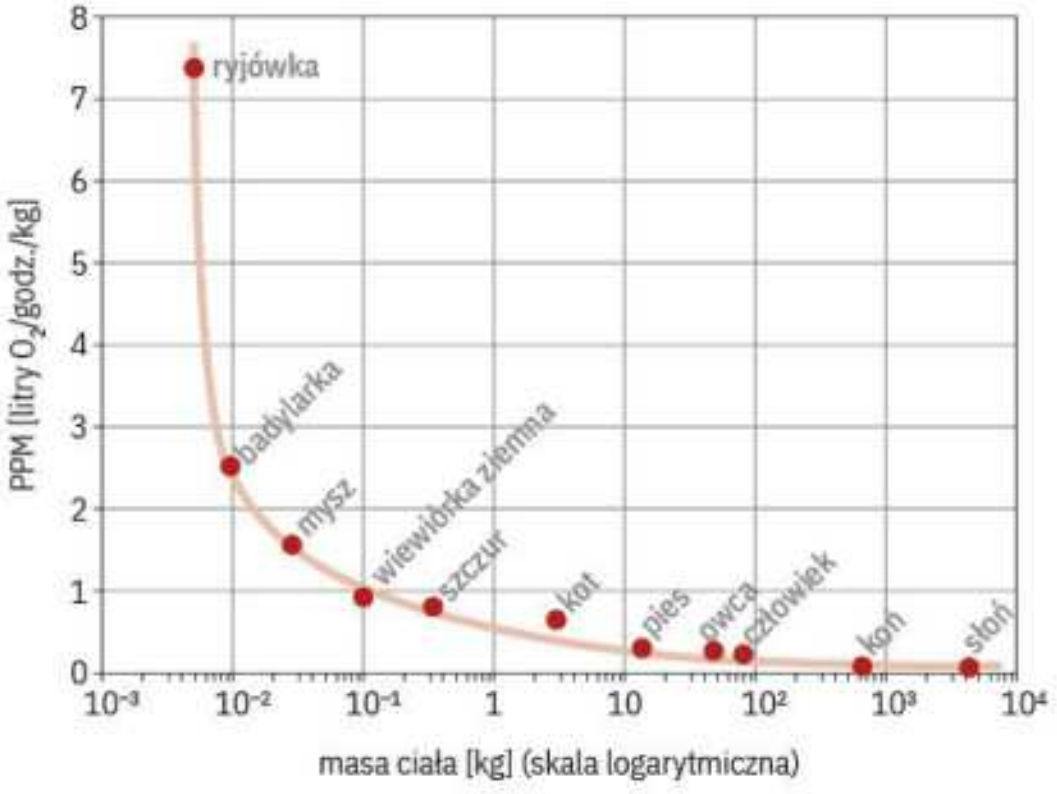
Kontrola tych parametrów odbywa się za pomocą układu hormonalnego i nerwowego.

Ryc. II.2.1. Przykłady czynników niezbędnych do utrzymania homeostazy organizmu.

Potrzeby energetyczne zwierząt

potrzeby energetyczne zwierząt

Zwierzęta jako organizmy heterotroficzne niezbędną do życia energię chemiczną pozyskują z pokarmów. Produkty rozkładu pokarmów z udziałem enzymów są wykorzystywane przez komórki ciała. Powstałe związki proste zostają zużyte do wytworzenia ATP, który dostarcza energii do pracy komórkom, narządom i układom. Energia zawarta w ATP jest także wykorzystywana do procesów biosyntezy, niezbędnych do wzrostu ciała, jego regeneracji, produkcji gamet oraz syntezy materiałów zapasowych. Podczas tych procesów powstaje energia, którą organizm wydziela do środowiska. Szybkość produkcji ciepła przez zwierzę w jednostce czasu określamy **tempem metabolizmu**. Tempo metabolizmu zależy od wieku zwierzęcia, jego płci, wielkości ciała, aktywności oraz temperatury otoczenia. Młode organizmy, u których przeważają procesy anaboliczne (syntezy) nad katabolicznymi (rozkładu), mają wyższe



Ryc. II.2.2. Zależność między tempem metabolizmu (zużycie tlenu na jednostkę masy ciała) a rozmiarami ciała ssaków (PPM – podstawowa przemiana materii). Im większa masa zwierzęcia, tym mniejszy metabolizm, np. 1 g tkanki ryjówki zużywa tlen z szybkością ok. 100 razy większą niż 1 g tkanki słonia.

tempo metabolizmu. Większym metabolizmem charakteryzują się osobniki płci żeńskiej ze względu na znaczną ilość nieaktywnej tkanki tłuszczowej. Zwierzęta większe o większej masie ciała wymagają do swojego funkcjonowania więcej energii chemicznej. Tempo metabolizmu, mierzone zużyciem tlenu na jednostkę masy ciała, rośnie wraz ze spadkiem masy ciała (**ryc. II.2.2.**).

Zwierzęta małe mają wysoki metabolizm, ponieważ potrzebują w krótkim czasie dostarczenia dużej ilości tlenu. Takie zwierzęta oddychają z większą częstotliwością, mają wyższe tętno i potrzebują więcej pożywienia przypadającego na jednostkę masy ciała.

Zagadnienia zależności tempa metabolizmu od rozmiarów ciała nie są do końca wyjaśnione. Jedna z hipotez zakłada, że małe zwierzęta endotermiczne (wytwarzające energię wewnątrz ciała) ponoszą znaczne koszty energetyczne, związane z utrzymaniem stałej temperatury ciała. Przypuszczenie to wynika z faktu, że stosunek powierzchni ciała tych zwierząt do objętości jest duży. Zwierzęta te szybciej tracą ciepło. Jednak stwierdza się także podobną zależność u ektotermów (pozyskujących energię ze źródeł zewnętrznych), niewykorzystujących ciepła metabolicznego do utrzymania temperatury ciała. Przedstawione przykłady wskazują na zależność tempa przemiany materii od rozmiarów ciała zwierząt bez względu na sposób pozyskiwania energii.

przemiana materii zwierząt ▸ Na przemianę materii zwierząt zaliczanych zarówno do ektotermów, jak i endotermów istotnie wpływa ich aktywność, a także takie funkcje życiowe, m.in. rozmnażanie, wzrost i termoregulacja.

funkcje życiowe ▸

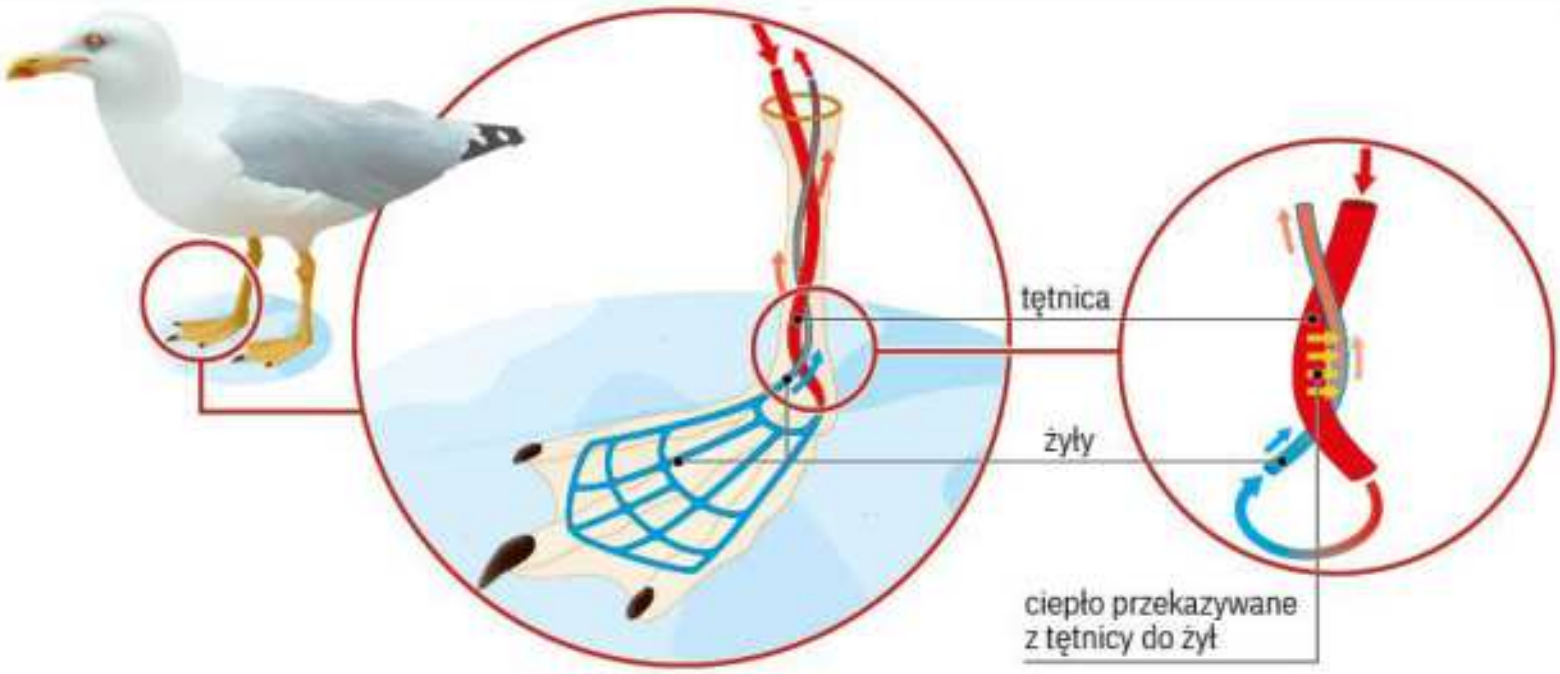
Regulacja temperatury ciała

Wpływ temperatury otoczenia na tempo metabolizmu u zwierząt jest różne. Większość zwierząt ma mechanizmy homeostatyczne, utrzymujące stałą temperaturę ciała. Zdolność do utrzymania stałej temperatury ciała niezależnie od temperatury otoczenia nazywamy **termoregulacją**. Zwierzęta wykształciły szereg przystosowań fizjologicznych, anatomicznych i behawioralnych do życia w określonym typie środowiska.

termoregulacja ▸

Ryc. II.2.3. Ptaki będące zwierzętami endotermicznymi obniżają temperaturę swojego ciała dzięki parowaniu z szeroko otwartego dzioba.

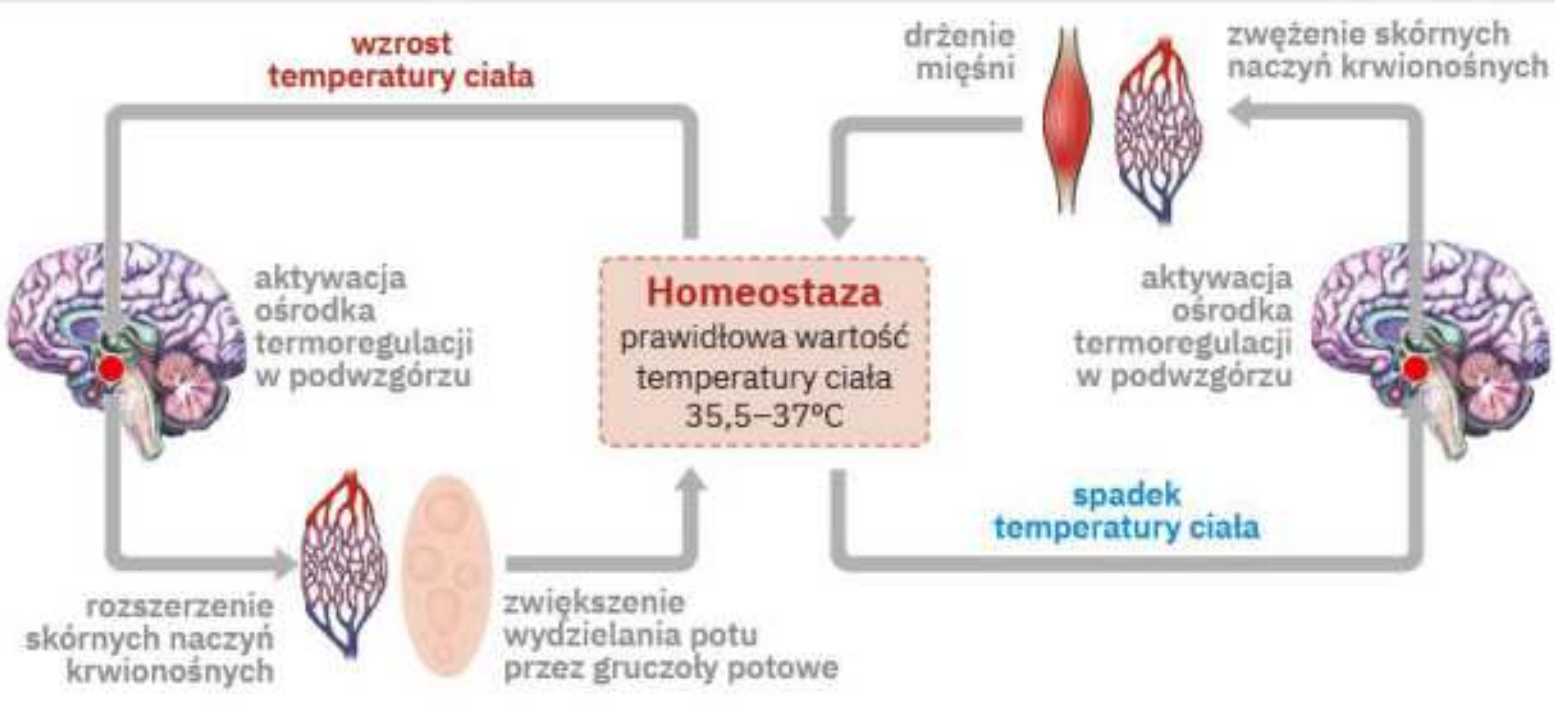
U niektórych ssaków i człowieka oddawanie nadmiaru ciepła z organizmu następuje w wyniku rozszerzenia naczyń skórnych i wydzielania potu z gruczołów potowych. U niektórych ptaków i saków wodnych funkcjonują **przeciwprądowe wymienniki ciepła**. Pozwalają one na uzyskanie wysokiej temperatury w mięśniach umożliwiających pływanie niezależnie od temperatury wody, w której żyją (**ryc. II.2.4.**).



Ryc. II.2.4. Schemat przeciwprądowego wymiennika ciepła u ptaków wodnych. Tętnice transportują krew o wyższej temperaturze w dół nóg ptaka, a żyłami płynie krew o niższej temperaturze z powrotem do wnętrza ciała. Między tak ułożonymi naczyniami krwionośnymi następuje wymiana ciepła. Ciepło krwi tętniczej zostaje pobrane przez krew płynącą w żyłach. W efekcie zmniejsza się utrata ciepła pochodzącego z wnętrza ciała przez kończyny zanurzone w zimnej wodzie czy stąpające po śniegu lub lodzie.

U człowieka ośrodek termoregulacji znajduje się w podwzgórzu. Podstawą jego działania jest mechanizm sprzężenia zwrotnego między temperaturą ciała a wytwarzaniem ciepła w organizmie.

Do zachowania równowagi organizm człowieka potrzebuje stałej temperatury ciała, która waha się między 35,5°C a 37°C. Zmiana temperatury ciała może doprowadzić do wychłodzenia lub przegrzania się organizmu. Aby takie sytuacje nie wystąpiły, informacja o temperaturze ciała jest wysyłana do ośrodka w podwzgórzu i analizowana. Na tej podstawie zostają włączone odpowiednie mechanizmy regulacji (**ryc. II.2.5.**).



Ryc. II.2.5. Schemat regulacji stałej temperatury ciała.

Homeostaza jest niezbędnym warunkiem prawidłowego funkcjonowania organizmu, a tym samym jego zdrowia. Zaburzenia mechanizmów homeostazy mogą prowadzić do chorób i do śmierci organizmu.

Istotnym czynnikiem równowagi organizmu człowieka jest utrzymanie prawidłowego ciśnienia osmotycznego. Zmiany ciśnienia osmotycznego krwi są odbierane przez osmoreceptory podwzgórza. Wzrost ciśnienia prowadzi do wzmożonego uczucia pragnienia oraz wydzielania przez podwzgórze hormonu antydiuretycznego (wazopresyny, ADH), który pobudza zwrotne wchłanianie wody w kanalikach nerkowych, co zapobiega nadmiernej utracie wody z moczem. Spadek ciśnienia skutkuje wydalaniem dużych ilości rozcieńczonego moczu. Prawidłowe ciśnienie krwi pozwala na dopływ do komórek tlenu, glukozy, a także ciepła. Spadek ciśnienia krwi może doprowadzić do niedotlenienia i niedożywienia komórek.

rytmy okołodobowe

Istotne znaczenie dla zachowania homeostazy mają **rytmy okołodobowe**, czyli regularność aktywności i pory snu. Są one często określane mianem zegara biologicznego. Najważniejszymi czynnikami kształtującymi rytm okołodobowy są światło i temperatura. Zegar biologiczny człowieka jest regulowany przez hormon snu – **melatoninę** – produkowaną przez gruczoł dokrewny – **szyszynkę**.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Wyjaśnij różnice między stałocieplnością a zmiennocieplnością. Podaj po dwa przykłady organizmów zaliczanych do zwierząt stałocieplnych i zmiennocieplnych.
2. Podaj przykłady strategii zwierząt endotermicznych, które pozwolą im przetrwać ekstremalne warunki termiczne.
3. Zwierzęta stałocieplne są lepiej przystosowane do życia w środowisku, w którym panują niskie temperatury niż zwierzęta zmiennocieplne. Wyjaśnij dlaczego.

PODSUMOWANIE LEKCJI

s. 125
- Zwierzęta są zbudowane z tkanek i narządów, które współdziałają ze sobą i tworzą **układy**.

s. 125
- U zwierząt wyróżnia się następujące **układy**: powłokowy, ruchu (szkieletowy, mięśniowy), pokarmowy, krwionośny, odpornościowy, oddechowy, wydalniczy, nerwowy, dokrewny i rozrodczy. Budowa tych układów ściśle wiąże się z ich funkcjami.

s. 126
- **Homeostaza** jest tendencją organizmu do utrzymania stanu równowagi wewnętrznej.

s. 126
- **Homeostaza** zależy od wielu czynników: odpowiedniej temperatury ciała, stężenia składników odżywczych, tlenu i innych gazów, ciśnienia i składu chemicznego krwi.

s. 126
- **Układ hormonalny i układ nerwowy** koordynują i kontrolują zachowanie równowagi w organizmie.

s. 127
- **Zapotrzebowanie energetyczne zwierząt** zależy od ich wielkości oraz aktywności.

s. 128
- **Podstawowa przemiana materii** w przeliczeniu na gram masy ciała jest odwrotnie proporcjonalna do rozmiarów ciała.

s. 128
- Aktywność zwierząt zwiększa **przemianę materii**.

- Zwierzęta **wykorzystują energię** na podstawowy metabolizm, termoregulację, aktywność, wzrost, rozmnażanie. s. 128
- Zwierzęta wykształciły anatomiczne i fizjologiczne przystosowania do **termoregulacji**. s. 128
- Istotne znaczenie dla zachowania homeostazy mają **rytmy okołodobowe**, czyli regularność aktywności i pory snu. s. 130

3. Sposoby odżywiania się zwierząt

NA TEJ LEKCJI:

- dowiesz się, w jaki sposób odżywiają się zwierzęta;
- poznasz adaptacje zwierząt do pobierania różnego pożywienia;
- zrozumiesz, czym różni się trawienie wewnątrzkomórkowe od zewnątrzkomórkowego;
- zapoznasz się ze zróżnicowaniem budowy układów pokarmowych zwierząt.

Zwierzęta potrzebują pokarmu, ponieważ warunkuje on zachodzenie procesów życiowych. Stanowi on źródło substratów do budowy organizmu oraz jest niezbędny do wzrostu i rozmnażania. Pierwotne źródło energii dla wszystkich organizmów to energia słoneczna. Rośliny, wykorzystując energię promieniowania słonecznego i dwutlenek węgla w procesie fotosyntezy, produkują węglowodany i inne substancje budujące organizm roślinny. Zwierzęta pozyskują energię poprzez zjadanie roślin lub pobieranie materii organicznej innego pochodzenia.

Sposoby odżywiania się zwierząt

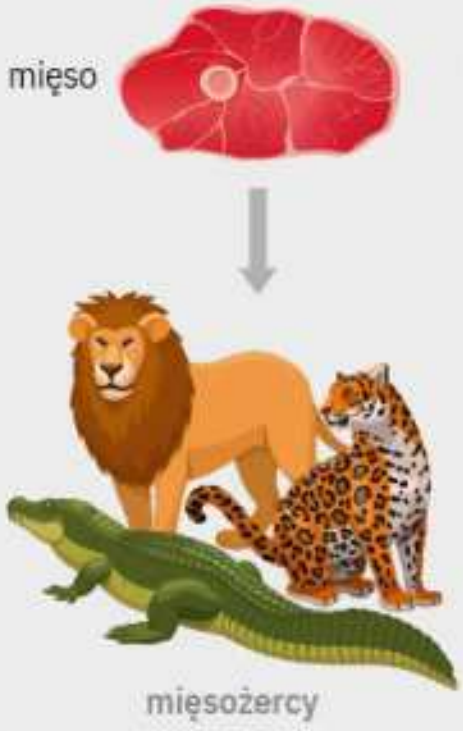
Zwierzęta pobierają pokarm, co oznacza jego zdobywanie i przyjmowanie. Każdy rodzaj pokarmu jest w procesie trawienia rozkładany na proste związki organiczne, które następnie są wchłaniane i transportowane przez krew do komórek organizmu. W trawieniu i wchłanianiu pokarmu bierze udział układ pokarmowy.

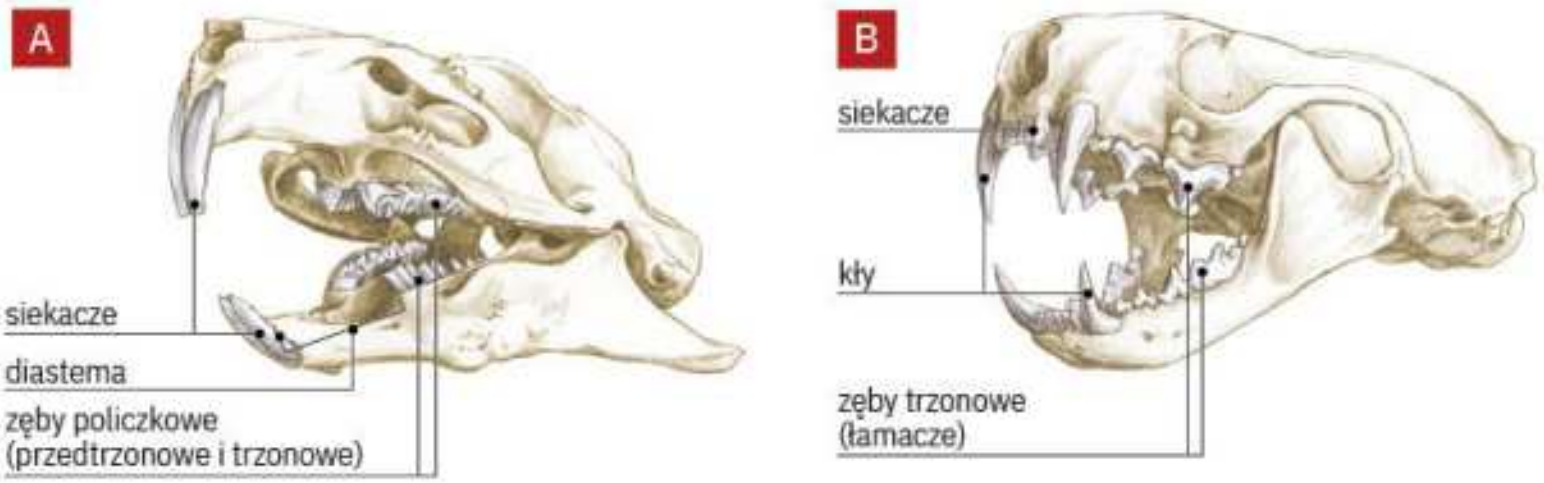
rodzaj pobieranego pokarmu

zwierzęta roślinożerne, mięsożerne i wszystkożerne

W zależności od rodzaju pobieranego pokarmu zwierzęta dzieli się na **roślinożerne**, **mięsożerne** i **wszystkożerne** (**tab. II.3.1.**). Każda z tych grup wykształciła odmienne adaptacje, które umożliwiają im sprawne przyjmowanie określonego pokarmu. Przystosowania te są widoczne choćby w budowie szczęki i zębów zwierząt odżywiających się pokarmem roślinnym lub zwierzęcym (**ryc. II.3.1.**).

Tab. II.3.1. Podział zwierząt ze względu na sposób odżywiania

Sposoby odżywiania się zwierząt		
roślinożercy	 mięsożercy	wszystkożercy
Żywią się producentami (roślinami) i są konsumentami I rzędu. Pobierają ogromne ilości pokarmu, z których tylko niewielka część zostaje strawiona. Reszta jest wydalana na zewnątrz. Zwierzęta te wykorzystują energię zawartą w celulozie budującej ściany komórek roślinnych. Aby było to możliwe, żyją w symbiozie z mikroorganizmami zasiedlającymi ich przewód pokarmowy.	Zwierzęta te są drapieżnikami (konsumentami II rzędu i wyższych rzędów). Żywią się roślinożercami i innymi drapieżnikami. Ich przewód pokarmowy jest krótszy niż zwierząt roślinożernych. Wiele z nich ma przystosowania do chwytania, paraliżowania i zabijania oraz rozrywania ciała ofiary. Służą do tego macki, pazury, kły, gruczoły jadowe i zęby obecne u tych zwierząt.	Te organizmy odżywiają się zarówno pokarmem roślinnym, jak i zwierzęcym. W wyborze różnego rodzaju pokarmów pomagają im przystosowania do rozróżniania smaków i zapachów.



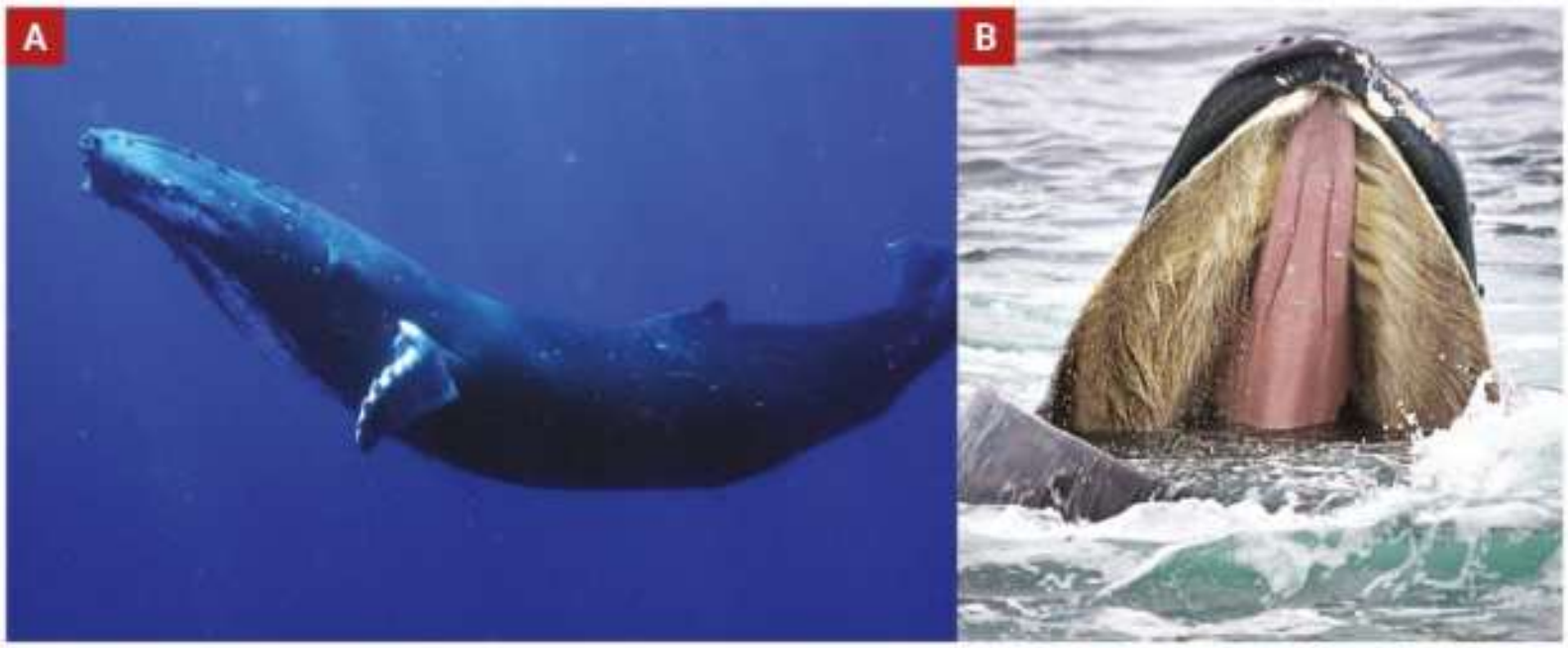
Ryc. II.3.1. Różnice w budowie szczęki i zębów roślinożerców (A) i mięsożerców (B).

Adaptacje do pobierania różnego typu pokarmu

adaptacje do pobierania pokarmu

Rodzaj pokarmu (m.in. małe cząstki, duże masy pokarmowe, płyny), jakim odżywia się dane zwierzę, wymagał różnych przystosowań do jego zdobywania. **Małe cząstki pokarmowe** mogą być wchłaniane bezpośrednio do komórki. W taki sposób odżywia się np. ameba, która wchłania glony i bakterie do wodniczki trawiennej. Najczęstszym sposobem pobierania pokarmu małych rozmiarów są różnego rodzaju **narządy filtracyjne**. Zwierzęta odżywiające się w ten sposób nazywamy **filtratorami**. Na przykład śledziom i makrelom filtrowanie pokarmu umożliwia specjalna budowa skrzeli, które działają jak sita zatrzymujące plankton. Największe spośród ryb, czyli rekin żarłacz i rekin wielorybi, odcedzają plankton z wody morskiej. Filtratorami są także ssaki wodne – walenie fiszbinowe, w tym płetwal błękitny – największe współcześnie żyjące zwierzę. Aparat filtracyjny tych zwierząt jest złożony z rogowych płytek zwisających w dół po obu stronach szczęki (**ryc. II.3.2.**). Woda przepływa przez fiszbiny, a na ich wystrzępionych brzegach zatrzymuje się plankton. Filtratorami są także niektóre ptaki, np. flamingi.

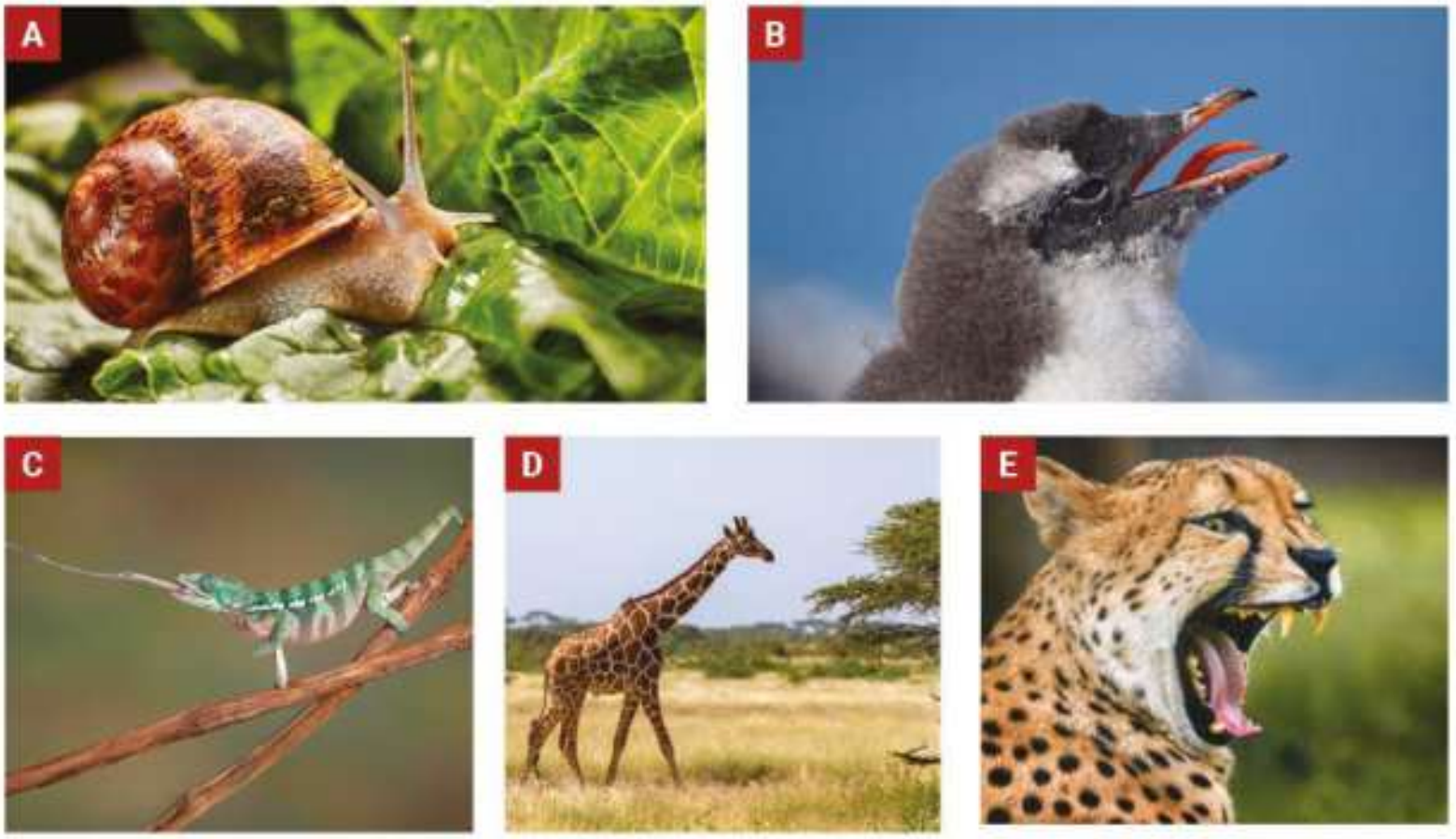
filtratory



Ryc. II.3.2. Płetwal błękitny (A) odżywia się planktonem, który odfiltrowuje z wody za pomocą fiszbin (B).

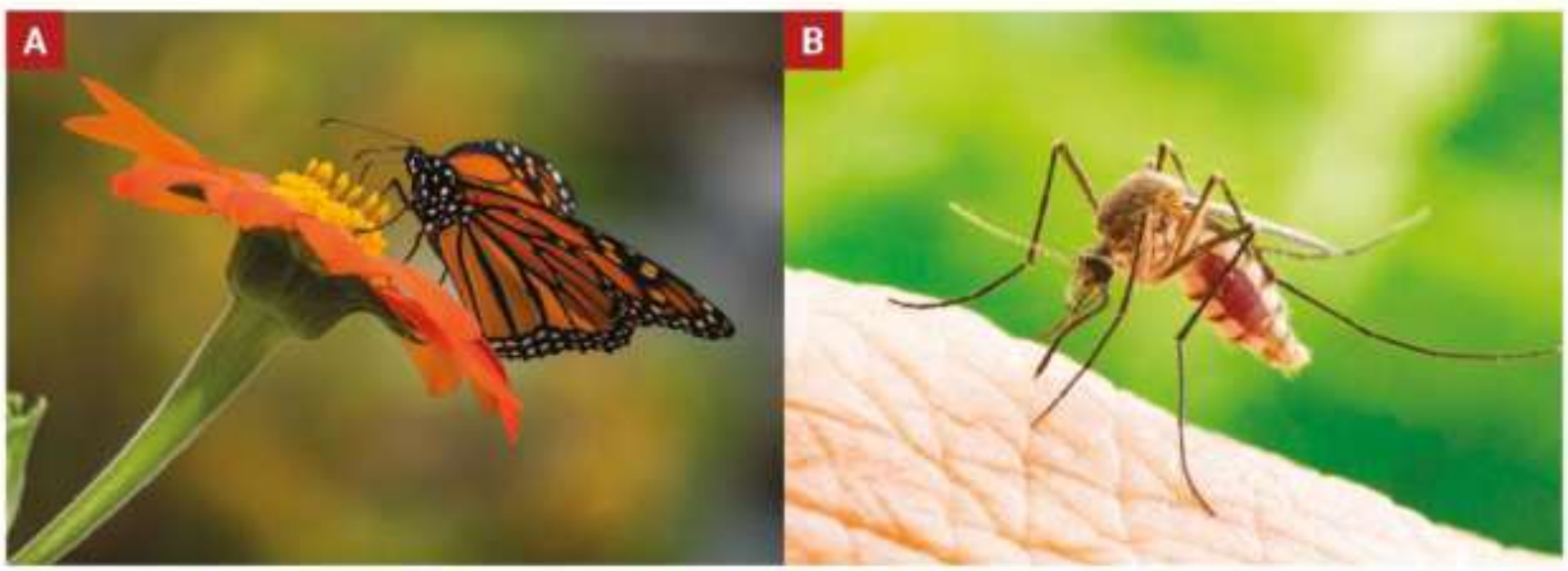
duże masy pokarmowe

Przyjmowanie **dużych mas pokarmowych** odbywa się z wykorzystaniem różnorodnych mechanizmów i struktur (**ryc. II.3.3.**). Na przykład dżdżownice połykają ogromne ilości gleby i pobierają zawartą w niej materię organiczną. Proces ten ułatwia specjalna budowa żołądka zwanego *mielcem*, w którym następuje sproszkowanie pokarmu. Niektóre zwierzęta, aby móc odżywiać się pożywieniem pochodzenia roślinnego, stosują żucie (np. krowy, bawoły, jeleń, żyrafa, koza, owca) oraz zeskrobywanie (np. ślimaki) (**ryc. II.3.3.**). Inne chwytają ofiarę i połykają ją w całości – w ten sposób odżywiają się np. węże, jaszczurki i ptaki. Duże cząstki pokarmowe przyjmują także drapieżniki. Ostre zęby i silna szczęka umożliwiają im rozszarpanie schwytanej ofiary oraz rozdrobnienie pokarmu. Niektóre drapieżniki także żują cząstki pokarmowe przed połknięciem.



Ryc. II.3.3. Przystosowania do pobierania dużych cząstek pokarmowych: ślimaki zeskrobują pokarm roślinny (A); pingwiny mają język pokryty haczykowatymi wypustkami, dzięki czemu mogą przytrzymywać złowioną ofiarę (B); długi i lepki język u jaszczurki umożliwia schwytanie i połknięcie ofiary (C); żyrafa odżywia się pokarmem roślinnym (D); ostre kły i silna szczęka geparda służą do przytrzymywania i rozszarpywania ofiary (E).

płynny pokarm ▸ Wiele gatunków zwierząt pobiera **płynny pokarm**. Jest to możliwe dzięki specjalnym strukturom (ssawkom, haczykom), za których pomocą wysysają płyn (**ryc. II.3.4.**). Do tych gatunków należą owady odżywiające się nektarem, ale także mszyce wysysające soki roślinne oraz komary, pijawki i kleszcze żywiące się krwią innych zwierząt. Ssaki w pierwszym okresie swojego życia także żywią się tylko pokarmem płynnym, czyli mlekiem matki.



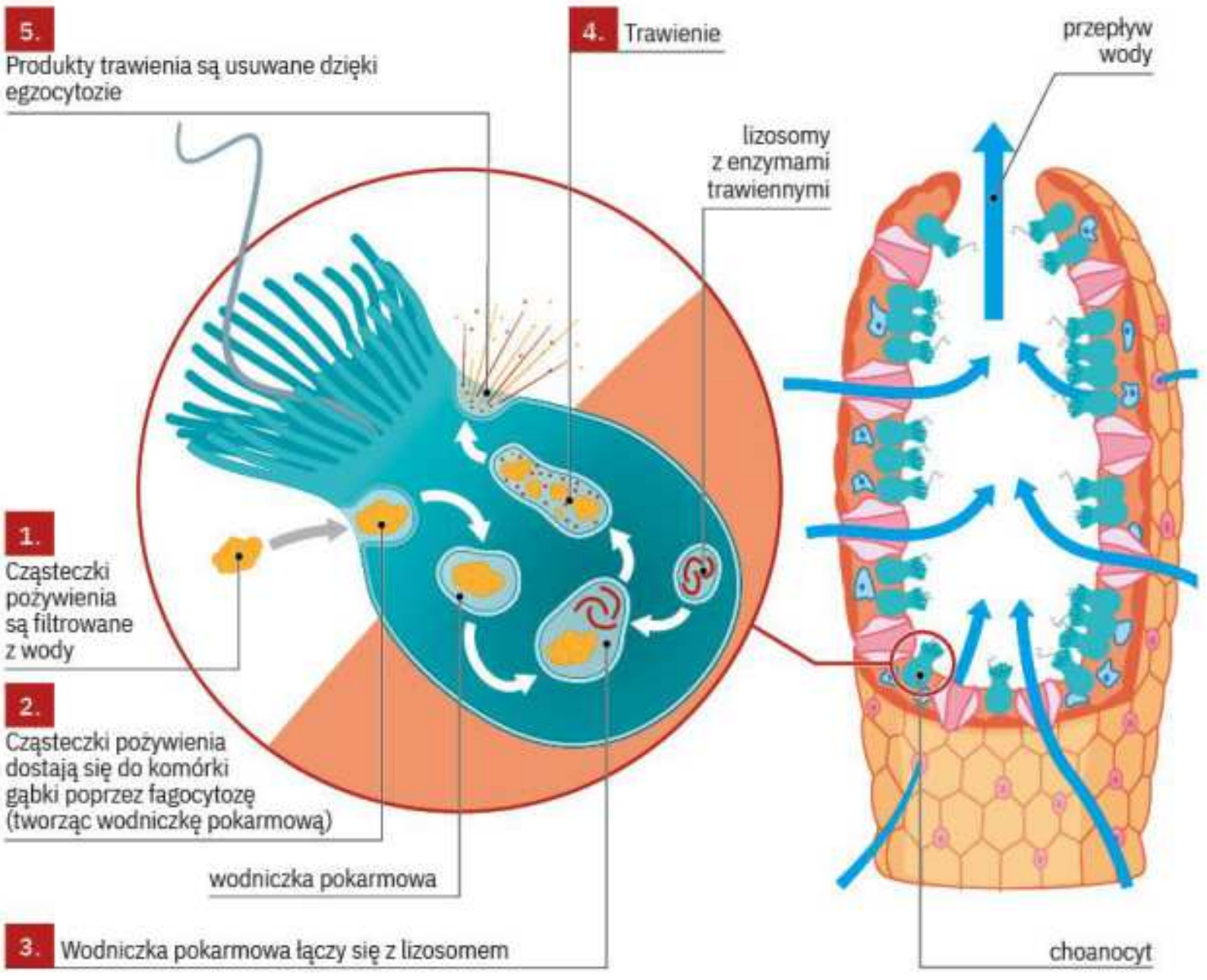
Ryc. II.3.4. Przystosowania do pobierania płynnego pokarmu: motyl pobiera nektar z kwiatów za pomocą rurki ssącej (A); komar odżywia się krwią, którą pobiera za pomocą aparatu gębowego typu kłująco-ssącego (B).

Zróżnicowanie procesów trawienia i budowy układu pokarmowego u zwierząt

Pokarm, niezależnie do sposobów jego pobierania, jest zużywany jako materiał budulcowy lub jako paliwo energetyczne. Przyjmowane pożywienie składa się z białek, węglowodanów i tłuszczów. Obróbka pożywienia polega na rozkładzie tych dużych cząsteczek na proste związki (m.in. aminokwasy, monosacharydy, kwasy tłuszczowe), które są wchłaniane i metabolizowane. Rozłożenie dużych i złożonych związków pokarmu nazywamy **trawieniem**. Odbywa się ono w układzie pokarmowym w wyniku aktywności enzymów trawiennych.

Trawienie może zachodzić w komórkach lub poza nimi. Zwierzęta jednokomórkowe trawią pokarm **wewnątrzkomórkowo**. Na przykład gąbki pobierają pokarm do wodniczki trawiennej, gdzie jest trawiony przez obecne tam enzymy trawienne (**ryc. II.3.5.**).

trawienie wewnątrzkomórkowe



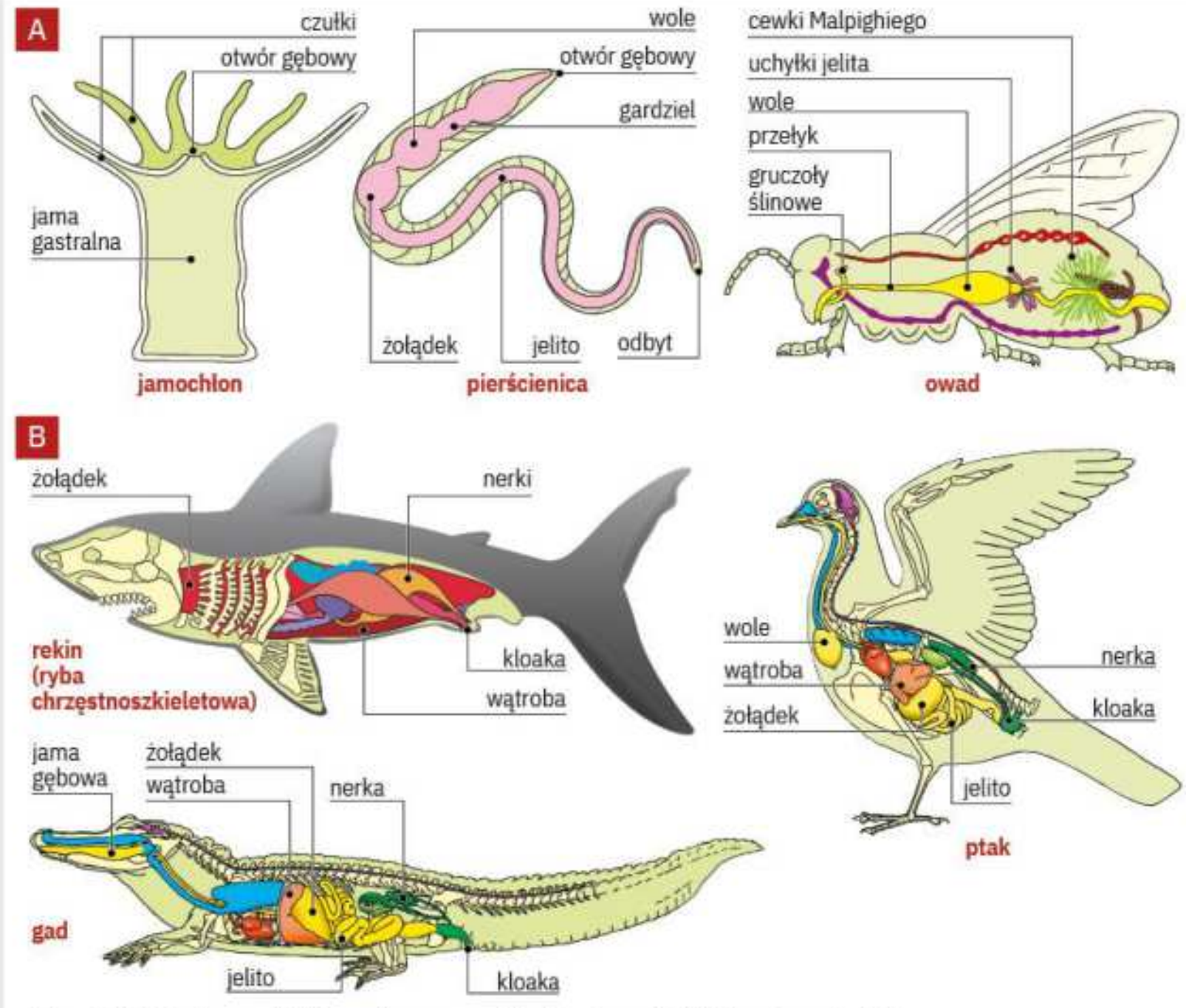
Ryc. II.3.5. Wewnątrzkomórkowe trawienie u gąbek.

Trawienie zewnątrzkomórkowe w porównaniu z wewnątrzkomórkowym umożliwia pobranie większych cząstek pokarmu. Z drugiej strony wymaga udziału układu pokarmowego i znajdujących się w jego obrębie enzymów trawiennych działających na pokarm. Układ pokarmowy jamochłonów, wężowideł czy płazińców ma pojedynczy otwór, przez który odbywa się zarówno pobieranie pokarmu, jak i wydalanie niestrawionych resztek. U wyżej uorganizowanych zwierząt układ pokarmowy ma dwa otwory: jeden służy jako gęba, a drugi – jako odbyt (**ryc. II.3.6.**). Taka budowa umożliwia rozłożenie procesu enzymatycznego trawienia na etapy, a pobieranie pożywienia może być kontynuowane w czasie jego trawienia. Trawienie białek, tłuszczów i węglowodanów przebiega podobnie u bezkręgowców i kręgowców. Jednak budowa enzymów trawiennych u tych dwóch grup zwierząt jest inna. Główna różnica dotyczy trawienia celulozy – najważniejszego polisacharydu strukturalnego roślin. Enzymy trawiące celulozę (celulazy) nie występują u kręgowców, choć wiele z nich, np. bydło, wykorzystuje ten związek jako główne źródło energii. Celulazy występują u kilku gatunków bezkręgowców odżywiających się drewnem i innymi surowcami roślinami (np. termitów, małży świdraków czy rybików). Zwierzęta kręgowe korzystają z pomocy mikroorganizmów symbiotycznych, żyjących w ich przewodzie pokarmowym.

gęba i odbyt

trawienie białek, węglowodanów i tłuszczów

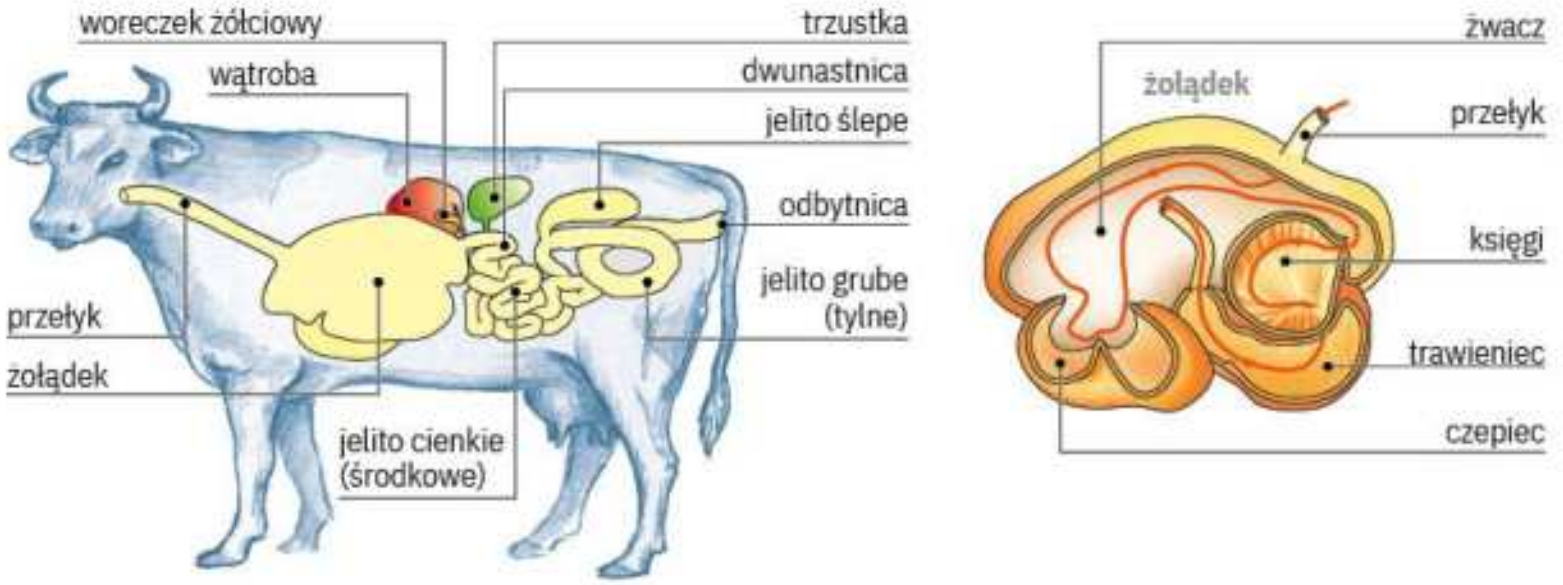
enzymy trawiące celulozę



Ryc. II.3.6. Budowa układów pokarmowych bezkręgowców (A) i kręgowców (B).

Przeżuwacze, do których należą zwierzęta ważne z gospodarczego punktu widzenia, jak bydło, owce, kozy, odżywiają się wyłącznie pokarmem roślinnym. Mają one wyspecjalizowane układy pokarmowe, w których trawienie celulozy odbywa się z udziałem symbiotycznych mikroorganizmów. Żołądek przeżuwaczy składa się z czterech komór (przedżołądków). W jednym z nich – tzw. **żwaczu** – znajduje się ogromna ilość bakterii i pierwotniaków (m.in. orzęsek), które przeprowadzają proces fermentacji pożywienia pobranego przez zwierzęta. Produktami fermentacji są krótkołańcuchowe kwasy tłuszczowe (m.in. masłowy, propionowy, octowy), które po wchłonięciu zostają wykorzystane jako źródło energii. Wytworzone w czasie fermentacji CO_2 i CH_4 uchodzą na zewnątrz przez otwór gębowy. Produkt powstały z rozłożenia celulozy, podatny na dalsze trawienie, jest zwracany do jamy gębowej i w procesie przeżuwania ponownie rozdrabniany, a następnie znów połykany. Po powrocie do żwacza pokarm podlega dalszej fermentacji. Później przechodzi do dalszych części żołądka, gdzie podlega normalnemu trawieniu w komorze zwanej trawieńcem – to odpowiednik żołądka innych ssaków (**ryc. II.3.7.**).

czterokomorowy żołądek



Ryc. II.3.7. Budowa układu pokarmowego krowy i etapy trawienia roślinnego pokarmu bogatego w celulozę w czterokomorowym żołądku.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Podziel zwierzęta w zależności od sposobu ich odżywiania się oraz podaj po dwa przykłady gatunków z każdej kategorii.
2. Wytłumacz różnicę między trawieniem wewnątrz- i zewnątrzkomórkowym.
3. Wyjaśnij, jakie zalety ma przewód pokarmowy z dwoma otworami: gębą i odbytem.
4. Ptaki ziarnojady (np. zięby) połykają wraz z ziarnami, którymi się odżywiają, drobne kamyczki, tzw. gastrolity. Wyjaśnij adaptacyjne znaczenie tego procesu z uwzględnieniem rodzaju pożywienia pobieranego przez te ptaki.
5. Podaj inne niż opisane w podręczniku przykłady przystosowań drapieżników do odżywiania się.

6. Przeczytaj poniższy tekst i wyjaśnij, w jaki sposób powstają gazy trawienne w przewodzie pokarmowym przeżuwaczy.

Przeżuwacze emitują do środowiska więcej gazów niż zwierzęta monogastryczne. Przewód pokarmowy przeżuwaczy jest przystosowany do wykorzystywania węglowodanów strukturalnych na drodze fermentacji. Wynika to z działalności mikroorganizmów celulolitycznych i metanogennych. Do tzw. gazów trawiennych produkowanych przez przeżuwacze należą metan i niemetanowe lotne związki organiczne (NMVOC), do których zaliczane są niskocząsteczkowe kwasy tłuszczowe (LKT), alkohole, etylen, wodorowęglan (HCO_3^-) i inne związki.

Na podstawie: Z. Podkówka, W. Podkówka, *Emisja gazów cieplarnianych przez krowy*, „Przegląd Hodowlany" nr 3/2011.

PODSUMOWANIE LEKCJI

s. 131 • W zależności od **rodzaju pobieranego pokarmu** zwierzęta dzieli się na roślinożerne, mięsożerne i wszystkożerne.

s. 131 • **Zwierzęta roślinożerne** są konsumentami I rzędu. Trawią pokarm bogaty w celulozę dzięki symbiozie z mikroorganizmami bytującymi w ich przewodzie pokarmowym.

s. 131 • **Zwierzęta mięsożerne** są konsumentami II rzędu i wyższych rzędów. Żywią się roślinożercami i innymi drapieżnikami.

s. 131 • **Zwierzęta wszystkożerne** odżywiają się zarówno pokarmem roślinnym, jak i zwierzęcym.

s. 133 • Zwierzęta wykształciły różne **przystosowania do pobierania różnorodnego pokarmu**: małych cząstek, dużych mas pokarmowych i płynów.

s. 133 • Małe cząstki pokarmu są bezpośrednio wchłanianie do komórek (np. u ameby) lub odsączone z wody z wykorzystaniem narządów filtracyjnych. **Filtratorami** są ryby (np. śledź, makrela, rekiny), ptaki (np. flamingi) oraz ssaki (np. walenie fiszbinowe).

s. 133 • **Duże masy pokarmowe** są pobierane w różny sposób, m.in. zeskrobywane (np. ślimak), żute (np. krowy, owce, żyrafy), połykane w całości (węże, jaszczurki), a także rozszarpywane (np. lwy, gepardy).

s. 134 • **Płynny pokarm** (np. nektar, krew) jest pobierany przy użyciu ssawek i dzięki specjalnej budowie aparatów gębowych.

s. 135 • Pokarm może być **trawiony wewnątrzkomórkowo** (np. u gąbek) lub **zewnątrzkomórkowo** (u większości zwierząt).

s. 136 • Proste zwierzęta bezkręgowe mają układ pokarmowy z pojedynczym otworem (np. u jamochłonów, płazińców). Zwierzęta wyżej uorganizowane mają dwa otwory (**gębę i odbyt**) w układzie pokarmowym.

s. 136 • **Trawienie białek, węglowodanów (skrobi) i tłuszczów** przebiega podobnie u zwierząt bezkręgowych i kręgowych.

s. 136 • Zwierzęta kręgowe nie mają **enzymów trawiących celulozę**, dlatego współżyją w symbiozie z mikroorganizmami, które trawią celulozę.

s. 137 • Przeżuwacze (np. krowy, owce) mają **czterokomorowy żołądek**, w którym bakterie i pierwotniaki przeprowadzają fermentację celulozy. Powstałe w tym czasie kwasy tłuszczowe są źródłem energii, a nadtrawiona celuloza jest ponownie przeżuwana i wykorzystana.

4. Rola składników odżywczych w funkcjonowaniu organizmu

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz rodzaje i funkcje składników odżywczych;
- dowiesz się, jakie pokarmy są źródłem białek, tłuszczów i węglowodanów;
- poznasz zagrożenia wynikające z niedoborów składników odżywczych w diecie.

O wartości odżywczej spożywanego przez nas pożywienia decyduje zawartość niezbędnych dla organizmu **składników odżywczych** – ich wzajemne proporcje oraz biodostępność. Składniki odżywcze są niezbędne dla człowieka, ponieważ organizm nie jest w stanie sam ich wytworzyć ani niczym zastąpić. Każdy ze składników odżywczych pełni inną funkcję, a również zapotrzebowanie na nie jest różnicowane i zależy od wieku, płci, stanu fizjologicznego (np. ciąża, choroba), wykonywanej pracy czy stopnia aktywności fizycznej. Dlatego dla każdego ze składników opracowano **normy żywieniowe**, które określają ilości energii i składników odżywczych koniecznych dla zaspokojenia potrzeb żywieniowych u zdrowych ludzi. Dostarczanie tych składników zgodnie z normami ma zapobiegać chorobom związanym zarówno z niedoborem tych składników, jak i z ich nadmiarem. Energia wykorzystywana przez organizm do reakcji metabolicznych pochodzi z energii chemicznej zawartej w pożywieniu i jest uwalniana w czasie trawienia makrocząsteczek zawartych w pokarmie. Do najważniejszych składników pokarmowych zaliczamy białka, węglowodany i tłuszcze. Nieodzowną rolę w odżywianiu ogrywają także witaminy, sole minerale oraz woda.

składniki odżywcze

normy żywieniowe

Białka

białka

Białka są podstawowymi, strukturalnymi i funkcjonalnymi składnikami każdej komórki organizmu człowieka. Składają się z aminokwasów połączonych wiązaniami peptydowymi. Białka jako biokatalizatory biorą udział w większości reakcji metabolicznych komórki, a także m.in. uczestniczą w odpowiedzi immunologicznej, transportują substancje (np. tlen, żelazo) i biorą udział w regulacji ekspresji genów. Białko zawarte w pokarmie dostarcza **aminokwasów egzogennych**, czyli takich, których organizm nie potrafi sam syntetyzować. Białka są substratami (substancjami wyjściowymi) w syntezie wielu ważnych związków (m.in. hormonów), a azot pochodzący z białek służy do syntezy aminokwasów endogennych. Odpowiednia ilość i jakość białek jest konieczna do prawidłowego wzrostu i rozwoju człowieka, w tym do budowy nowych tkanek u dzieci oraz regeneracji tkanek u dorosłych. Ilość białek potrzebna do wzrostu przewyższa ilość niezbędną do odnowy tkanek, dlatego dzieci powinny spożywać więcej białek niż osoby dorosłe w przeliczeniu na kilo-

gram masy ciała. Zalecane spożycie białek dla dorosłych wynosi 0,9 g na kilogram masy ciała na dobę. Oprócz całkowitej ilości białka nie mniejsze znaczenie ma ich jakość. Białka, w których występują wszystkie niezbędne aminokwasy w odpowiednich proporcjach, nazywamy **białkami pełnowartościowymi**. **Białka niepełnowartościowe** to takie, w których niezbędne aminokwasy występują w małych ilościach i w niewłaściwych proporcjach. Dobrymi źródłami białek pełnowartościowych są pokarmy pochodzenia zwierzęcego, jak jajka, mleko i jego przetwory, mięso (w tym ryby). Białka niepełnowartościowe w większości są pochodzenia roślinnego. Zawierają mniej aminokwasów egzogennych (m.in. lizyny, tryptofanu, metioniny). Wśród białek roślinnych dobrą wartością odżywczą odznaczają się białka roślin strączkowych (np. soi, bobu, fasoli). Planowanie prawidłowej diety powinno uwzględniać różnorodne źródła białka, zarówno te pochodzenia zwierzęcego, jak i roślinnego.

białka pełnowartościowe

Ryc. II.4.1. Źródłem białek pełnowartościowych są produkty pochodzenia zwierzęcego, takie jak: mleko, mięso, jaja, a także rośliny strączkowe.

niedobór białka

Niedobory białka mogą prowadzić do pogorszenia lub utraty zdrowia. W krajach rozwiniętych niedobory białka w diecie występują dość rzadko, najczęściej są efektem stresu, infekcji, biegunki, krwotoku czy stanu chorobowego. Na niedobory białka są narażone także osoby stosujące niewłaściwie skomponowaną dietę wegetariańską i wegańską, w której dominują pokarmy roślinne, będące źródłem białek niepełnowartościowych. Niedobory białka u dorosłych prowadzą m.in. do osłabienia, niedokrwistości, obrzęków i utrudnionego gojenia się ran. U dzieci niewystarczająca ilość białka może skutkować zahamowaniem rozwoju i zaburzeniami umysłowymi. Skrajną postacią niedoboru białka są ciężkie choroby: *kwasziorkor* i *marasmus* (**ryc. II.4.2.**), występujące zwykle u dzieci zamieszkujących Afrykę, Amerykę Środkową i Południową oraz Azję. Przyjmuje się, że nadmierne spożywanie białek może sprzyjać rozwojowi osteoporozy (wskutek zaburzeń gospodarki wapniowej), kwasicy i powstawaniu kamieni nerkowych.

Ryc. II.4.2. Marasmus to skrajny rodzaj niedożywienia, będący efektem zbyt małej ilości białka w diecie.

Tłuszcze pokarmowe

tłuszcze pokarmowe

Pojęcie *tłuszcze pokarmowe* obejmuje wszystkie spożywane lipidy pochodzenia roślinnego i zwierzęcego. Ważnym źródłem tłuszczów oprócz olejów roślinnych i tłuszczów zwierzęcych są: mleko, przetwory mleczne, mięso, ryby, jaja, orzechy i nasiona. Tłuszcze to zróżnicowana grupa związków, w skład której wchodzą zarówno tłuszcze proste (triacyloglicerole), jak i złożone (m.in. fosfolipidy), a także wolne kwasy tłuszczowe czy steroidy. Tłuszcze pokarmowe są przede wszystkim źródłem energii niezbędnej do funkcjonowania organizmu, w tym prawidłowej pracy mózgu (tłuszcze stanowią ponad 50% jego masy). Ponadto tłuszcz pokarmowy stanowi źródło składników do budowy komórek oraz jest nośnikiem i ułatwia wchłanianie witamin rozpuszczalnych w tłuszczach (A, D, E i K) (**ryc. II.4.3.**). O fizjologicznej roli tłuszczów pokarmowych decyduje zawartość w nich różnych rodzajów kwasów tłuszczowych: nasyconych i nienasyconych. Z żywieniowego punktu widzenia najistotniejsze są kwasy nienasycone. Stanowią ważny element strukturalny lipidów budujących błony komórkowe, w tym błony neuronów mózgu i fotoreceptorów siatkówki oka. Wśród nienasyconych kwasów tłuszczowych wyróżnia się grupę **wielonienasyconych kwasów tłuszczowych** (mają więcej niż jedno podwójne wiązanie), których organizm nie potrafi syntetyzować. Substratami do ich syntezy są **kwas linolowy** i **alfa-linolenowy** dostarczane wraz z pokarmami – z tego względu zostały nazwane niezbędnymi nienasyconymi kwasami tłuszczowymi (NNKT). Kwasy te biorą udział w przemianach cholesterolu, a kwas linolenowy obniża jego frakcję LDL, której wysoki poziom grozi rozwojem miażdżycy. **Kwasy NNKT** z grupy omega-3 (n-3), tj. eikozapentaenowy (EPA), dokozapentaenowy (DPA), dokozaheksaenowy (DHA), wykazują działanie neuroprotekcyjne, czyli chronią komórki nerwowe przed uszkodzeniem. Kwas DHA wchodzi w skład fosfolipidów błon komórek nerwowych i siatkówki oka. Kwas EPA jest wyjściowym substratem substancji biologicznie czynnych, m.in. regulujących ciśnienie krwi i pracę nerek oraz biorących udział w procesie krzepnięcia krwi. Niedobór NNKT może prowadzić do zmian skórnych, zahamowania wzrostu oraz zaburzeń w funkcjonowaniu narządów i tkanek. Szczególnie istotne znaczenie ma dostarczanie w odpowiednich ilościach kwasów **omega-3** w okresie prenatalnym (w życiu płodowym) i niemowlęcym, gdyż wpływają one na dojrzewanie układu nerwowego oraz narządu wzroku. U osób dorosłych wykazują działanie ochronne w stosunku do układu sercowo-naczyniowego i nerwowego, a także wykazują działanie przeciwzapalne, antyalergiczne oraz antyoksydacyjne. Niedobór tłuszczu zwiększa ryzyko niedoboru witamin rozpuszczalnych w tłuszczach. Najlepszym źródłem kwasu alfa-linolenowego są oleje (rzepakowy, lniany), zielone warzywa i orzechy. Dużą zawartością kwasu DHA odznaczają się ryby (m.in. śledź, tuńczyk, pstrąg) oraz jadalne skorupiaki i mięczaki.

kwasy NNKT

Ryc. II.4.3. Źródłem nienasyconych kwasów tłuszczowych (w tym NNKT) są tłuszcze roślinne.

węglowodany pokarmowe

Węglowodany pokarmowe

Źródłem węglowodanów w diecie są przetwory zbożowe, owoce, warzywa, nasiona strączkowe, mleko i jego przetwory, soki oraz cukier i miód. Węglowodany dostępne w pokarmach można podzielić na przyswajalne (dostępne) i nieprzyswajalne dla organizmu człowieka. Węglowodany przyswajalne są trawione i wchłanianie w organizmie. Wśród tych związków znajdują się wszystkie grupy węglowodanów, do których należą monosacharydy: glukoza, fruktoza, galaktoza, disacharydy: sacharoza, maltoza, laktoza, a także polisacharydy: skrobia, glikogen. Węglowodany nieprzyswajalne nie ulegają enzymatycznemu trawieniu w jelicie cienkim, a w jelicie grubym podlegają częściowej fermentacji przez bytujące tam bakterie. Do takich węglowodanów zalicza się celulozę, pektyny, inulinę oraz skrobię oporną (nieulegającą trawieniu przez enzymy układu trawiennego). Węglowodany stanowią podstawowe źródło energii dla większości komórek organizmu – przede wszystkim dla tkanek, które nie mogą korzystać z innego źródła energii, czyli tkanki nerwowej oraz erytrocytów. Aby zapewnić ich prawidłowe funkcjonowanie, poziom glukozy we krwi musi być utrzymywany na stałym poziomie. Z tego względu powinny być dostarczane wraz z pokarmami codziennie w odpowiednich ilościach. Węglowodany pełnią też funkcję zapasową – glukoza jest magazynowana w postaci glikogenu w wątrobie i w mięśniach. Cukry proste są składnikami makrocząsteczek komórkowych, np. ryboza i deoksyryboza wchodzą w skład kwasów nukleinowych (RNA i DNA). Węglowodany nieprzyswajalne to składniki **błonnika pokarmowego**. Błonnik pokarmowy nadaje treści pokarmowej odpowiednią konsystencję, ułatwia jej przesuwanie się i trawienie. Reguluje perystaltykę, a także wpływa na sprawniejsze trawienie trójglicerydów, obniżenie poziomu cholesterolu, usuwanie toksyn i metali ciężkich. Błonnik reguluje także mechanizmy związane z odczuwaniem głodu i sytości. Część składników błonnika pokarmowego ulega fermentacji prowadzonej przez mikroorganizmy zamieszkujące jelito grube. Produkty tego procesu (m.in. kwas masłowy) zostają wchłonięte i wykorzystane w komórkach organizmu. Źródłem błonnika pokarmowego są przede wszystkim warzywa, owoce, produkty zbożowe (**tab. II.4.1.**). Według Światowej Organizacji Zdrowia (World Health Organization, WHO) dzienne spożycie błonnika powinno wynosić 25 g.

błonnik pokarmowy

Tab. II.4.1. Zawartość błonnika pokarmowego w wybranych produktach spożywczych (w g/100 g produktu)

Produkt	Błonnik pokarmowy	Produkt	Błonnik pokarmowy
otręby pszenne	42,0	migdały	12,9
chleb żytni pełnoziarnisty	9,1	morele suszone	10,3
ryż brązowy	8,7	śliwki suszone	9,4
płatki owsiane	6,9	orzechy laskowe	8,9
płatki kukurydziane	6,6	rodzynki suszone	6,5
chleb słonecznikowy	6,4	słonecznik, nasiona	6,0
kasza gryczana	5,9	marchew	3,6
makaron	2,6	burak	2,2
ryż biały	2,4	jabłko	2,0
bagietka	2,0	truskawki	1,8
herbatniki	1,3	winogrona	1,5
sok wielowarzywny	1,2	sok pomarańczowy klarowany	0,1

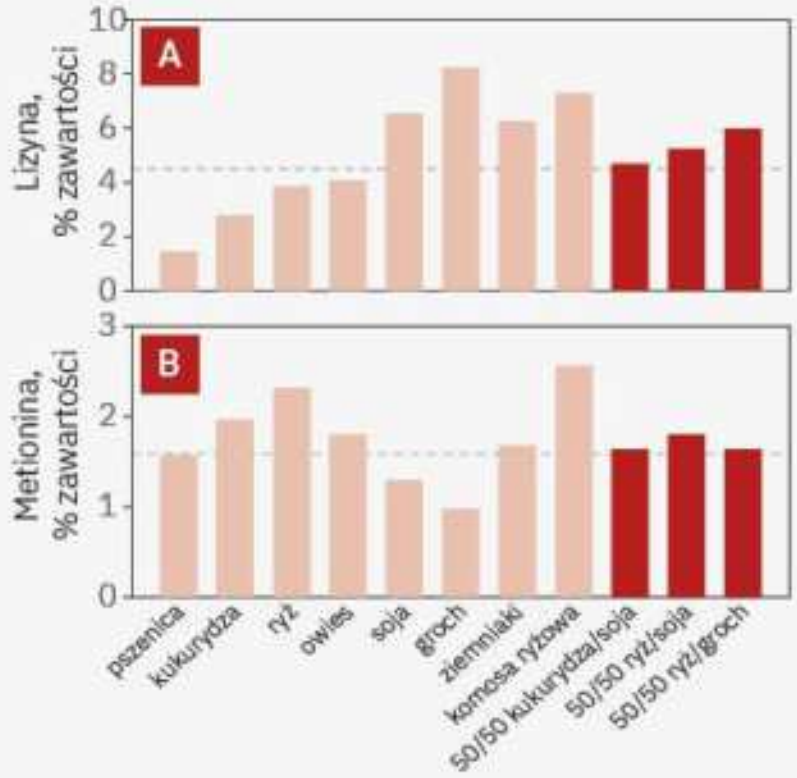
Zarówno długotrwały niedobór węglowodanów, jak i ich nadmiar są dla organizmu bardzo niekorzystne. W przypadku niedoboru dochodzi do hipoglikemii, zaparć, kwasicy ketonowej, a w skrajnych przypadkach nawet do śmierci. Z kolei **nadmierne spożycie cukrów** sprzyja rozwojowi nadwagi, otyłości, próchnicy zębów, cukrzycy i nowotworów. Obecnie bardzo dużym problemem we wszystkich grupach wiekowych jest nadmierna podaż cukrów prostych oraz sacharozy pochodzących ze słodyczy, napojów słodzonych oraz żywności wysoko przetworzonej. To w połączeniu z niską aktywnością fizyczną grozi rozwojem wielu chorób, m.in. sercowo-naczyniowych.

nadmierne spożycie cukrów

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Narysuj w zeszycie tabelę, w której przedstawisz rodzaje składników odżywczych, ich fizjologiczną rolę oraz źródła pokarmowe.
2. Oceń prawdziwość zdań dotyczących funkcji błonnika pokarmowego.
   A. Błonnik pokarmowy skraca czas przejścia pokarmu przez jelita oraz zwiększa objętość stolca.
   B. Błonnik pokarmowy stymuluje procesy fermentacyjne w jelicie grubym.
   C. Błonnik pokarmowy obniża poziom cholesterolu i glukozy we krwi.
   D. Nadmierne spożycie błonnika pokarmowego może zmniejszać skuteczność działania leków.
3. W sklepach są dostępne produkty i suplementy zawierające błonnik. Na ich opakowaniach widnieje informacja „źródło błonnika pokarmowego", co oznacza, że zawartość błonnika w danym produkcie wynosi 3 g/100 g. Z kolei informacja „wysoka zawartość błonnika pokarmowego" mówi o tym, że zawartość błonnika w danym produkcie wynosi 6 g/100 g produktu. W sklepie, w którym robisz zakupy, znajdź produkty zawierające takie informacje. Wypisz ich przykłady w zeszycie.

4. Na wykresach przedstawiono zawartość dwóch aminokwasów egzogennych (jako procent zawartości całkowitego białka) w wybranych produktach spożywczych. Przerywaną linią zaznaczono dzienne zapotrzebowanie na te aminokwasy dla dorosłego człowieka.



a) Porównaj zawartość obu aminokwasów w produktach i odnieś ją do dziennego zapotrzebowania na te związki.

b) Wyjaśnij, dlaczego wegetarianie i weganie powinni zwracać szczególną uwagę na właściwe komponowanie pokarmów w swojej diecie.

5. Wytłumacz, dlaczego dostępne na rynku preparaty mlekozastępcze dla niemowląt i dzieci zawierają kwas DHA.

PODSUMOWANIE LEKCJI

s. 139 • O wartości odżywczej pokarmów decyduje zawartość w nich **składników odżywczych**.

s. 139 • **Składnikami odżywczymi** są białka, węglowodany, tłuszcze, witaminy oraz sole mineralne.

s. 139 • **Normy żywieniowe** określają ilość składników odżywczych koniecznych do zaspokojenia potrzeb życiowych u zdrowych ludzi.

s. 139 • **Białka** warunkują prawidłowy wzrost i rozwój człowieka. Ponadto są źródłem aminokwasów egzogennych i azotu.

s. 140 • Większość **białek pełnowartościowych** zawartych w pokarmach jest pochodzenia zwierzęcego.

s. 140 • **Niedobory białka** są zagrożeniem dla zdrowia i życia.

s. 141 • **Tłuszcze pokarmowe** są niezbędne do prawidłowego funkcjonowania mózgu i stanowią źródło niezbędnych nienasyconych kwasów tłuszczowych (NNKT): linolowego i alfa-linolenowego.

s. 141 • **NNKT** z grupy omega-3 są niezbędne do prawidłowego funkcjonowania mózgu i narządu wzroku.

s. 142 • **Węglowodany pokarmowe** są podstawowym źródłem energii dla komórek oraz błonnika pokarmowego regulującego m.in. pracę układu pokarmowego.

s. 143 • **Nadmierne spożycie cukrów** prostych i sacharozy zwiększa ryzyko chorób.

5. Rola witamin i minerałów w diecie

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz rodzaje i funkcje witamin;
- zrozumiesz, jaka jest biologiczna rola soli mineralnych;
- zapoznasz się z funkcjami wody w organizmie;
- dowiesz się, czym są suplementy diety i kiedy można je stosować.

Witaminy w diecie

Witaminy to organiczne związki o zróżnicowanej budowie chemicznej oraz funkcjach w organizmie. Są one niezbędne do właściwego wzrostu i rozwoju człowieka. Człowiek nie potrafi syntetyzować witamin i musi dostarczać je z pożywieniem (wyjątek stanowi m.in. witamina D, która powstaje w skórze pod wpływem słońca). Mimo że człowiek potrzebuje znikomej ilości witamin, ich długotrwały niedobór – tzw. awitaminoza – prowadzi do zaburzeń w funkcjonowaniu organizmu (**tab. II.5.1.**). Z kolei zbyt duże spożycie witamin może prowadzić do **hiperwitaminozy** (choroby wywołanej nadmiarem witamin w organizmie). Najbardziej podstawowy podział witamin obejmuje **witaminy rozpuszczalne w tłuszczach** (A, D, E i K) oraz **witaminy rozpuszczalne w wodzie** (witaminy z grupy B oraz witamina C). W **tabelach II.5.1. i II.5.2.** przedstawiono najważniejsze informacje dotyczące witamin obu grup.

skutki nadmiaru i niedoboru witamin

witaminy rozpuszczalne w tłuszczach

witaminy rozpuszczalne w wodzie

Tab. II.5.1. Charakterystyka witamin rozpuszczalnych w tłuszczach

Witamina*	Rola w organizmie	Źródło	Skutki niedoboru i nadmiaru
A (retinol)	• niezbędna w procesie widzenia • warunkuje prawidłowy wzrost i rozwój kości • warunkuje prawidłowy stan skóry	• tran • wątroba • masło • mleko • owoce i warzywa	**Niedobór:** • sucha skóra • rogowaciejący naskórek • kurza ślepota • zahamowanie wzrostu • infekcje **Nadmiar:** • przebarwienia skóry • wypadanie włosów • powiększenie wątroby
D (kalcyferol)	• warunkuje wchłanianie wapnia i fosforu z jelit • wzbogaca zęby i kości w sole wapnia	• tran • wątroba • masło • mleko • jaja • drożdże • powstaje w skórze pod wpływem promieniowania UV	**Niedobór:** • wypadanie zębów • osłabienie mięśni • rozmiękczenie kości • krzywica u dzieci **Nadmiar:** • nadmierne odkładanie wapnia w ścianach naczyń krwionośnych • depresja

Witamina*	Rola w organizmie	Źródło	Skutki niedoboru i nadmiaru
E (tokoferol)	• chroni przed chorobami sercowo-naczyniowymi, nowotworami, schorzeniami neurodegeneracyjnymi • antyoksydant, który przeciwdziała utlenianiu lipidów błonowych i witamin	• oleje roślinne • orzechy • nasiona • kiełki pszenicy • warzywa i owoce	**Niedobór:** • plamy starcze i zły stan skóry **Nadmiar:** • brak
K (filochinon)	• bierze udział w procesie krzepnięcia krwi oraz w przemianach kostnych	• ciemnozielone warzywa • wątroba • syntetyzowana przez bakterie jelitowe	**Niedobór:** • zaburzenia pracy jelit • zaburzenia krzepnięcia krwi • utrudnione gojenie się ran **Nadmiar:** • niedokrwistość i podwyższony poziom bilirubiny we krwi

* Zapotrzebowanie organizmu na witaminy różni się dla poszczególnych grup wiekowych i jest uzależnione od płci, stopnia aktywności fizycznej oraz stanu fizjologicznego.

Tab. II.5.2. Charakterystyka witamin rozpuszczalnych w wodzie

Witamina*	Rola w organizmie	Źródło	Skutki niedoboru
B_1 (tiamina)	• warunkuje prawidłową pracę układu nerwowego i pokarmowego • wpływa na metabolizm węglowodanów • bierze udział w utlenianiu komórkowym (jako składnik enzymów)	• pełne ziarna • drożdże • wątroba • pełnoziarniste pieczywo	• pobudliwość nerwowa • choroba beri-beri (drżenie i osłabienie mięśni, niewydolność układu krążenia) • brak apetytu • apatia
B_2 (ryboflawina)	• składnik enzymów • bierze udział w metabolizmie węglowodanów i tłuszczów • niezbędna do wzrostu organizmu i produkcji krwinek czerwonych	• mleko • przetwory mleczne • mięso • ryby • wątroba • pełne ziarna • warzywa	• pęknięcia kącików ust • zaczerwienie oczu • wrażliwość na światło • brak koncentracji
B_6 (pirydoksyna)	• uczestniczy w przemianie aminokwasów • stymuluje zaopatrywanie komórek nerwowych w glukozę • warunkuje prawidłową syntezę przeciwciał i erytrocytów	• drożdże • wątroba • warzywa • owoce • rośliny strączkowe	• zmęczenie • stany depresyjne i lękowe • matowa skóra • rozdrażnienie

Witamina	Rola w organizmie	Źródło	Skutki niedoboru
Kwas foliowy	• niezbędny w syntezie kwasów nukleinowych • warunkuje prawidłowy rozwój układu nerwowego u płodu • stymuluje pracę układu odpornościowego	• warzywa liściaste • wątroba • drożdże • syntetyzowany w jelitach przez bakterie	• anemia • wady wrodzone płodu (wady cewy nerwowej) • poronienia
B_{12} (kobalamina)	• uczestniczy w przemianach białek, tłuszczów, cukrów • bierze udział w syntezie białych i czerwonych krwinek	• wątroba • żółtko jaja • kiełki • ryby • syntetyzowana przez bakterie jelitowe	• anemia złośliwa • zaburzenia na tle nerwowym
PP (niacyna)	• obniża poziom cholesterolu • rozszerza naczynia krwionośne • jest składnikiem enzymów	• mięso • wątroba • ryby • warzywa liściaste • ziemniaki	• pelagra (zmiany zapalne skóry, zmęczenie, osłabienie mięśni) (**ryc. II.5.1.**) Ryc. II.5.1. Podłożem pelagry jest niedobór niacyny.
C (kwas askorbinowy)	• stymuluje układ odpornościowy • niezbędna do syntezy kolagenu • poprawia wchłanianie żelaza • wzmacnia zęby i dziąsła	• świeże i kiszone owoce oraz warzywa (m.in. dzika róża, papryka, kiwi, cytrusy)	• krwawienie z dziąseł • kruchość naczyń krwionośnych • obniżenie odporności • szkorbut

Związki mineralne oraz woda

woda i sole mineralne

Woda i sole mineralne są niezbędne do prawidłowego funkcjonowania organizmu. Woda ze względu na swoje właściwości fizykochemiczne umożliwia aktywność życiową komórek. U osoby dorosłej stanowi około 60% masy ciała. Najwięcej wody zawierają: płyn mózgowo-rdzeniowy, szpik, osocze krwi i mózg. Dostarczanie wody w odpowiedniej ilości jest niezbędne do:

- utrzymania stałej temperatury ciała;
- prawidłowego przebiegu procesów metabolicznych;

- prawidłowego procesu trawienia i wchłaniania składników odżywczych;
- skutecznego wydalania produktów przemiany materii oraz toksyn;
- regulacji gospodarki kwasowo-zasadowej organizmu.

Źródłem wody dla człowieka są napoje oraz pokarmy. Wszystkie produkty spożywcze zawierają wodę, ale największą jej ilością cechują się warzywa i owoce. Osobom dorosłym zaleca się przyjmowanie minimum 1,5 l wody dziennie (bez uwzględniania wody przyjmowanej z pokarmami). Należy jednak pamiętać, że woda jest wydalana z moczem, kałem, wydychanym powietrzem oraz przez skórę, dlatego musi być uzupełniana. Dodatkowe jej ilości należy pić w czasie upałów, wzmożonego wysiłku fizycznego czy choroby, gdyż wtedy tracimy więcej wody. **Składniki mineralne** stanowią około 4–5% masy ciała człowieka (większość jest wbudowana w składniki strukturalne komórki). Ich działanie w organizmie jest różnorodne: stanowią materiał budulcowy kości, zębów, skóry i włosów, wchodzą w skład makrocząsteczek komórki, np. enzymów, a także utrzymują i regulują równowagę kwasowo-zasadową. Składniki mineralne podzielono na **makroelementy** (m.in. węgiel, wodór, tlen, azot, siarka, fosfor, wapń, magnez, potas, sód) oraz **mikroelementy** (m.in. żelazo, cynk, jod). Spośród makroelementów węgiel, wodór, tlen, azot, siarka i fosfor to tzw. **pierwiastki biogenne**, które są podstawowymi składnikami wszystkich związków budujących organizm. Pozostałe składniki mineralne regulują szereg kluczowych czynności fizjologicznych, dlatego muszą być dostarczane wraz z pokarmami w odpowiedniej ilości i formie. W **tabelach II.5.3.** i **II.5.4.** przedstawiono funkcje wybranych makro- i mikroelementów.

składniki mineralne

makro- i mikroelementy

Tab. II.5.3. Charakterystyka wybranych mikroelementów

Pierwiastek	Rola w organizmie	Źródło	Skutki niedoboru
		MIKROELEMENTY	
Żelazo	• składnik hemoglobiny, mioglobiny, enzymów	wątroba, żółtka jaj, ciemne pieczywo, rośliny strączkowe, orzechy, warzywa	• anemia • zaburzenia wchłaniania witamin z grupy B • arytmia serca
Cynk	• stymuluje pracę układu odpornościowego • jest niezbędny przy podziale komórek • stymuluje gojenie się ran • bierze udział w metabolizmie tłuszczów	wątroba, owoce morza, ziarna zbóż, orzechy, warzywa i owoce	• łamliwość włosów i paznokci • utrudnione gojenie się ran
Jod	• składnik hormonów tarczycy • warunkuje prawidłową przemianę materii	sól jodowana, ryby morskie	• powiększenie tarczycy i zaburzenia jej funkcjonowania • upośledzenie umysłowe

Tab. II.5.4. Charakterystyka wybranych makroelementów

Pierwiastek	Rola w organizmie	Źródło	Skutki niedoboru
	MAKROELEMENTY		
Azot	składnik aminokwasów, białek, kwasów nukleinowych, witamin, fosfolipidów	pokarmy pochodzenia roślinnego i zwierzęcego	zahamowanie wzrostu i rozwoju
Wapń	składnik zębów, kości, płynów ustrojowych; bierze udział w skurczu mięśni i procesach krzepnięcia krwi	mleko i przetwory mleczne, warzywa, jaja	łamliwość kości, krzywica, wypadanie zębów, zaburzenia krzepnięcia krwi, zaburzenia pracy układów nerwowego i mięśniowego
Magnez	bierze udział w procesach utleniania biologicznego, trawienia tłuszczów; składnik enzymów; ułatwia przyswajanie witaminy C i wapnia	orzechy, kakao, rośliny strączkowe, warzywa i owoce (m.in. banany)	rozdrażnienie, przykurcz mięśni, zaburzenia pracy serca, migreny
Potas	bierze udział w przewodzeniu nerwowym i skurczu mięśni; wpływa na ciśnienie osmotyczne płynów ustrojowych	brokuły, rośliny strączkowe, kakao, ziemniaki, szpinak, pomidory	zwolnienie reakcji na bodźce, suchość skóry, przykurcze mięśni
Sód	bierze udział w przewodnictwie nerwowym, reguluje ciśnienie płynów pozakomórkowych i gospodarkę wodną	sól kuchenna, owoce morza, ryby	zaburzenia w przewodnictwie nerwowym, wzrost ciśnienia krwi
Fosfor	składnik zębów i kości; buduje kwasy nukleinowe, ATP	mleko, przetwory mleczne, ziarna zbóż, ryby	zaburzenia wielu procesów metabolicznych

Suplementy diety

We współczesnym świecie stosowanie **suplementów diety** jest bardzo rozpowszechnione. Według ustawy o bezpieczeństwie żywności i żywienia suplementy diety to „środki spożywcze, których celem jest uzupełnienie normalnej diety, będące skoncentrowanym źródłem witamin, składników mineralnych lub innych substancji, wykazujących efekt odżywczy lub inny fizjologiczny [...]". Należy podkreślić, że suplementy diety nie są lekami. Preparaty te mogą stanowić jeden ze sposobów uzupełnienia niedoborów witamin czy składników mineralnych. Składnikami suplementów mogą być także aminokwasy, kwasy tłuszczowe, błonnik pokarmowy, probiotyki i prebiotyki czy wybrane substancje roślinne. Suplementy diety mogą być stosowane w czasie ich zwiększonego zapotrzebowania (np. w czasie ciąży zaleca się suplementację m.in. kwasem foliowym czy witaminą D) lub ograniczonego ich przyswajania (np. u ludzi starszych). Niewłaściwe stosowanie suplementów diety (np. kilku preparatów jednocześnie lub łącznie z lekami) może zagrażać życiu

suplementy diety

i zdrowiu. Decyzja o rozpoczęciu suplementacji powinna być zasadna i poprzedzona konsultacją z lekarzem lub dietetykiem. Dotychczasowe badania naukowe wykazały, że u ludzi zdrowych, stosujących zrównoważoną dietę i aktywnych fizycznie stosowanie suplementów diety nie jest uzasadnione.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Spośród wymienionych poniżej witamin wybierz te, które rozpuszczają się w tłuszczach, i omów ich fizjologiczną rolę.

kwas askorbinowy, kobalamina, tokoferol, ryboflawina, retinol, biotyna, kwas foliowy

2. Przerysuj do zeszytu tabelę dotyczącą skutków niedoborów wybranych witamin u człowieka i ją uzupełnij.

Witamina	Skutki niedoboru
...	wady cewy nerwowej u płodu
...	pelagra
...	ślepota zmierzchowa
...	szkorbut

3. Przeczytaj poniższy tekst, a następnie wykonaj ustnie polecenia.

Pierwiastek ten jest elektrolitem, przez co kontroluje pracę mięśni. Umożliwia generowanie impulsów elektrycznych w mięśniach, w tym w sercu. Jest antagonistą sodu i jego przeciwstawne działanie polega m.in. na zmniejszaniu objętości płynów zewnątrzkomórkowych, przez co pomaga kontrolować ilość wody w organizmie. Odpowiada za utrzymanie prawidłowego ciśnienia krwi poprzez jego obniżanie.

a) Podaj nazwę opisanego pierwiastka.

b) Wymień źródła pokarmowe tego pierwiastka.

4. Wyjaśnij, dlaczego w trakcie biegunki należy uzupełniać płyny. Podaj cztery argumenty uzasadniające twoją odpowiedź.

PODSUMOWANIE LEKCJI

s. 145
- **Witaminy dzieli się na rozpuszczalne w tłuszczach** (A, D, E i K) oraz **rozpuszczalne w wodzie** (m.in. B_1, B_2, C).

s. 145
- Witaminy są niezbędne do prawidłowego funkcjonowania organizmu, o czym świadczą **skutki ich niedoboru** (m.in. anemia, wady wrodzone płodu, pelagra).

s. 145
- **Nadmiar witamin** prowadzi do zaburzeń w funkcjonowaniu organizmu.

s. 147
- **Woda** zapewnia aktywność życiową komórek i musi być dostarczana w odpowiedniej ilości, a jej ubytki należy uzupełniać.

s. 148
- **Mikro- i makroelementy** są składnikami enzymów oraz regulują wiele reakcji metabolicznych.

s. 149
- Stosowanie **suplementów diety** (m.in. preparatów witaminowych) musi być zasadne i skonsultowane z lekarzem.

6. Zasady zdrowego żywienia

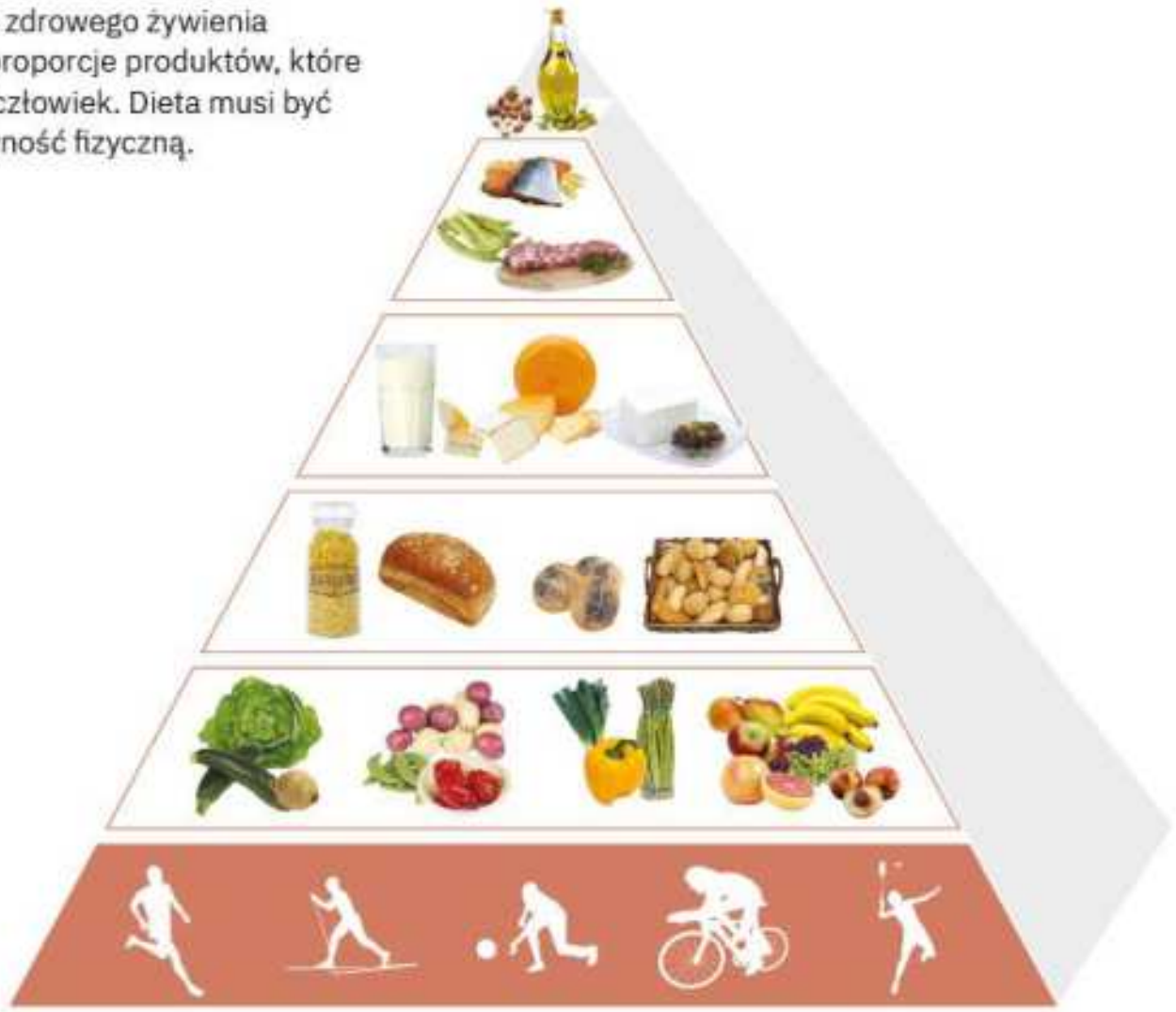
NA TEJ LEKCJI:

- poznasz rolę żywienia w utrzymaniu zdrowia u ludzi;
- przeanalizujesz zasady zrównoważonego żywienia;
- dowiesz się, ile energii potrzebuje organizm.

prawidłowy rozwój

Właściwe żywienie jest podstawą prawidłowego rozwoju i utrzymania dobrego zdrowia człowieka. W czasie wzrostu i rozwoju organizmu odpowiednia podaż składników odżywczych warunkuje dobre zdrowie, samopoczucie, wpływa na funkcje poznawcze, a także zapobiega wielu schorzeniom w późniejszych okresach życia. Dlatego w dzieciństwie i młodości należy kształtować prawidłowe nawyki żywieniowe, które wraz z aktywnością fizyczną leżą u podstaw prawidłowego rozwoju organizmu. Prawidłowe żywienie polega na dostarczeniu w ciągu doby właściwych proporcji niezbędnych związków: białek, tłuszczów, węglowodanów, witamin, soli mineralnych oraz wody. Dieta skomponowana w ten sposób nazywa się **dietą zrównoważoną**. Ideę zrównoważonego żywienia przedstawiono na piramidzie zdrowego żywienia (**ryc. II.6.1.**), która w graficzny sposób pokazuje proporcje grup produktów spożywczych niezbędnych w codziennej diecie. Im wyżej dany produkt znajduje się na piramidzie, tym częstość i ilość jego spożywania powinna być mniejsza.

Ryc. II.6.1. Piramida zdrowego żywienia przedstawia ilości i proporcje produktów, które powinien spożywać człowiek. Dieta musi być uzupełniona o aktywność fizyczną.



piramida zdrowego żywienia

Stosuj zasady zrównoważonego żywienia wynikające z informacji przedstawionych na **piramidzie zdrowego żywienia**:

- spożywaj posiłki regularnie (5 posiłków co 3–4 godziny);
- twoja dieta powinna zawierać dużo warzyw i owoców oraz produkty zbożowe, pełnoziarniste, gdyż są one źródłem witamin, mikroelementów oraz błonnika pokarmowego, przez co zmniejszają ryzyko wystąpienia wielu chorób, w tym otyłości czy nowotworów;
- w twojej diecie powinno się znaleźć mleko i jego przetwory, gdyż są one źródłem wapnia, białka oraz witamin;
- jedz ryby, nasiona roślin strączkowych, jajka oraz chude mięso, ponieważ zawierają one pełnowartościowe białka, witaminy oraz NNKT;
- ogranicz spożycie produktów przetworzonych i tłuszczów zwierzęcych, bo zawierają one znaczne ilości nasyconych kwasów tłuszczowych w formie trans;
- unikaj spożywania cukru, słodyczy, słodkich napojów, soli i słonych przekąsek oraz jedzenia typu fast food, gdyż wpływają one niekorzystnie na organizm, a ich spożycie zwiększa ryzyko rozwoju chorób sercowo-naczyniowych;
- pij dużo wody do posiłków i między posiłkami;

aktywność fizyczna

- zadbaj o aktywność fizyczną (codzienne ok. 60 min).

zapotrzebowanie organizmu na energię

Oprócz prawidłowo skomponowanych posiłków dieta musi uwzględniać **zapotrzebowanie organizmu na energię**, której dostarczają składniki pożywienia. Energia uwalnia się w czasie utleniania tych składników. Najwięcej energii można otrzymać z tłuszczów (1 g dostarcza 37,7 kJ, czyli 9 kcal), podczas gdy z węglowodanów i białek zyskuje się ponad połowę mniej energii (1 g tych związków dostarcza 4 kcal). Zapotrzebowanie na energię zależy od wieku, płci, stanu fizjologicznego oraz aktywności fizycznej (**tab. II.6.1.**).

Tab. II.6.1. Zapotrzebowanie energetyczne (kcal/dobę) osób w różnym wieku i o różnej aktywności fizycznej

Płeć	Wiek (lata)	Tryb		
		siedzący	umiarkowanie aktywny	aktywny
Dziecko	2–3	1000	1000–1400	1000–1400
Kobieta	4–8	1200	1400–1600	1400–1800
	9–13	1600	1600–2000	1800–2200
	14–18	1800	2000	2400
	19–39	2000	2000–2200	2400
	31–50	1800	2000	2200
	51+	1600	1800	2000–2200
Mężczyzna	4–8	1400	1400–1600	1600–2000
	9–13	1800	1800–2200	2000–2600
	14–18	2200	2400–2800	2800–3200
	19–39	2400	2600–2800	3000
	31–50	2200	2400–2500	2800–3000
	51+	2000	2200–2400	2400–2800

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Narysuj w zeszycie schemat piramidy zdrowego żywienia. Na odpowiednich poziomach wpisz podane niżej pojęcia.

   zboża i produkty pełnoziarniste, nasiona i orzechy, mleko i przetwory mleczne, warzywa i owoce, mięso i ryby, oleje roślinne, aktywność fizyczna

2. Przez trzy dni notuj na kartce dokładny skład swoich całodziennych posiłków. Sporządzoną listę porównaj z zaleceniami piramidy zdrowego żywienia i odpowiedz ustnie na poniższe pytania.

   a) Czy twoja dieta jest zrównoważona?

   b) Co powinieneś/powinnaś zmienić w swojej diecie?

   c) Czy pijesz zalecaną ilość wody?

PODSUMOWANIE LEKCJI

- Właściwe żywienie jest podstawą **prawidłowego wzrostu i rozwoju człowieka**. ◂ s. 151
- Zasady zdrowego żywienia w postaci **piramidy zdrowego żywienia** podają proporcje niezbędnych składników odżywczych w codziennej diecie. ◂ s. 152
- Na zdrowie człowieka wpływa zrównoważona dieta oraz regularna, **umiarkowana aktywność fizyczna**. ◂ s. 152
- Prawidłowa dieta uwzględnia **zapotrzebowanie organizmu na energię**, która uwalnia się w czasie spalania składników pożywienia. ◂ s. 152

7. Budowa i funkcje układu pokarmowego

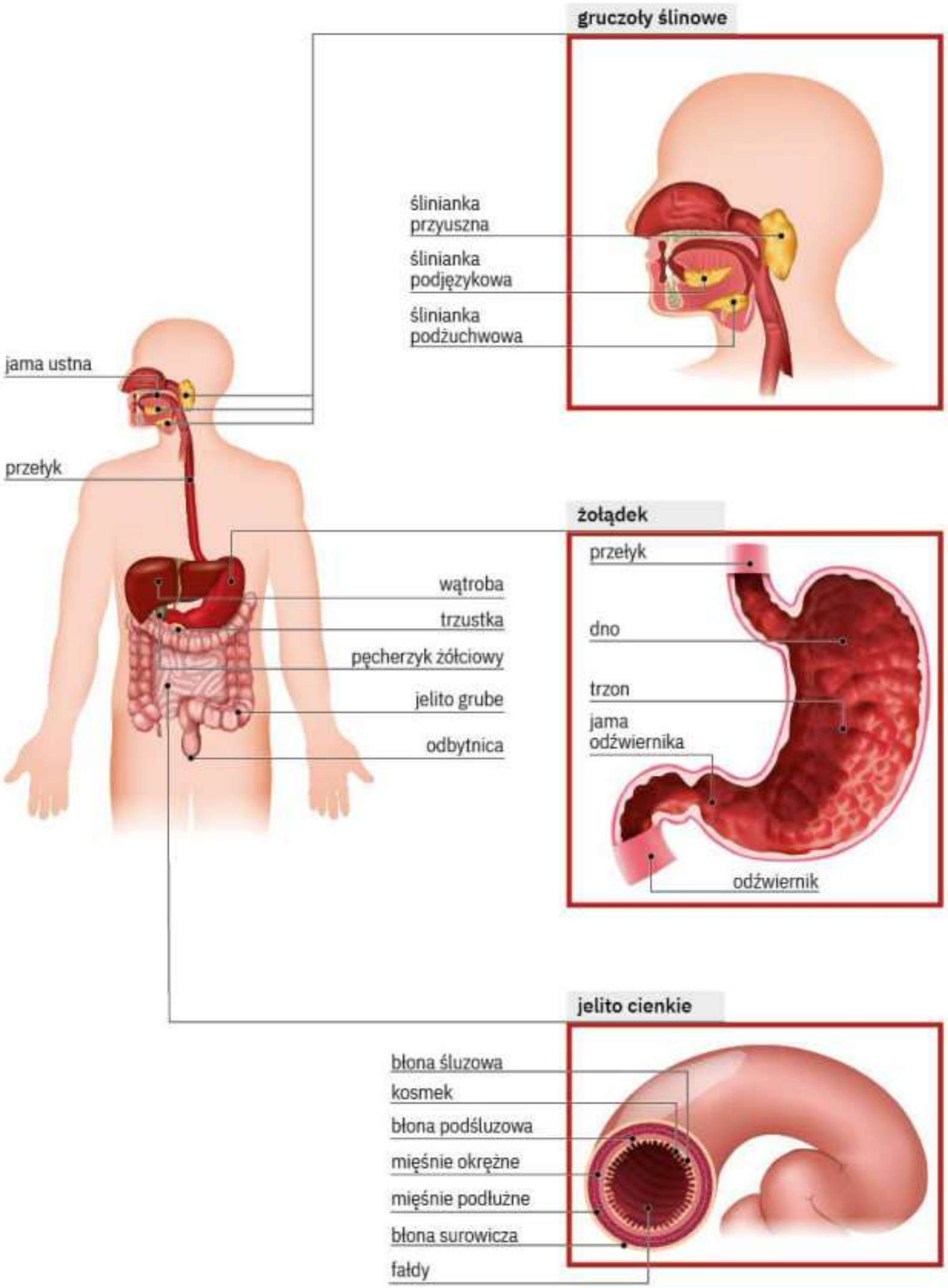
NA TEJ LEKCJI:

- dowiesz się, jak jest zbudowany układ pokarmowy człowieka;
- poznasz budowę i funkcje poszczególnych odcinków układu pokarmowego.

Przez pojęcie **układ pokarmowy** rozumiemy jego elementy, czyli przewód pokarmowy i towarzyszące mu narządy pomocnicze, oraz procesy rozdrabniania, trawienia i wchłaniania odbywające się na poszczególnych jego poziomach. W układzie pokarmowym produkty, które dostarczamy wraz z dietą, są enzymatycznie rozkładane do związków nadających się do wchłonięcia. Stają się one w dalszej kolejności substratami do budowy nowych komórek, makrocząsteczek oraz do uzyskiwania energii. **Przewód pokarmowy** to długa rura, dzięki której jest możliwe pobieranie i przemieszczanie się pokarmu. W jego skład wchodzą: jama ustna, gardło, przełyk, żołądek, jelito cienkie, jelito grube i odbytnica. Narządami dodatkowymi są ślinianki, trzustka oraz wątroba i drogi żółciowe (**ryc. II.7.1.**).

◂ **układ pokarmowy**

◂ **przewód pokarmowy**



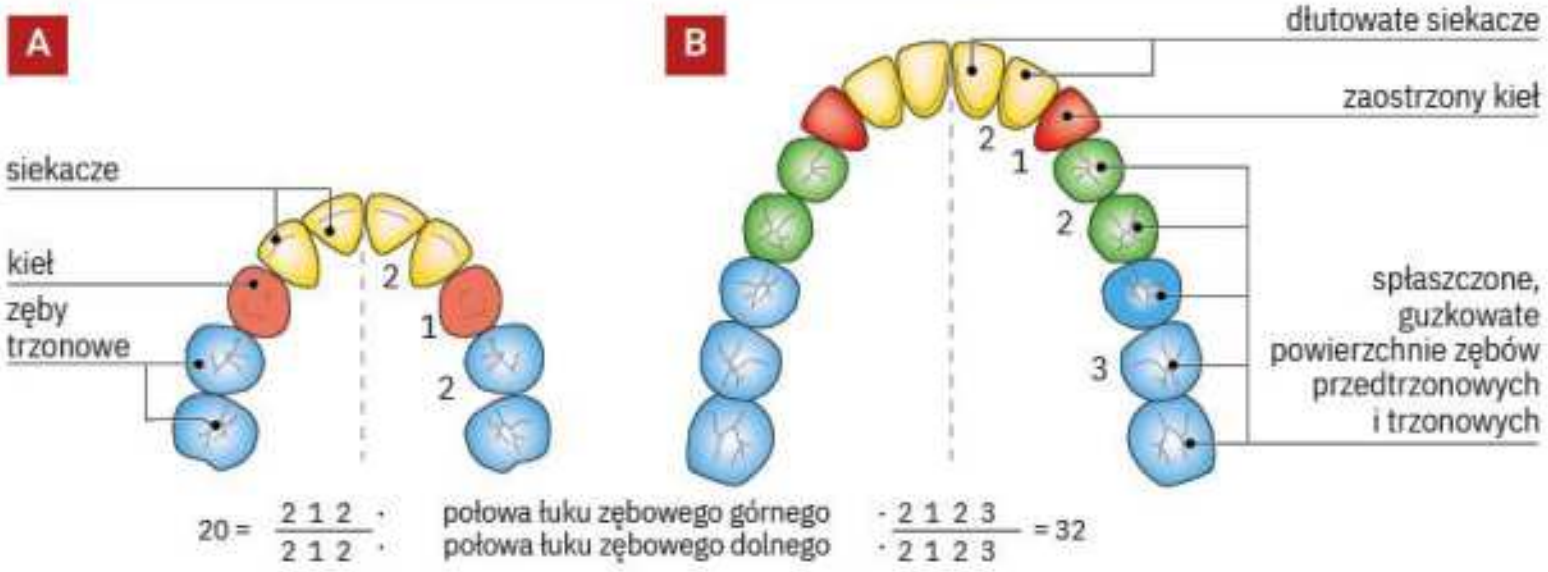
Ryc. II.7.1. Budowa przewodu pokarmowego człowieka.

Budowa i funkcje odcinków przewodu pokarmowego

Jama ustna

jama ustna

Przewód pokarmowy rozpoczyna się w jamie ustnej (**ryc. II.7.2.**). W jamie ustnej w szczęce i żuchwie są osadzone w zębodołach zęby. Człowiek ma dwa komplety zębów: mleczne (tymczasowe) oraz trwałe (stałe) (**ryc. II.7.2.**). Zęby tymczasowe zaczynają się pojawiać około 6. miesiąca życia, a komplet 20 zębów mlecznych jest obecny około 24. miesiąca życia. Zostają one zastąpione przez zęby stałe, które zaczynają pojawiać się około 6. roku życia. Uzębienie stałe liczy 32 zęby (pełną postać uzyskuje ok. 21. roku życia).

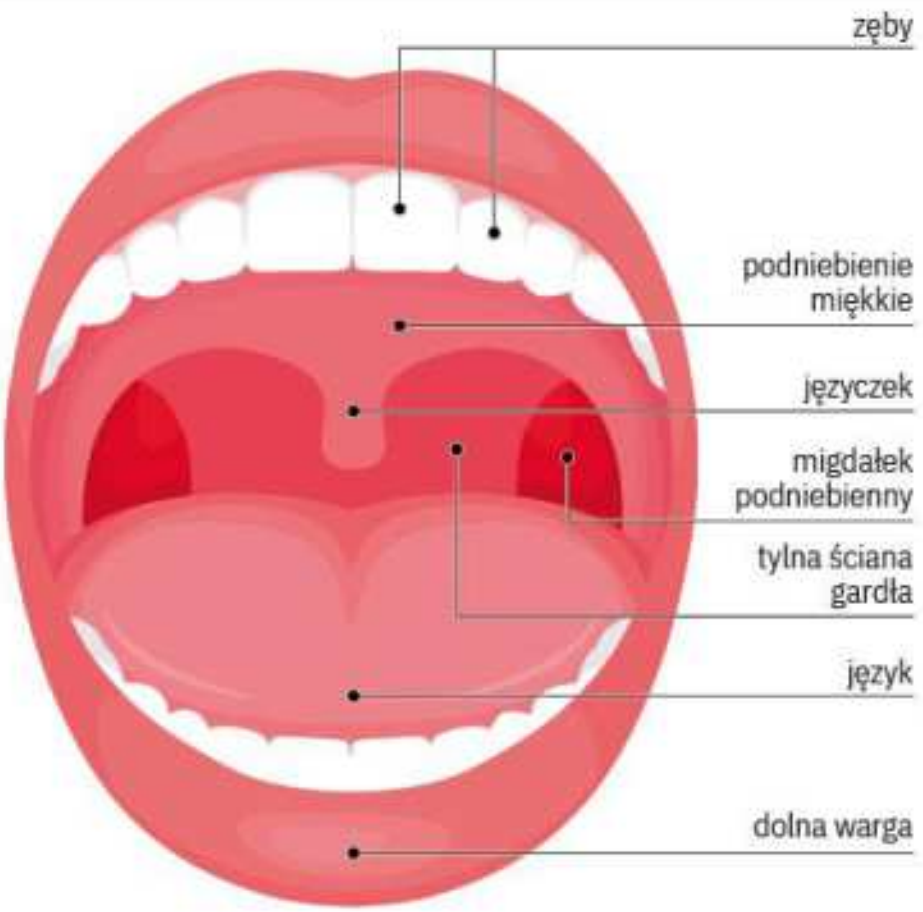


Ryc. II.7.2. Zęby mleczne (A) i zęby stałe (B).

Zęby dorosłego człowieka różnią się rozmiarami i kształtem (**ryc. II.7.3.**), co stanowi przystosowanie do pełnionych przez nie funkcji, czyli rozdrabniania (siekacze i kły) oraz rozcierania i żucia pokarmu (przedtrzonowe i trzonowe). Ząb jest zbudowany z korony, która wystaje ponad dziąsło, szyjki oraz korzenia. W środku znajduje się komora, w której mieszczą się naczynia krwionośne i nerwy. Niewłaściwa higiena jamy ustanej i zębów prowadzi do **próchnicy** powstającej w wyniku działania bakterii (**ryc. II.7.3**.). Bakterie znajdujące się w chorych zębach mogą wraz z krwią przedostawać się do innych narządów i powodować ich choroby. Na dnie jamy ustnej znajduje się **język (ryc. II.7.4.)**, czyli fałd mięśniowy pokryty błoną śluzową. Na górnej powierzchni języka znajdują się liczne brodawki, w których są osadzone **kubki smakowe**, czyli receptory, za pomocą których odczuwamy smak. Język bierze udział w żuciu, połykaniu i mówieniu.

Ryc. II.7.3. Próchnica zębów to efekt działania bakterii.

ślinianki ▸ Do jamy ustnej uchodzą także przewody dużych gruczołów ślinowych, czyli **ślinianek**. Wyróżniamy trzy pary ślinianek: przyuszne, podżuchwowe oraz podjęzykowe (**ryc. II.7.1.**). Ich wydzieliną jest ślina, czyli roztwór wody o pH w zakresie 5,8–7,4, który zawiera m.in.: sole mineralne, enzymy (amylazę ślinową), śluz, lizozym oraz przeciwciała. Wydzielanie śliny jest kontrolowane przez autonomiczny układ nerwowy, ale także może być wywołane przez różne bodźce, np. myśl o jedzeniu. Pod wpływem stresu ilość wydzielanej śliny znacznie się zmniejsza. Tę wiedzę wykorzystywali już w starożytności Chińczycy przy przesłuchiwaniu podejrzanych o przestępstwo. Jeśli podejrzany był w stanie w czasie zeznań wyprodukować tyle śliny, żeby połknąć suchy ryż, wypuszczano go na wolność, jeśli nie – uznawano go za winnego.



Ryc. II.7.4. Jama ustna i jej struktury.

W ciągu doby powstaje około 1,5 l śliny. Do głównych funkcji śliny należy trawienie – dzięki zawartej w ślinie amylazie polisacharydy, m.in. skrobia, są rozkładane do dwucukru maltozy. Ślina również chroni organizm przed drobnoustrojami dzięki zawartym w niej przeciwciałom oraz lizozymowi. Ponadto nadaje kęsom pokarmu poślizg i oczyszcza jamę ustną w okresach między posiłkami.

Gardło i przełyk

gardło ▸ **Gardło** jest wspólną częścią układu pokarmowego i oddechowego. Ma długość około 12 cm. Jest wyposażone w mechanizmy zabezpieczające przed przedostawaniem się pokarmu do tchawicy. Pokarm przechodzi przez gardło do przełyku, a bodźcem do tego jest ciśnienie, jakie powstaje, gdy język przesuwa kęs pokarmu

przełyk ▸ w stronę tylnej części gardła. **Przełyk** osiąga długość do 25 cm, a skurcze jego mięśni umożliwiają transport pokarmu do żołądka. Dolna część przełyku jest oddzielona od żołądka za pomocą **zwieracza przełyku**. Niewłaściwa praca zwieracza przełyku powoduje, że kwas żołądkowy podrażnia ściany przełyku i prowadzi do refluksu żołądkowo-przełykowego, zwanego także **zgagą**.

żołądek ▸ ### Żołądek

Żołądek to rozszerzona część przewodu pokarmowego, którego pojemność u osoby dorosłej wynosi około 1,5 l. W budowie żołądka wyróżniamy dno (od strony przełyku), trzon oraz odźwiernik (graniczący z dwunastnicą) (**ryc. II.7.1.**). W zależności od rodzaju spożywanego pokarmu może on zalegać w żołądku 2–8 h. W tym czasie podlega szeregowi modyfikacji chemicznych i fizycznych. Wyścielająca żołądek

błona śluzowa zawiera **gruczoły żołądkowe**, które wydzielają do jego wnętrza **sok żołądkowy** (ok. 2 l na dobę). W skład soku żołądkowego wchodzą: woda, sole mineralne, śluz, enzymy trawienne oraz kwas solny HCl w stężeniu 0,2–0,5% wydzielany przez komórki okładzinowe. Sok żołądkowy pełni wiele ważnych funkcji:

gruczoły żołądkowe

- zawarta w nim woda upłynnia pokarm, a śluz nadaje pokarmowi poślizg umożliwiający jego mieszanie i przemieszczanie się;
- kwas solny zakwasza pokarm, przez co hamuje działanie amylazy ślinowej oraz zabija drobnoustroje połknięte wraz z jedzeniem;
- zawiera enzym pepsynę, która odpowiada za pierwszy etap trawienia białek (szczególnie wydajnie trawi kolagen, dlatego ma duże znaczenie w trawieniu mięsa); pepsyna jest wydzielana w postaci nieaktywnego pepsynogenu, a przekształcana w aktywny enzym pod wpływem kwasu żołądkowego;
- zawiera enzym lipazę żołądkową, która trawi pewną część trójglicerydów;
- zawiera białko konieczne do wchłaniania witaminy B_{12} w dalszych odcinkach przewodu pokarmowego.

Kwaśne środowisko żołądka jest niezbędnym czynnikiem warunkującym wchłanianie żelaza na dalszych odcinkach.

Komórki żołądka pełnią także funkcje wewnątrzwydzielnicze – wydzielają do krwi hormon zwany **gastryną**. Hormon ten pobudza uwalnianie kwasu żołądkowego. Komórki śluzowe żołądka wydzielają śluz oraz wodorowęglany, których zadaniem jest samoochrona żołądka przed kwasem solnym oraz enzymami. To niezwykle ważny mechanizm chroniący przed uszkodzeniami błony śluzowej żołądka. Zwiększone wydzielanie śluzu następuje w wyniku podrażnienia żołądka spowodowanego przyjmowaniem niektórych leków lub spożywaniem alkoholu.

Jelito cienkie

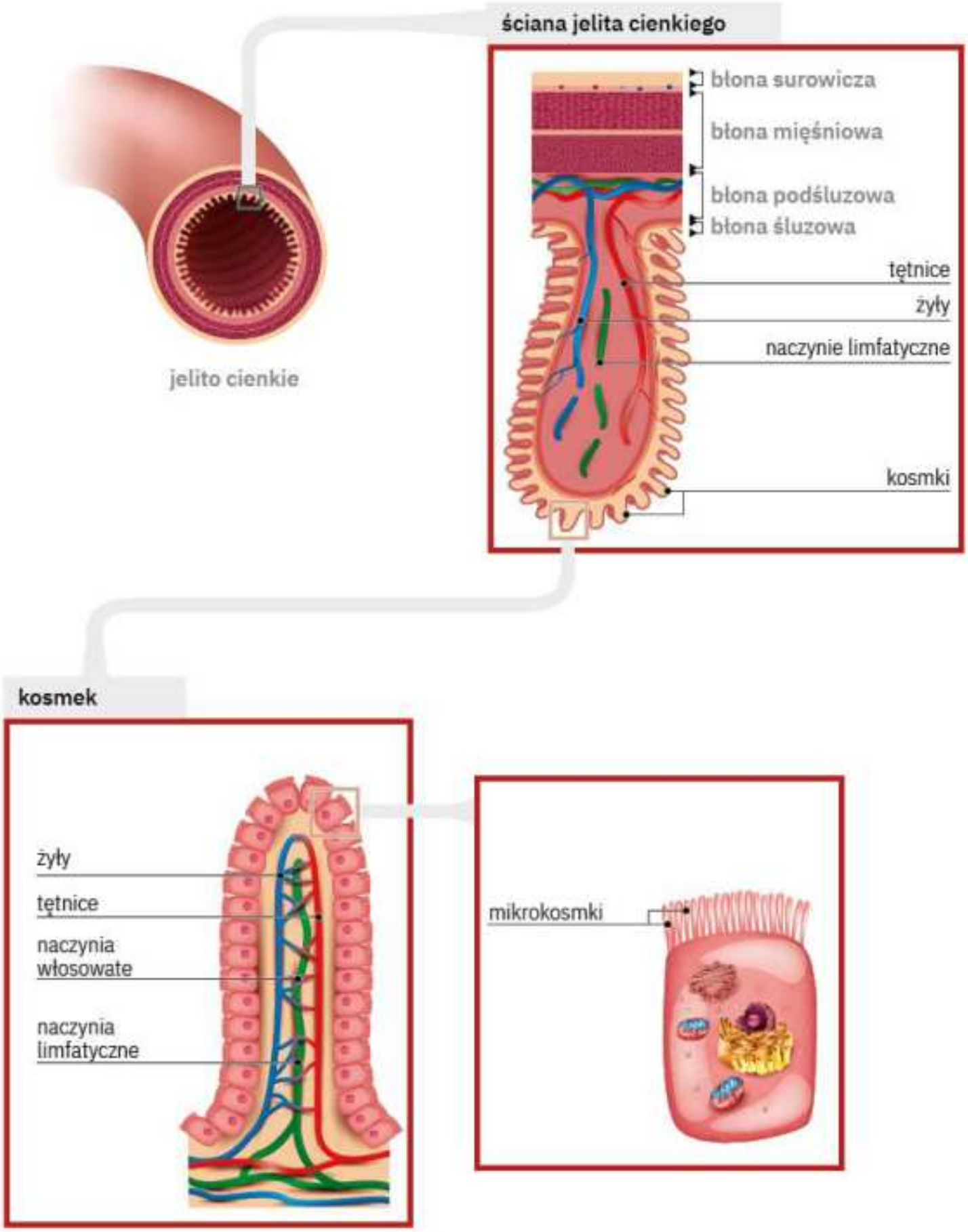
jelito cienkie

Jelito cienkie stanowi przedłużenie żołądka, ma około 3 m długości i przechodzi w jelito grube. W jelicie cienkim zachodzą ostanie etapy **trawienia** enzymatycznego pokarmów oraz rozpoczyna się **wchłanianie** większości składników odżywczych. Jelito cienkie jest zbudowane z trzech części: dwunastnicy, jelita czczego oraz jelita krętego, które łączy się z jelitem grubym. **Dwunastnica** ma około 25 cm długości. Uchodzą do niej wydzieliny pęcherzyka żółciowego oraz trzustki. Ściana jelit składa się z czterech warstw, od strony światła jelita znajdują się kolejno: błona śluzowa, błona podśluzowa, błona mięśniowa, błona surowicza. Wydajne wchłanianie substancji odżywczych w jelicie cienkim jest możliwe dzięki budowie błony śluzowej jelita cienkiego. Na jej powierzchni znajdują się specjalne palcowate wypustki, zwane **kosmkami**, na których występują dodatkowe drobniutkie **mikrokosmki** (**ryc. II.7.5.**). Ze względu na ich obecność powierzchnię nabłonka jelita nazywa się rąbkiem szczecinkowatym. Dodatkowo powierzchnię zwiększają podłużne zagłębienia w okolicy podstawy kosmków – tzw. krypty. Taka budowa sprawia, że powierzchnia jelita zwiększa się ponad sześćsetkrotnie. Między komórkami kosmków (enterocytami) znajdują się komórki kubkowe wydzielające śluz oraz gruczoły jelitowe, które

enzymatyczne trawienie pokarmów

kosmki i mikrokosmki jelitowe

wydzielają sok jelitowy zawierający wodę, enzymy i sole mineralne (pH ok. 8,0). W kosmkach jelitowych znajdują się naczynia krwionośne i limfatyczne, do których są wchłaniane składniki odżywcze.



Ryc. II.7.5. Błona śluzowa jelita cienkiego jest pokryta kosmkami. Na powierzchni kosmków znajdują się mikrokosmki.

Najważniejszymi funkcjami jelita cienkiego są:

- przesuwanie treści pokarmowej do przodu, będące efektem ruchów perystaltycznych;
- wydzielanie soku jelitowego;
- zakończenie enzymatycznego trawienia węglowodanów, białek i tłuszczów;
- wchłanianie składników odżywczych;
- wydzielanie hormonów.

Jelito grube i odbytnica

Jelito grube ma około 1,5 m długości i jest ułożone łukiem wokół pętli jelita cienkiego. Jelito grube dzieli się na kątnicę (tu odchodzi wyrostek robaczkowy), okrężnicę i esicę, która jest zakończona odbytnicą. Najważniejszymi funkcjami jelita grubego i odbytnicy są: wchłanianie wody, soli mineralnych, witamin i niektórych leków, formowanie i oddawanie kału (defekacja), tworzenie środowiska życia mikroorganizmów jelitowych, czyli **mikrobiomu**. W jelicie grubym stwierdzono ponad 800 gatunków bakterii i archeonów, a całkowita ich masa może osiągać nawet 2 kg. Oszacowano, że bakterii żyjących w naszym organizmie, głównie w jelitach, jest więcej niż komórek budujących nasze ciało. Wśród mikrobiomu dominują bakterie *Escherichia coli* (czytaj: eszerichja koli; pałeczka okrężnicy), *Enterobacter aerogens* (czytaj: enterobakter erogens), *Streptococcus faecalis* (czytaj: streptokokus fekalis), *Clostridium perfringens* (czytaj: klostridium perfringens). Bakterie jelitowe są niezbędne do prawidłowego trawienia, wchłaniania oraz ochrony immunologicznej. Ponadto bakterie te syntetyzują witaminę K oraz witaminy z grupy B. W czasie przeprowadzanej przez bakterie jelitowe **fermentacji błonnika** pokarmowego wydzielają się substancje (np. kwas masłowy), które odżywiają komórki nabłonka jelita grubego oraz chronią przed rozwojem bakterii chorobotwórczych. Bakterie mikrobiomu są komensalami, co oznacza, że nie czynią one gospodarzowi żadnej szkody. Inaczej jest, gdy dostaną się do innych miejsc organizmu, np. *E. coli* może po przedostaniu się do pęcherza moczowego powodować jego stany zapalne. Badania i dane dotyczące mikrobiomu człowieka są gromadzone przez międzynarodową organizację Human Microbiome Project (Projekt Ludzkiego Mikrobiomu).

jelito grube

wchłanianie wody i soli mineralnych

mikrobiom

Zaburzenia pracy jelita grubego związane z wchłanianiem wody prowadzą do powstania **biegunki**. Biegunkę mogą wywołać niektóre substancje pochodzenia roślinnego, toksyny bakteryjne lub stany emocjonalne (np. stres). Biegunka jest bardzo niebezpieczna, ponieważ może prowadzić do odwodnienia organizmu (szczególnie u niemowląt i małych dzieci). W przypadku tego zaburzenia należy pamiętać o uzupełnianiu płynów. Z kolei **zaparcia** występują wówczas, gdy kał przesuwa się w jelicie zbyt wolno i zostaje przetrzymany w okrężnicy. Zbyt długie wchłanianie wody powoduje, że stolec staje się twardy i suchy. Jednym z powodów zaparć jest dieta uboga w błonnik pokarmowy.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Do podanych poniżej definicji dobierz odpowiednie pojęcia wybrane z poniższej listy. Odpowiedzi zapisz w zeszycie.

   żołądek, odbytnica, jama ustna, jelito cienkie, jelito grube, gardło, zwieracz przełyku, odźwiernik, trzustka

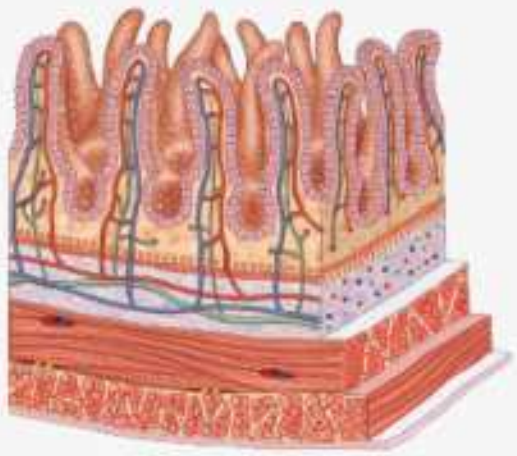
   A. Miejsce zachodzenia większości procesów trawienia.

   B. Pierwszy odcinek jelita cienkiego.

   C. Mięsień, którego nieprawidłowości prowadzą do zgagi.

   D. Wspólny odcinek układów pokarmowego i oddechowego.

2. Podaj, jaki element układu pokarmowego przedstawiono na rysunku, i wyjaśnij fizjologiczną rolę tego elementu.



3. Wyjaśnij, czym jest jelitowy mikrobiom i jaką pełni on funkcję.

PODSUMOWANIE LEKCJI

s. 153 ▸ • Na **układ pokarmowy** składają się przewód pokarmowy, narządy dodatkowe (ślinianki, trzustka, wątroba) oraz procesy zachodzące na poszczególnych jego poziomach (rozdrabnianie, trawienie, wchłanianie).

s. 153 ▸ • **Przewód pokarmowy** jest zbudowany z jamy ustnej, gardła, przełyku, żołądka, jelita cienkiego, jelita grubego i odbytnicy.

s. 155 ▸ • W **jamie ustnej** mieszczą się zęby (mleczne do 6. roku życia i stałe) oraz język.

s. 156 ▸ • Trzy pary **ślinianek** uchodzą do jamy ustnej i produkują ślinę zawierającą m.in. enzymy amylazy, które rozkładają skrobię do maltozy.

s. 156 ▸ • **Gardło** jest wspólną częścią układu pokarmowego i oddechowego.

s. 156 ▸ • **Przełyk** transportuje pokarm do żołądka, od którego jest oddzielony zwieraczem przełyku.

s. 156 ▸ • **Żołądek** jest zbudowany z dna, trzonu i odźwiernika.

s. 157 ▸ • **Gruczoły żołądkowe** znajdujące się w błonie śluzowej żołądka produkują sok żołądkowy zawierający m.in. kwas solny (zakwasza środowisko, aktywuje pepsynę i zabija drobnoustroje) oraz enzymy trawiące białka (pepsynę).

s. 157 ▸ • **Jelito cienkie** dzieli się na dwunastnicę, jelito czcze i jelito kręte.

s. 157 ▸ • W jelicie cienkim zachodzi **enzymatyczne trawienie pokarmów** oraz wchłanianie składników odżywczych.

s. 157 ▸ • Wydajne wchłanianie jest możliwe dzięki obecności **kosmków i mikrokosmków** na błonie śluzowej jelita cienkiego.

s. 159 ▸ • **Jelito grube** dzieli się na kątnicę, okrężnicę i esicę, a na jego końcu znajduje się odbytnica.

s. 159 ▸ • W jelicie grubym zachodzi **wchłanianie wody i soli mineralnych** oraz powstawanie i oddawanie kału.

s. 159 ▸ • Jelito grube jest środowiskiem życia **mikrobiomu**, czyli bakterii jelitowych niezbędnych do prawidłowego trawienia, wchłaniania i ochrony immunologicznej organizmu.

8. Dodatkowe narządy układu pokarmowego. Trawienie i wchłanianie substancji odżywczych

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz budowę i funkcje trzustki oraz wątroby;
- dowiesz się, gdzie zachodzi i na czym polega trawienie pokarmów;
- prześledzisz przebieg wchłaniania składników odżywczych.

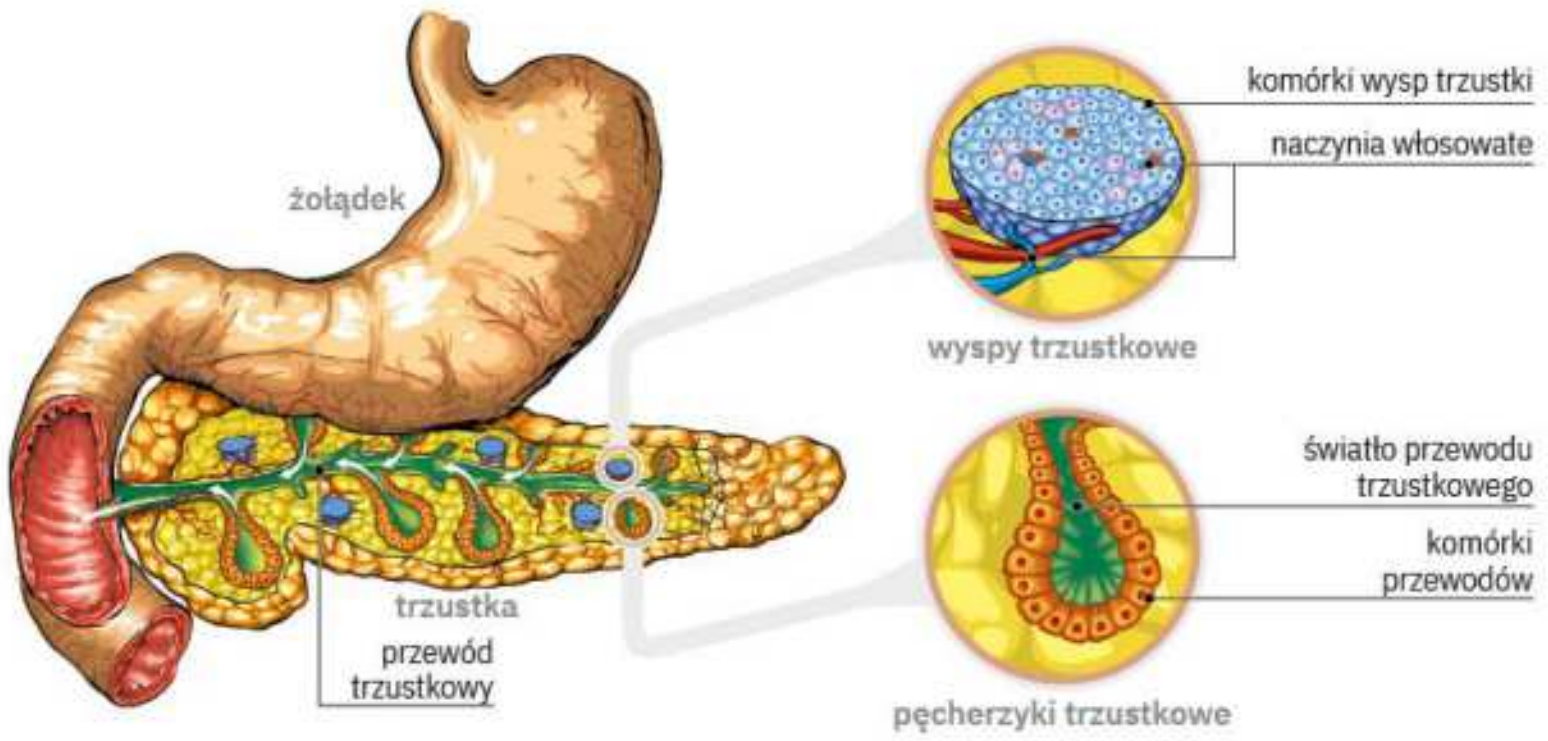
Narządy dodatkowe układu pokarmowego

Budowa i funkcje trzustki

Trzustka to niewielki gruczoł (ok. 60 g i 12–15 cm długości), ułożony poprzecznie za żołądkiem (**ryc. II.8.1.**). Składa się z szerszej części, zwanej głową, trzonu oraz węższej części – ogona. Trzustka odgrywa dwojaką rolę: wytwarza sok trzustkowy, który przewodem trzustkowym trafia do dwunastnicy, oraz wytwarza i wydziela hormony (insulinę i glukagon) uczestniczące w regulacji stężenia glukozy we krwi. Część trzustki wydzielająca enzymy jest zbudowana z płatów zwanych **pęcherzykami**, natomiast hormony są wydzielane przez komórki **wysp trzustkowych** (**ryc. II.8.1.**). Trzustka wydziela także do dwunastnicy wodorowęglany, które neutralizują kwaśną treść, trafiającą tam z żołądka. Istotną rolę w trawieniu odgrywa **sok trzustkowy**. Jest to mieszanina wieloenzymatyczna zawierająca amylazy (enzymy

◂ **trzustka**

◂ **sok trzustkowy**



Ryc. II.8.1. Położenie trzustki względem żołądka oraz jej budowa anatomiczna.

trawiące węglowodany), lipazy (enzymy trawiące tłuszcze), proteazy (enzymy trawiące białka), a także enzymy rozkładające kwasy nukleinowe. Większość enzymów trzustkowych jest wydzielana w postaci nieaktywnych **proenzymów**, które ulegają aktywacji dopiero w jelicie.

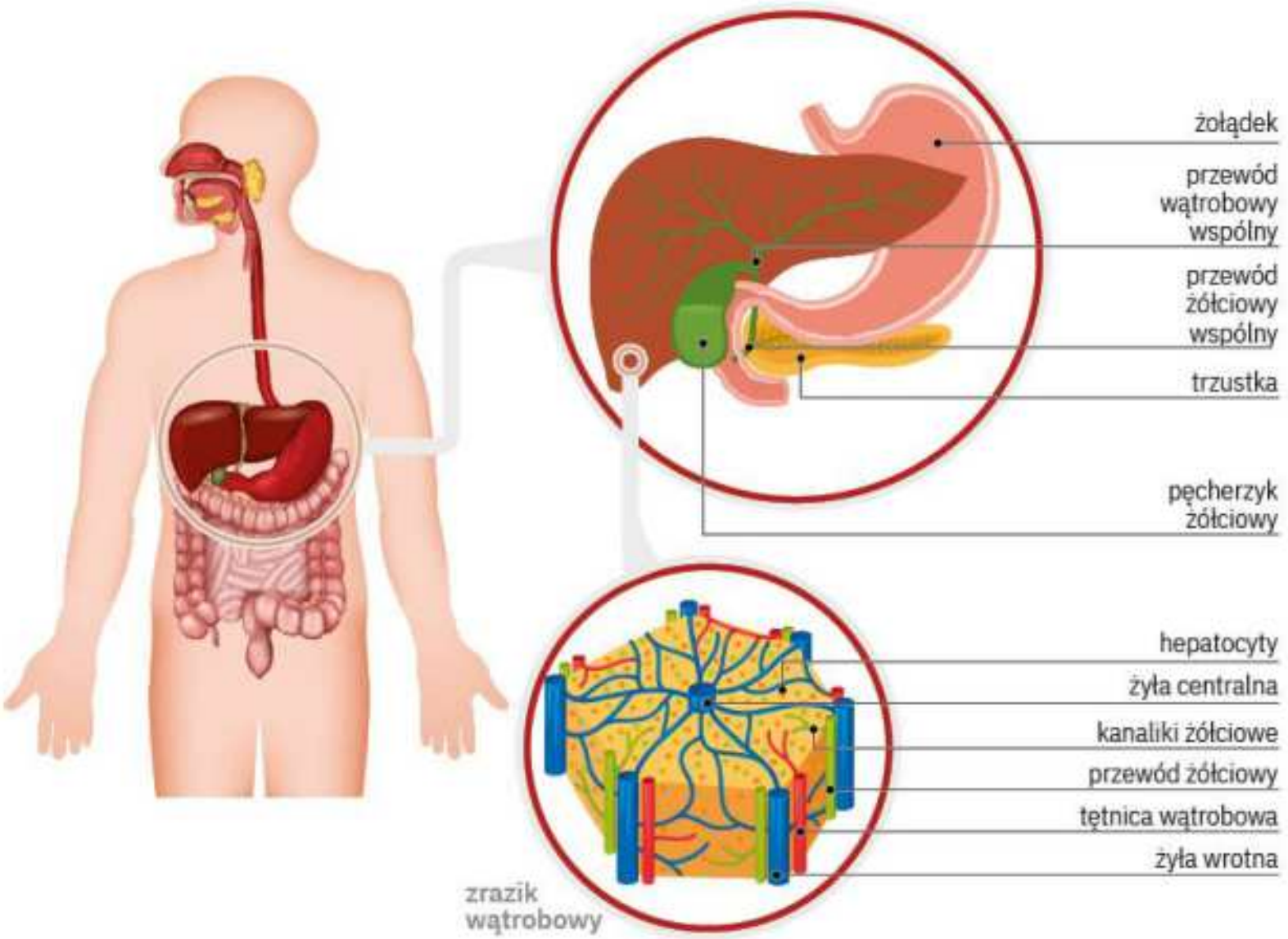
wątroba

Wątroba

Wątroba to największy gruczoł w organizmie, którego waga może dochodzić nawet do 2 kg. Znajduje się w górnej części jamy brzusznej. Jest zbudowana z czterech **płatów** składających się ze **zrazików**, utworzonych przez komórki, zwane **hepatocytami**. Komórki wątrobowe wydzielają **żółć**, która zbiera się w kanalikach żółciowych i jest wyprowadzana do dwunastnicy przez przewód żółciowy. W odstępach między trawieniem żółć gromadzi się w **pęcherzyku żółciowym**. Ma on postać gruszkowatej torebki przyczepionej do tylnej powierzchni wątroby (**ryc. II.8.2.**). W pęcherzyku żółciowym żółć jest zagęszczana (nawet piętnastokrotnie), a następnie uwalniania. W ciągu doby wątroba wytwarza około 1 l żółci. Żółć składa się z soli żółciowych, wody, soli mineralnych, śluzu, barwników żółciowych (np. bilirubina) i cholesterolu. Zadaniem żółci jest **emulgacja** tłuszczów, czyli ich odpowiednie rozdrobnienie, prowadzące do zwiększenia ich rozpuszczalności, przez co zostaje ułatwiony ich kontakt z **lipazami**, czyli enzymami trawiącymi tłuszcze.

hepatocyty

żółć



Ryc. II.8.2. Lokalizacja i budowa wątroby oraz dróg żółciowych.

Wątroba jest narządem wielofunkcyjnym. Do jej najważniejszych aktywności należą: ◂ **funkcje wątroby**

- wydzielanie żółci i emulgacja tłuszczów;
- utrzymanie właściwego stężenia glukozy we krwi – nadwyżka glukozy jest przekształcana w glikogen, w razie jej niedoboru glikogen jest rozkładany do glukozy;
- synteza mocznika;
- rozkład erytrocytów;
- odtruwanie organizmu poprzez unieszkodliwianie niebezpiecznych substancji, np. alkoholu, leków, toksyn; wytwarzanie ciepła;
- magazynowanie substancji, np. glikogenu, witamin A, D, E, K, B_{12}, żelaza, miedzi.

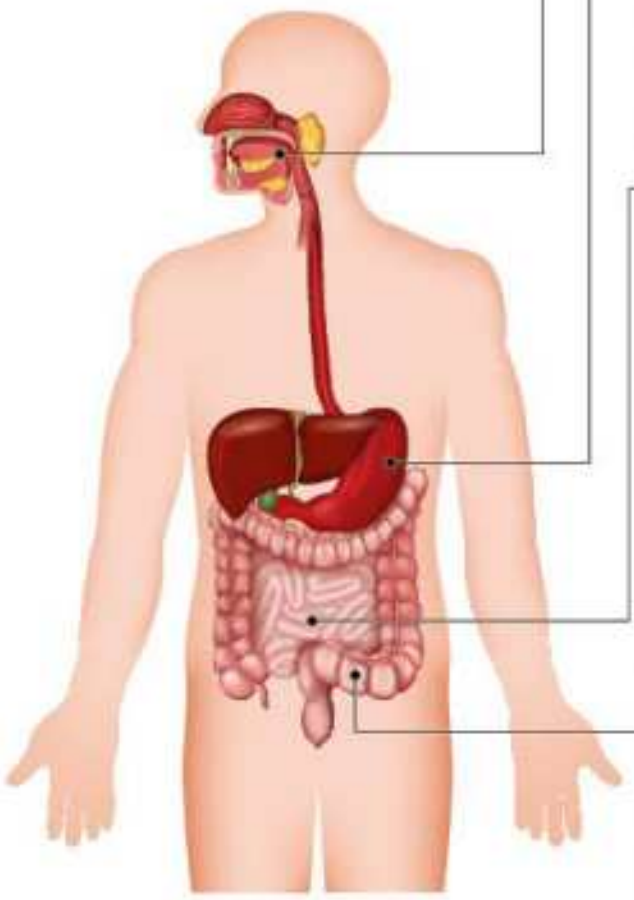
Procesy zachodzące w układzie pokarmowym

Podstawową funkcją układu pokarmowego jest transport substancji odżywczych oraz wody ze środowiska zewnętrznego do wnętrza organizmu. W tym celu zachodzą w tym układzie dwa podstawowe procesy: **trawienie** oraz **wchłanianie**. ◂ **trawienie i wchłanianie**

Trawienie ◂ **trawienie**

Trawienie to chemiczny i mechaniczny proces rozkładu pokarmu na mniejsze elementy, które mogą przedostać się przez nabłonek do wnętrza organizmu. Jama ustna i żołądek odpowiadają za znaczącą część trawienia mechanicznego (rozdrabnianie, mieszanie). Trawienie chemiczne w tych odcinkach jest ograniczone do rozkładu niewielkich ilości skrobi i częściowego rozkładu białek w żołądku. Upłynniona treść pokarmowa po dostaniu się do jelita cienkiego miesza się z sokiem trzustkowym, żółcią oraz sokiem jelitowym. W jelicie cienkim kończy się trawienie wszystkich substancji odżywczych, które prowadzi do ich rozkładu na mniejsze cząsteczki, a następnie wchłonięcia (**ryc. II.8.3.**). Węglowodany (m.in. skrobia i sacharoza) zostają rozłożone do cukrów prostych (monosacharydów). W jelicie trawienie skrobi jest wznawiane przez **amylazę trzustkową**, która rozkłada ten polisacharyd do maltozy. Za trawienie maltozy oraz innych disacharydów (sacharozy, laktozy) odpowiadają **disacharydazy** (np. maltaza, sacharaza, laktaza). Wielkocząsteczkowe białka zostają rozłożone do peptydów i aminokwasów. Enzymy zaangażowane w ich trawienie dzieli się na **endopeptydazy** (**proteazy**) oraz **egzopeptydazy**. Proteazy, do których należą: pepsyna, trypsyna, chymotrypsyna, hydrolizują wiązania peptydowe, dzieląc białko na mniejsze fragmenty. Egzopeptydazy, np. karboksypeptydaza trzustkowa, uwalniają z końców peptydów pojedyncze aminokwasy. Tłuszcze zostają rozłożone do glicerolu i kwasów tłuszczowych. Ich trawienie jest wspomagane przez żółć, która rozbija duże krople tłuszczu na mniejsze cząstki i ułatwia dostęp do nich **lipaz**. Pod wpływem tych enzymów z cząsteczki trójglicerydu zostają usunięte kwasy tłuszczowe. Fosfolipidy treści pokarmowej są trawione przez **fosfolipazę**. Cholesterol nie jest trawiony, lecz wchłaniany w niezmienionej postaci. Kwasy nukleinowe zostają strawione do nukleotydów, a następnie do zasad i monosacharydów przez enzymy trzustkowe i jelitowe. Większość enzymów trawiennych znajduje się w komórkach kosmków jelita cienkiego. W wyniku bezpośredniego kontaktu makrocząsteczek z mikrokosmkami zachodzi trawienie białek, lipidów i węglowodanów.

Jama ustna i przełyk	
Wydzielanie:	ślina (gruczoły ślinowe)
Trawienie:	węglowodany
Wchłanianie:	–



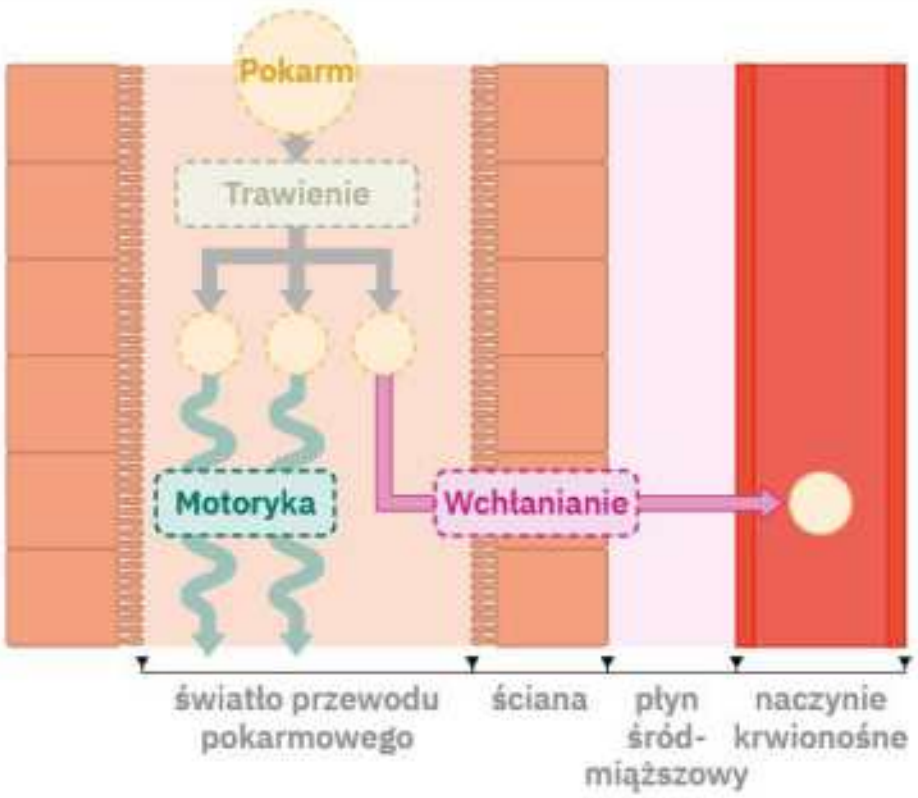
Żołądek	
Wydzielanie:	HCl (komórki okładzinowe), pepsynogen i lipaza żołądkowa (komórki główne), śluz i wodorowęglany, gastryna, histamina
Trawienie:	białka, tłuszcze (w minimalnym stopniu)
Wchłanianie:	substancje rozpuszczalne w tłuszczach (np. alkohol i aspiryna)

Jelito cienkie	
Wydzielanie:	enzymy (enterocyty), śluz (komórki kubkowe), hormony, enzymy i wodorowęglany (trzustka), żółć (wydzielana przez wątrobę, a magazynowana w pęcherzyku żółciowym)
Trawienie:	białka, węglowodany, tłuszcze, kwasy nukleinowe
Wchłanianie:	aminokwasy, monosacharydy, kwasy tłuszczowe, cholesterol, zasady azotowe, woda, jony, minerały, witaminy

Jelito grube	
Wydzielanie:	śluz (komórki kubkowe)
Trawienie:	–
Wchłanianie:	jony, minerały, witaminy, woda, małe cząsteczki organiczne produkowane przez bakterie jelitowe

Ryc. II.8.3. Udział poszczególnych odcinków przewodu pokarmowego w trawieniu i wchłanianiu.

wchłanianie ▸ **Wchłanianie**

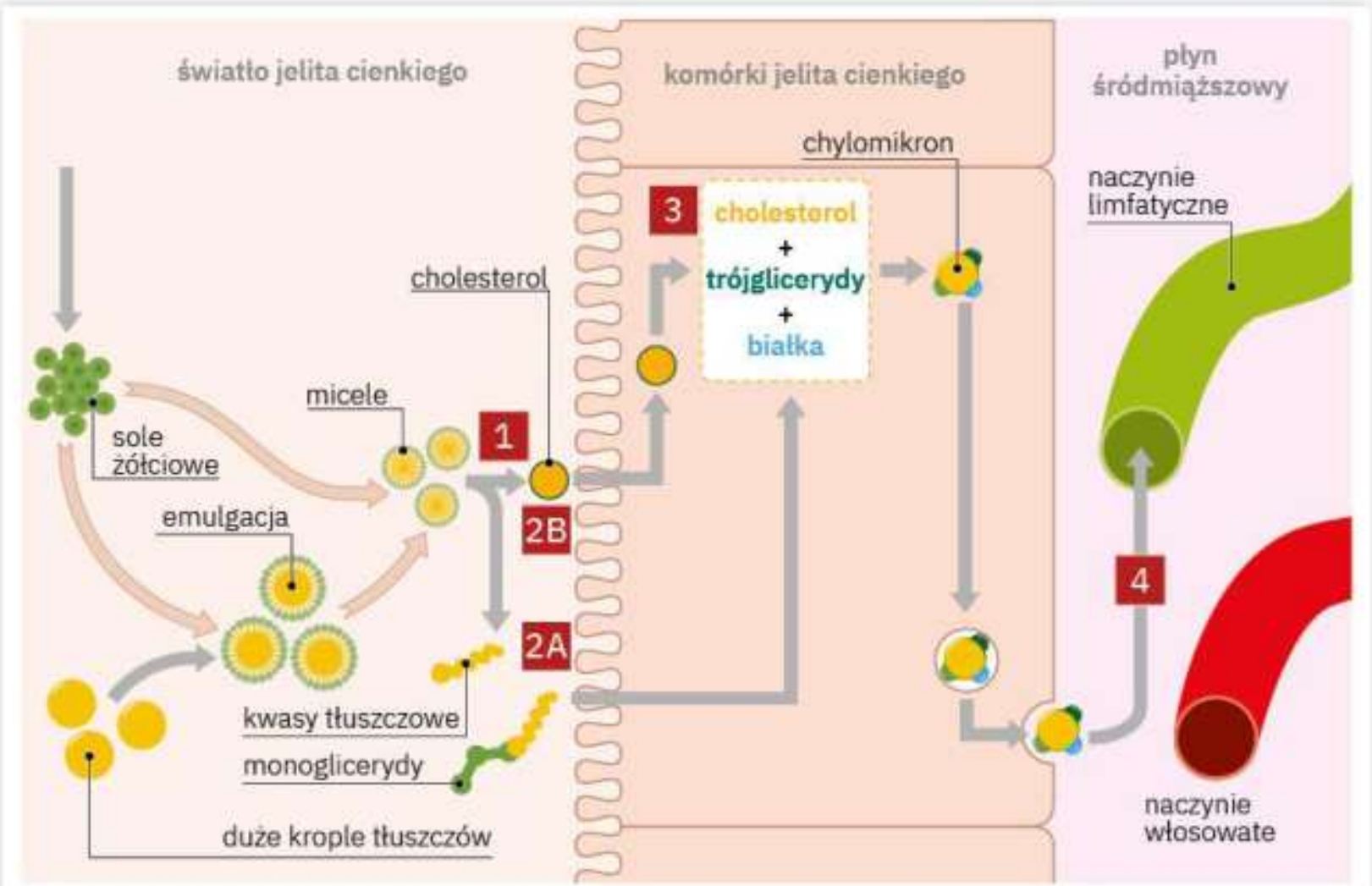


Ryc. II.8.4. Substancje trawione w jelicie cienkim są wchłaniane do krwi.

Wchłanianie to przejście substancji ze światła przewodu pokarmowego do krwi. Strawiony pokarm ma postać białego, zawiesistego płynu, w skład którego wchodzą łatwo przyswajalne substancje. Monosacharydy, aminokwasy oraz nukleotydy są wchłaniane do krwi i rozprowadzane przez układ krążenia (**ryc. II.8.4.**).

wchłanianie w jelicie cienkim

Wchłanianie substancji odżywczych z jelita cienkiego za pośrednictwem komórek budujących mikrokosmki odbywa się na drodze dyfuzji, osmozy, wspomaganej dyfuzji i czynnego transportu (np. glukoza, galaktoza, wolne aminokwasy są wchłaniane dzięki białkowym transporterom). Wchłanianie kwasów tłuszczowych i trójglicerydów poprzedza ich połączenie się z cholesterolem oraz białkami w duże pęcherzyki zwane **chylomikronami**. Chylomikrony są wchłaniane do naczyń limfatycznych i przez układ limfatyczny trafiają do krwi. Udział innych odcinków przewodu pokarmowego w procesach wchłaniania jest niewielki. Dla przykładu: w jamie ustnej są wchłaniane substancje łatwo wnikające przez błony (np. nikotyna), w żołądku np. alkohol, a w jelicie grubym przede wszystkim woda (**ryc. II.8.5.**).



1 Enzymy trzustkowe
sole żółciowe z wątroby pokrywają krople tłuszczów, lipazy rozkładają tłuszcze na monoglicerydy i kwasy tłuszczowe magazynowane w micelach.

2A Monoglicerydy i kwasy tłuszczowe
wchodzą do komórek przez dyfuzję.

2B Cholesterol
jest transportowany do komórek.

3 Wchłonięte tłuszcze
łączą się z cholesterolem i białkami w komórkach jelitowych, tworząc chylomikrony.

4 Chylomikrony
są wchłaniane przez układ limfatyczny.

Ryc. II.8.5. Tłuszcze są wchłaniane w postaci chylomikronów do naczyń limfatycznych.

Eksperyment

Warunki trawienia skrobi

Wprowadzenie: Trawienie skrobi rozpoczyna się w jamie ustnej. Zawarta w ślinie amylaza rozkłada ją do maltozy. Stopień rozłożenia skrobi można śledzić za pomocą reakcji z płynem Lugola (roztworem jodu w jodku potasu).

Problem badawczy: Czy enzymy zawarte w ślinie powodują rozkład skrobi?

Hipoteza badawcza: Enzymy zawarte w ślinie powodują rozkład skrobi na cukry proste.

Instrukcja przeprowadzenia doświadczenia: Zaplanuj i przeprowadź doświadczenie mające na celu wykazanie aktywności amylazy zawartej w ślinie. Do dyspozycji masz: kleik skrobiowy (łyżka mąki ziemniaczanej rozpuszczona w szklance wody i zagotowana), ślinę, płyn Lugola, wodę z kranu, dwie szklanki. W doświadczeniu uwzględnij próbę kontrolną i próbę badawczą.

Opracowanie wyników: Opisz wyniki doświadczenia i sporządź notatkę w zeszycie.

Wnioski: Sformułuj wnioski z doświadczenia.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Wyjaśnij, dlaczego wątroba jest nazywana najbardziej zapracowanym narządem organizmu człowieka.
2. Przerysuj do zeszytu tabelę dotyczącą narządów, które wydzielają wymienione produkty, i ją uzupełnij.

Narząd	Wydzielany produkt
...	pepsyna, HCl, śluz
...	żółć
...	enzymy, HCO_3^-

3. Wyobraź sobie, że właśnie zjadłeś/zjadłaś kanapkę z pszennego pieczywa z masłem i żółtym serem. Skonstruuj w zeszycie tabelę, w której podasz rodzaj makrocząsteczek podlegających trawieniu, rodzaj zaangażowanych w ich trawienie enzymów, a także miejsce trawienia tych cząsteczek oraz ich wchłaniania.
4. Wyjaśnij różnicę między trawieniem białek a trawieniem tłuszczów.
5. Pani Kasia po wizycie u znajomych, gdzie jadła grillowaną kiełbasę i chleb ze smalcem, dostała silnego bólu brzucha. Lekarz zdiagnozował u pani Kasi kamienie żółciowe w przewodzie żółciowym, który stanowi łącznik między wątrobą a jelitem cienkim. Wyjaśnij, dlaczego ból brzucha pojawił się po wspomnianym posiłku.

PODSUMOWANIE LEKCJI

s. 161 ▸
- **Trzustka** składa się z głowy, trzonu i ogona. Umiejscowiona jest za żołądkiem.

s. 161 ▸
- Trzustka wytwarza i wydziela hormony (insulinę i glukagon) oraz produkuje **sok trzustkowy**, który uchodzi do dwunastnicy.

- **Sok trzustkowy** zawiera enzymy trawiące węglowodany, tłuszcze, białka i kwasy nukleinowe. s. 161
- **Wątroba** jest zbudowana z czterech płatów utworzonych ze zrazików. s. 162
- Komórki wątroby (**hepatocyty**) wydzielają żółć, która uchodzi do dwunastnicy. s. 162
- **Żółć** składa się m.in. z soli żółciowych, których zadaniem jest emulgacja tłuszczów, czyli rozdrobnienie ułatwiające enzymatyczne ich trawienie. s. 162
- **Wątroba to narząd pełniący wiele funkcji**, m.in. jest miejscem zachodzenia przemian glikogenu, syntezy mocznika, rozpadu erytrocytów czy unieszkodliwiania toksyn i leków. s. 163
- **Procesy trawienia i wchłaniania** umożliwiają transport i wykorzystanie substancji odżywczych ze środowiska zewnętrznego do wnętrza organizmu. s. 163
- **Trawienie** to chemiczny i mechaniczny proces rozkładu pokarmu na mniejsze cząsteczki, które zostają pobrane przez nablonek do komórek organizmu. s. 163
- **Trawienie wszystkich** substancji odżywczych kończy się w jelicie cienkim: węglowodany zostają rozłożone do cukrów prostych przez amylazę trzustkową i disacharydazy; białka są rozkładane do peptydów i aminokwasów przez endo- i egzopeptydazy; kwasy nukleinowe są rozkładane do nukleotydów. s. 163
- **Wchłanianie** to przejście substancji odżywczych ze światła przewodu pokarmowego do krwi. Odbywa się ono na drodze osmozy, wspomaganej dyfuzji i czynnego transportu. s. 164
- Większość substancji odżywczych i wody jest **wchłaniana w jelicie cienkim**, natomiast w jelicie grubym wchłaniana jest część wody i witaminy K. s. 165

9. Zaburzenia funkcjonowania układu pokarmowego oraz jego profilaktyka

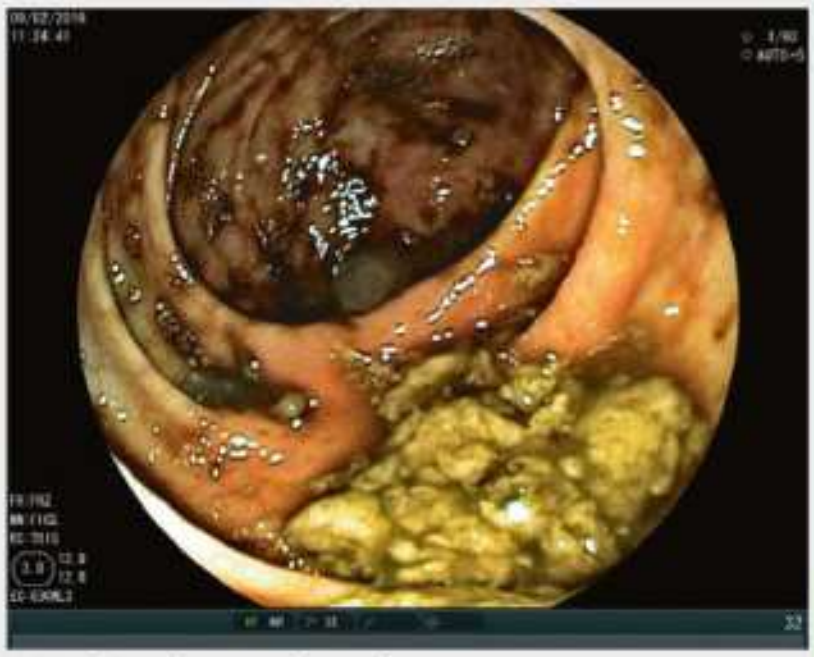
NA TEJ LEKCJI:

- zapoznasz się z przykładami chorób odcinków przewodu pokarmowego;
- dowiesz się, co przyczynia się do powstania otyłości i w jaki sposób można z nią walczyć;
- uzyskasz informacje na temat zaburzeń odżywiania;
- poznasz rodzaje badań profilaktycznych układu pokarmowego.

choroby układu pokarmowego

Choroby związane z układem pokarmowym mają różne podłoże, m.in. bakteryjne, wirusowe, genetyczne. W **tabeli II.9.1.** przedstawiono najczęstsze schorzenia kolejnych odcinków układu pokarmowego. Osobnymi problemami są choroby, których główną przyczyną jest nieprawidłowa dieta (np. otyłość), oraz te związane z zaburzeniami odżywiania i mające podłoże psychiczne (np. anoreksja, bulimia).

Tab. II.9.1. Najczęstsze choroby układu pokarmowego

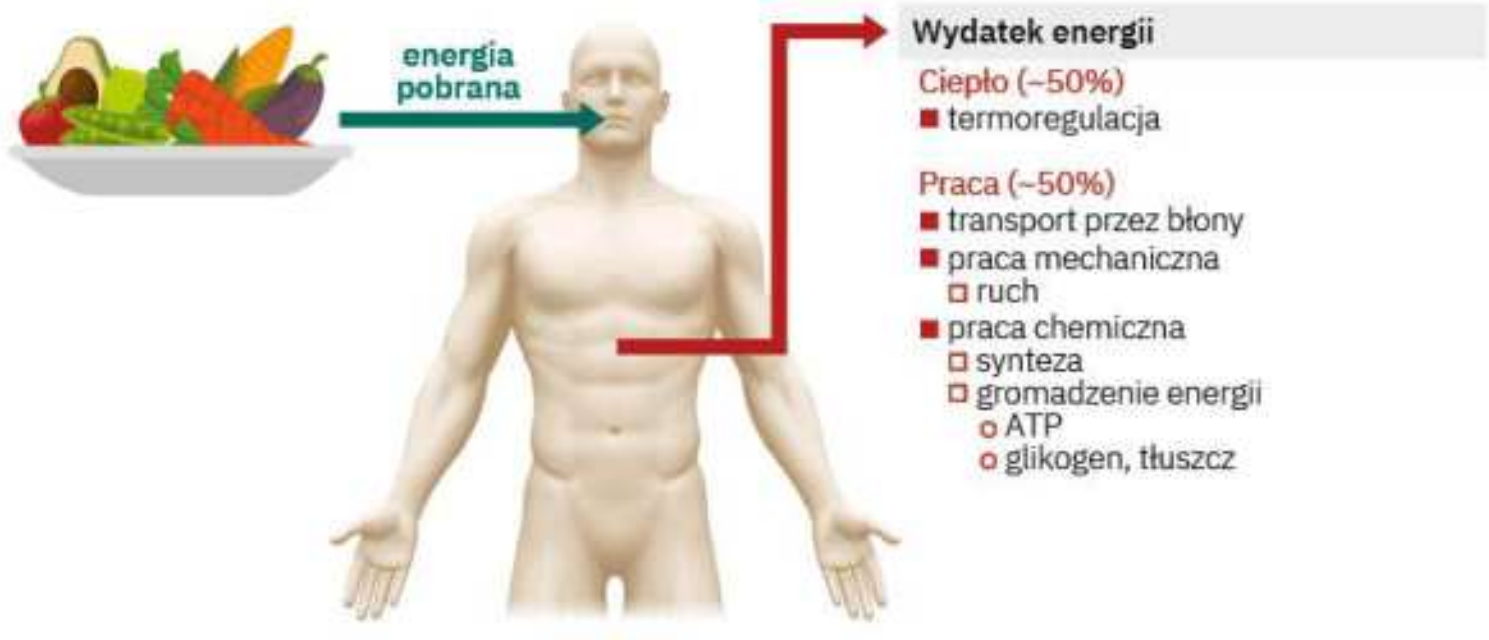
Odcinek układu pokarmowego	Choroba	Przyczyna
jama ustna	pleśniawki jamy ustnej	Zakażenie grzybicze nabłonka jamy ustnej pojawia się przy osłabionej odporności, niedożywieniu i antybiotykoterapii.
	opryszczka	Wywołuje ją wirus opryszczki *Herpes simplex*. Stosuje się leczenie objawowe.
	próchnica zębów	Powodują ją bakterie. Objawia się zniszczeniem struktury zęba. Nieleczona może prowadzić do poważnych powikłań.
gardło	zapalenie migdałków	Choroba bakteryjna przenoszona drogą kropelkową.
żołądek	choroba wrzodowa	Uszkodzenie błony śluzowej żołądka i dwunastnicy powstające najczęściej po zakażeniu bakterią *Helicobacter pylori* (**ryc. II.9.1.**).  Ryc. II.9.1. Choroba wrzodowa dwunastnicy.
	rak żołądka	To nowotwór złośliwy wywodzący się z nabłonka błony śluzowej żołądka. Występuje częściej u mężczyzn niż u kobiet.
jelita	zapalenie wyrostka robaczkowego	Zapalenie najczęściej jest wywoływane zatrzymaniem się treści pokarmowej w wyrostku, powodującej jego niedrożność.
	zatrucia bakteryjne (salmonelloza, listerioza, zatrucia jadem kiełbasianym)	Zatrucia bakteryjne przyczyniają się do powstania ostrych objawów żołądkowo-jelitowych (biegunki, wymiotów, nudności, gorączki). Występują po spożyciu nieświeżych produktów (nieumytych owoców, lodów) zawierających toksyny bakteryjne.
	choroba Leśniowskiego–Crohna	To przewlekły proces zapalny ściany przewodu pokarmowego. Najczęściej jest zlokalizowany w końcowej części jelita cienkiego i początkowej jelita grubego. Nie ma skutecznej metody leczenia tej choroby.
	celiakia	Jej przyczyną jest nadwrażliwość układu pokarmowego na gluten (białka zbożowe) zawarty w pokarmach. Leczenie polega na stosowaniu diety bezglutenowej.

Odcinek układu pokarmowego	Choroba	Przyczyna
trzustka	zapalenie trzustki	To przewlekła choroba trzustki prowadząca do zaburzenia jej funkcji. Powikłaniem może być cukrzyca.
	rak trzustki	Ten nowotwór złośliwy ma pochodzenie nabłonkowe. Ryzyko zachorowania na niego wzrasta u palaczy, osób otyłych i chorych na cukrzycę typu II.
wątroba	ostre zapalenie wątroby – wirusowe zapalenie wątroby (WZW)	Dochodzi do niego w drodze zakażenia wirusowego. Prowadzi do uszkodzenia wątroby. Wyróżniamy WZW typu A (zakażenie następuje drogą pokarmową), WZW typu B oraz WZW typu C (zakażenie następuje przez kontakt z zakażoną krwią).
	marskość wątroby	To postępująca degeneracja miąższu wątroby spowodowana działaniem toksyn (np. alkoholu), infekcjami wirusowymi lub chorobami autoimmunizacyjnymi.
	kamica żółciowa	Polega na gromadzeniu się złogów w przewodach żółciowych, co prowadzi do ich zatkania. Wywołuje żółtaczkę mechaniczną i może prowadzić do ostrego zapalenia trzustki.

Otyłość

◂ otyłość

W organizmie zdrowego człowieka zapotrzebowanie energetyczne niezbędne do utrzymania podstawowej przemiany materii, wytwarzania ciepła i wykonywania pracy pochodzi z energii pobranej w postaci pokarmów (diety) (**ryc. II.9.2.**).

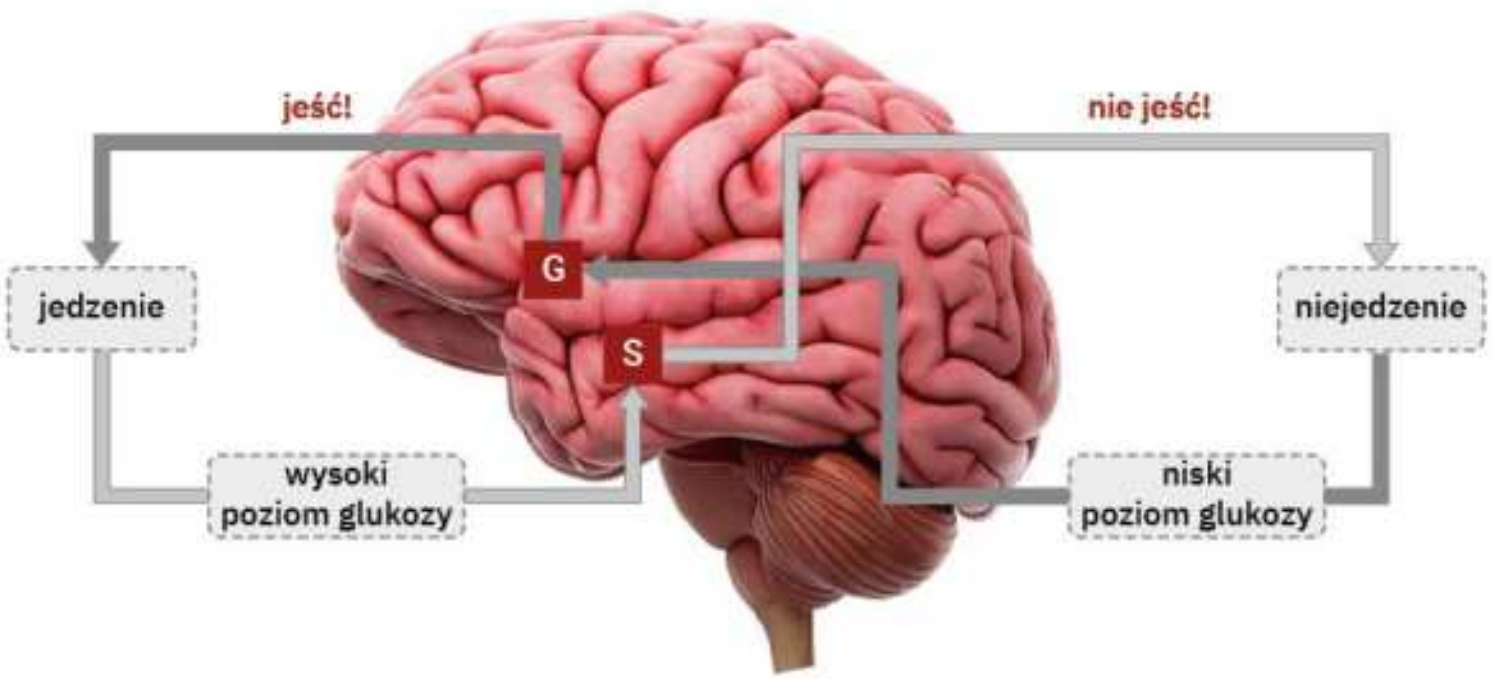


Ryc. II.9.2. Energia pobrana w postaci pokarmów jest wydatkowana na ciepło oraz pracę.

ośrodki głodu i sytości

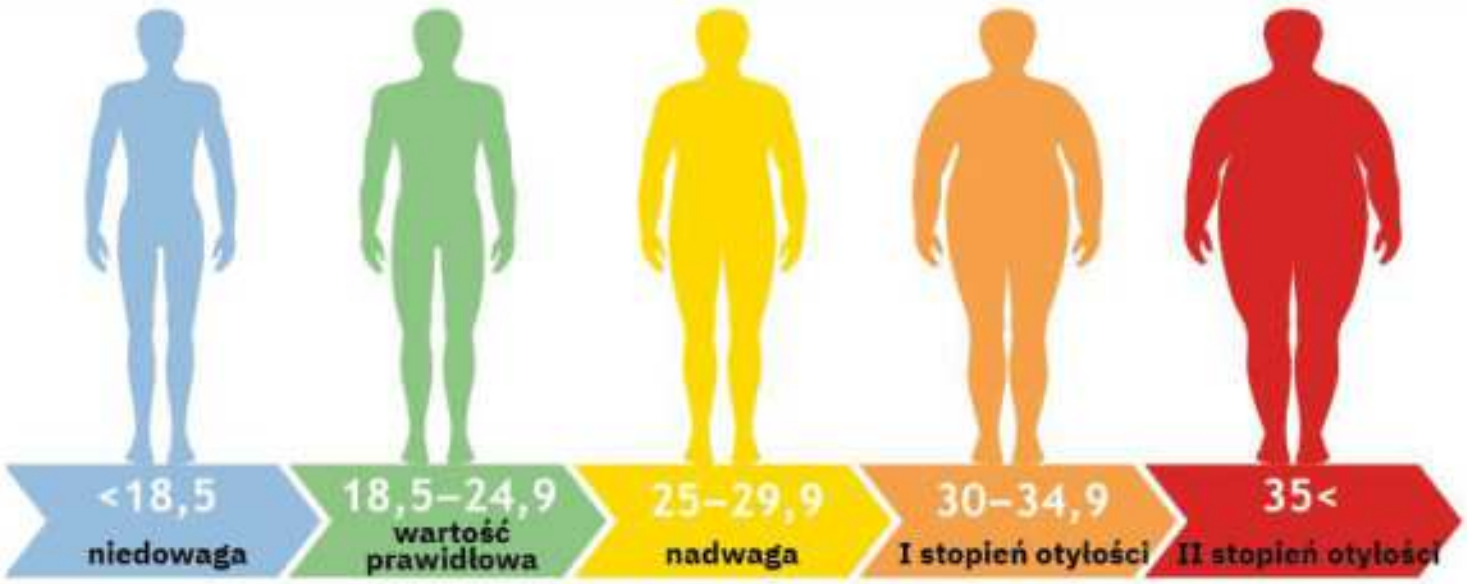
zmiany stężenia glukozy we krwi

Procesy te są regulowane przez ośrodkowy układ nerwowy i wynikają ze wzajemnego oddziaływania dwóch ośrodków: **sytości** i **głodu** (łaknienia) zlokalizowanych w mózgu, w strukturze zwanej podwzgórzem. Aktywacja jednego z nich hamuje aktywność drugiego (**ryc. II.9.3.**). Działanie tych ośrodków zależy od zmian stężenia glukozy we krwi – kiedy poziom glukozy we krwi spada, ośrodek sytości jest hamowany, a zaczyna dominować ośrodek głodu (**ryc. II.9.3.**). Według najnowszych badań na funkcjonowanie ośrodków głodu i sytości wpływają sygnały pochodzące z tkanki tłuszczowej – jeśli zapas tkanki tłuszczowej jest większy, jemy mniej i odwrotnie. Apetyt i przyjmowanie pokarmów zależą także od takich czynników, jak: wygląd, zapach i smak pokarmów.



Ryc. II.9.3. Ośrodki głodu i sytości w mózgu działają przeciwstawnie.

Otyłość to zwiększenie masy ciała w wyniku nadmiernego nagromadzenia tkanki tłuszczowej. O otyłości mówimy, jeżeli ilość tkanki tłuszczowej u mężczyzn przekracza 25%, a u kobiet 30% masy ciała (na masę ciała składa się masa mięśni, kości, wody oraz tkanki tłuszczowej). Do wyznaczania prawidłowej masy ciała i oceny stopnia otyłości jest wykorzystywany wskaźnik BMI (z ang. *body mass index*, czytaj: body mas indeks) (**ryc. II.9.4.**). Wskaźnik BMI wynoszący 18,5–24,9 uznaje się za prawidłowy, poniżej 18,5 oznacza niedowagę, a powyżej 24,9 – nadwagę. Gdy przekracza 30, mówimy o otyłości. Wysokie wartości BMI zwiększają ryzyko wystąpienia cukrzycy, chorób serca i nadciśnienia tętniczego. Precyzyjne określenie zawartości tłuszczu w organizmie opiera się na specjalistycznych badaniach, np. tomografii komputerowej czy magnetycznym rezonansie jądrowym.



Ryc. II.9.4. Wartości wskaźnika BMI.

Podłoże otyłości może mieć charakter endogenny (wewnętrzny) lub egzogenny (zewnętrzny). Do czynników endogennych należą uszkodzenia ośrodków podwzgórza, uwarunkowania genetyczne, ale także zaburzenia hormonalne. Czynniki egzogenne są związane z niewłaściwą dietą, brakiem aktywności fizycznej, a ponadto z uwarunkowaniami społecznymi i kulturowymi, czyli ceną produktu, reklamą, tradycjami (**ryc. II.9.5.**). Przyrost masy ciała występuje wówczas, gdy przez dłuższy czas ilość energii pozyskiwanej jest większa niż ilość energii wydatkowanej. Oznacza to, że bilans energetyczny jest dodatni:

całkowita energia organizmu = energia zmagazynowana + energia pobrana + energia oddana

Dodatkowo na dodatni bilans energetyczny wpływają brak aktywności fizycznej oraz wzrost spożycia produktów wysokokalorycznych. Otyłość zwiększa ryzyko wielu chorób przewlekłych, zagrażających życiu, takich jak: cukrzyca typu II, choroby sercowo-naczyniowe (np. udar mózgu, choroba wieńcowa, nadciśnienie tętnicze, podwyższony poziom cholesterolu w surowicy), a także niektórych nowotworów. Pośrednio wpływa też na powstawanie zwyrodnień kręgosłupa, zaburzeń oddychania, chorób skóry, niepłodności oraz powikłań ciążowych.

Ryc. II.9.5. Podłożem otyłości jest niewłaściwa dieta i brak aktywności fizycznej (A). Otyłość ma też podłoże kulturowe (B), np. w Mauretanii, gdzie wiele osób uważa nadwagę za atrakcyjną.

Jak walczyć z otyłością?

- Spożywaj pokarmy ubogoenergetyczne; twoja dieta powinna obejmować warzywa i owoce.
- Spożywaj małe posiłki w regularnych odstępach czasu.
- Ogranicz lub wyeliminuj spożywanie słodyczy i słodkich napojów.
- Dbaj o aktywność fizyczną, co znacznie zwiększy wydatkowanie energii (spacery, basen, siłownia).
- Nigdy nie stosuj samodzielnie radykalnych diet ani głodówek – decyzja o zastosowaniu każdej diety powinna być skonsultowana ze specjalistą (lekarzem lub dietetykiem).

zaburzenia odżywiania

Zaburzenia odżywiania

Zaburzenia odżywiania to złożony problem zdrowotny, którego źródłem jest najczęściej czynnik psychiczny. Na rozwój tych zaburzeń wpływają zarówno czynniki biologiczne (w tym genetyczne), jak i społeczno-kulturowe (relacje rodzinne, wzorce urody obecne w mediach). Uważa się, że częściej dotyczą one osób w młodym wieku oraz dziewcząt i kobiet. Do najczęstszych zaburzeń odżywania należą anoreksja oraz bulimia.

Anoreksja (jadłowstręt psychiczny) polega na braku łaknienia połączonym z obsesyjnym lękiem przed otyłością. Choroba ta występuje 10 razy częściej u kobiet niż u mężczyzn i dotyczy zwłaszcza osób młodych – najczęściej między 11. a 30. rokiem życia. Skutkiem anoreksji, oprócz widocznej utraty masy ciała (**ryc. II.9.6.**), jest skrajne niedożywienie, które prowadzi do zmian hormonalnych, metabolicznych i zaburzeń fizjologicznych, np. zahamowania miesiączkowania, pojawienia się biegunek i zaparć, zmniejszenia odporności, zaburzeń krążenia. Chorobę bardzo trudno rozpoznać, a w jej przebiegu niezmierne ważne jest jej wczesne wykrycie i podjęcie leczenia, gdyż może ona doprowadzić do śmierci. Pierwszymi symptomami anoreksji są: restrykcyjna dieta, zwiększony wysiłek fizyczny, stosowanie środków przeczyszczających oraz zmniejszających apetyt oraz postrzeganie własnej sylwetki jako otyłej.

Ryc. II.9.6. Anoreksja prowadzi do wychudzenia i wyniszczenia organizmu związanego z zaburzeniami wielonarządowymi.

Bulimia (wilczy głód, żarłoczność psychiczna) charakteryzuje się powtarzającymi się niekontrolowanymi atakami wzmożonego apetytu i przejadaniem się w krótkim czasie. Zaraz po ataku osoba chora stosuje różne zabiegi, które mają przeciwdziałać skutkom przejedzenia, jak: prowokowanie wymiotów, stosowanie środków przeczyszczających czy lewatyw. Bulimia dotyka najczęściej kobiet. Osoby chore na ogół mają prawidłową masę ciała. Przyczyny bulimii są bardzo złożone, choć często jako główny czynnik podaje się czynnik biologiczny. Zaburzenia odżywiania są chorobami wymagającymi kompleksowego, specjalistycznego leczenia, także psychoterapeutycznego.

Profilaktyka i leczenie chorób układu pokarmowego

profilaktyka chorób układu pokarmowego

Choroby przewodu pokarmowego są dużą grupą chorób o różnym podłożu i przebiegu. Wystąpieniu wielu z nich jesteśmy w stanie zapobiec, stosując odpowiednie działania profilaktyczne. Najważniejszymi, wspólnymi zasadami w profilaktyce chorób układu pokarmowego są:

- częste i dokładne mycie rąk (ma to duże znaczenie w zapobieganiu zakażeniom bakteryjnym i wirusowym, np. wirusowemu zapaleniu wątroby);
- spożywanie regularnych, pełnowartościowych posiłków;
- stosowanie urozmaiconej diety z ograniczonym spożyciem tłuszczów, bogatej w błonnik, z dużą ilością warzyw i owoców oraz produktów pełnoziarnistych i uzupełnianej odpowiednią ilością wody;
- ograniczenie picia kawy i alkoholu (nadmiar alkoholu w życiu codziennym przyczynia się do zachorowania na raka wątroby, trzustki, przełyku, jamy ustnej);
- zaprzestanie palenia papierosów (palenie zwiększa zachorowalność na raka płuc, ale też raka jamy ustnej, gardła, przełyku i trzustki);
- utrzymywanie optymalnej masy ciała; unikanie soli i produktów wysoko przetworzonych, które zwiększają ryzyko raka żołądka;
- zwiększenie aktywności fizycznej – ogranicza to zapadalność na raka jelita grubego (następuje bardziej efektywne przemieszczanie się mas kałowych, zmniejsza się prawdopodobieństwo wystąpienia zaparć);
- wykonywanie profilaktycznych badań diagnostycznych.

badania diagnostyczne

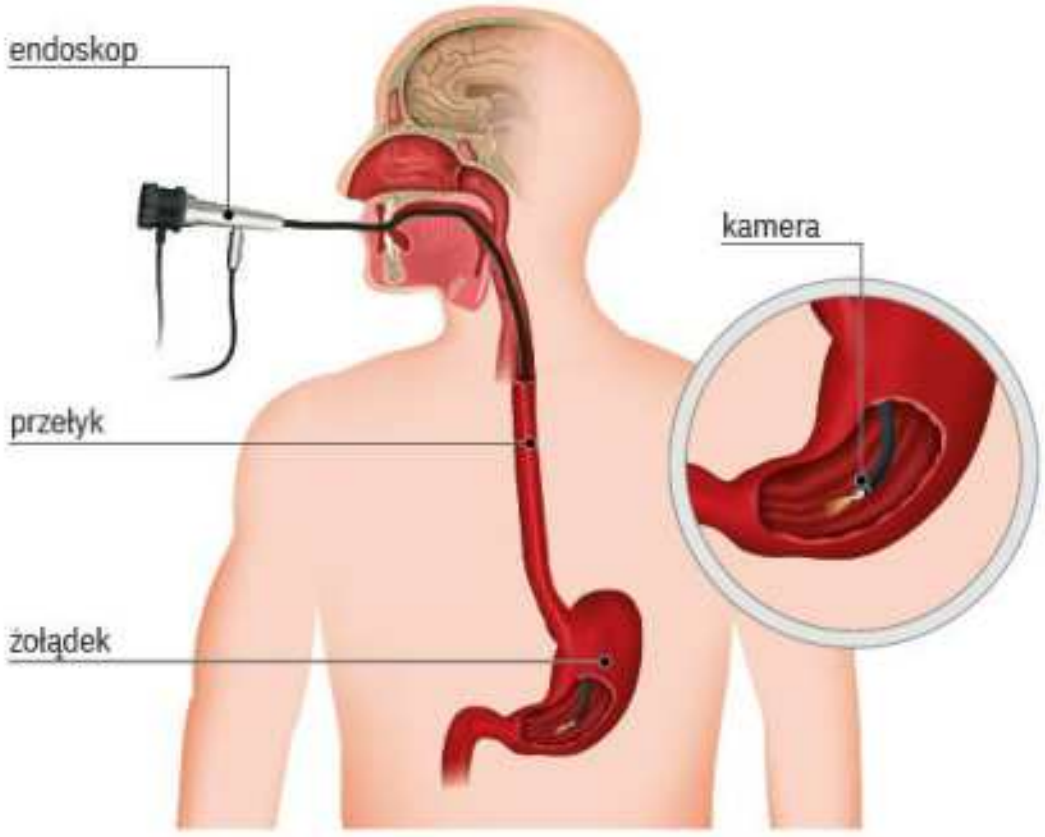
Badania diagnostyczne odgrywają kluczową rolę w profilaktyce chorób, ponieważ na podstawie ich wyników można ocenić stan funkcjonowania układu. Co ważne – badania pomagają wykryć zmiany na wczesnym etapie i wdrożyć właściwe leczenie. Powinny być wykonywane regularnie, zwłaszcza u osób, w których rodzinie występowały schorzenia tego układu. Badania diagnostyczne wykonuje się także w trakcie leczenia w celu monitorowania jego postępu. W wypadku układu pokarmowego najważniejszymi badaniami profilaktycznymi są:

- **morfologia krwi** (pozwala wykryć m.in. anemię, która może być np. skutkiem upośledzonego wchłaniania w przewodzie pokarmowym);
- oznaczenie aktywności we krwi **enzymów komórek wątroby** ALT i AST (wzrost może świadczyć o uszkodzeniu wątroby);
- oznaczenie we krwi stężenia **enzymów trzustkowych**: amylazy trzustkowej i lipazy (wzrost może świadczyć o uszkodzeniu trzustki lub guzie nowotworowym);
- ogólne **badanie moczu** (ogólny stan narządów układu pokarmowego, m.in. wątroby i trzustki);
- **badanie kału** (m.in. na obecność krwi utajonej w kierunku raka jelita grubego czy w zakażeniach bakteryjnych, np. *Helicobacter pylori* w chorobie wrzodowej).

techniki obrazowe

Oprócz badań laboratoryjnych diagnozę narządów układu pokarmowego można śledzić za pomocą **technik obrazowych**, m.in. ultrasonografii, gastroskopii, kolonoskopii czy tomografii komputerowej. W **ultrasonografii** (USG) do badania i obrazowania narządów stosuje się fale ultradźwiękowe, które są pochłaniane lub odbijane, dając w efekcie obraz narządów wewnętrznych. Badanie to umożliwia ocenę stanu wątroby, pęcherzyka żółciowego czy trzustki. Jednak nie pozwala dość dobrze zobaczyć żołądka, dwunastnicy ani dalszych części jelit. Badanie to jest nieinwazyjne – wykonuje się je przez powłoki jamy brzusznej. USG pozwala na wykrycie bardzo małych zmian we wczesnym stadium ich rozwoju.

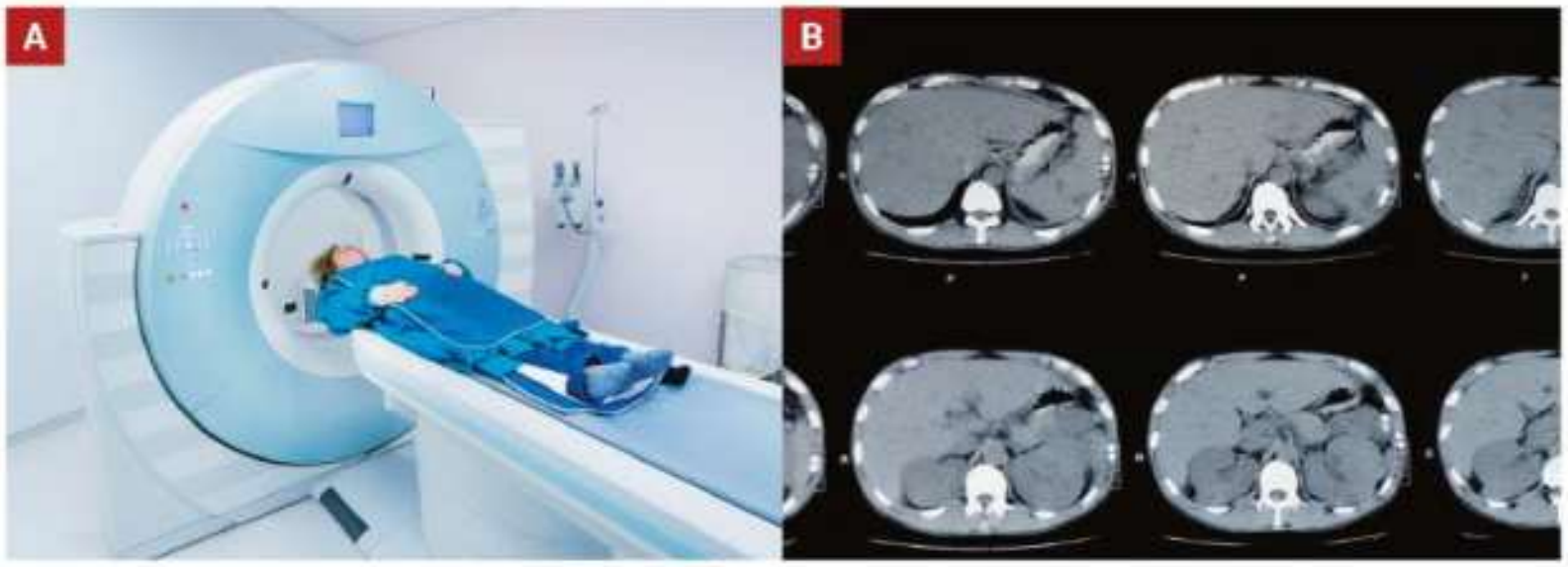
Gastroskopia oraz **kolonoskopia** (**ryc. II.9.7.**) to tzw. metody endoskopowe, za pomocą których można badać wnętrze ciała. Metody te polegają na wprowadzeniu do wnętrza przewodu pokarmowego giętkiej sondy zaopatrzonej w kamerę oraz źródło światła. Gastroskopia to badanie górnego odcinka przewodu pokarmowego (od przełyku do dwunastnicy), w którym endoskop jest wprowadzany przez jamę ustną i gardło do przełyku. Celem wykonywania gastroskopii jest nie tylko diagnostyka, lecz także leczenie (pobieranie materiału do badań, usuwanie polipów i ciał obcych czy tamowanie krwawień). Dzięki gastroskopii można rozpoznać żylaki przełyku, chorobę wrzodową, zapalenie błony śluzowej żołądka, a przede wszystkim raka żołądka. Profilaktyczne wykonywanie gastroskopii jest szansą na wykrycie tego nowotworu we wczesnym stadium i podjęcie odpowiedniego leczenia.



Ryc. II.9.7. Gastroskopia to metoda diagnostyczna żołądka, która polega na wprowadzeniu endoskopu przez usta.

Kolonoskopia to badanie dolnego odcinka przewodu pokarmowego. Opiera się na tej samej zasadzie, co gastroskopia, przy czym endoskop jest wprowadzany przez odbyt. W trakcie tego badania można sprawdzić stan jelita grubego. Kolonoskopia jest nieodzownym badaniem w profilaktyce raka jelita grubego, choroby Leśniowskiego–Crohna czy schorzeń związanych z zaburzeniami wchłaniania. Coraz częściej stosowanymi technikami obrazowania, m.in. narządów i tkanek przewodu pokarmowego, są **tomografia komputerowa** (**TK**) oraz metoda **rezonansu magnetycznego**. Tomografia komputerowa bazuje na zewnętrznym źródle promieniowania rentgenowskiego i pozwala na uzyskanie bardzo dokładnego obrazu przekroju badanego narządu. To niezastąpione narzędzie diagnostyczne w przypadku nowotworów wątroby czy trzustki (**ryc. II.9.8.**). Obrazowanie za pomocą rezonan-

su magnetycznego jest szczególnie przydatne do wykrywania zmian chorobowych w tkankach zasłoniętych kośćmi. Badanie to wykonuje się najczęściej w przypadku nowotworów jelit i żołądka.



Ryc. II.9.8. Tomografia komputerowa pozwala na zobrazowanie przekroju ciała (A). Uwidacznia zmiany w obrębie układu pokarmowego, np. choroby trzustki (B).

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Zapisz w zeszycie po jednym przykładzie chorób układu pokarmowego o podłożu:

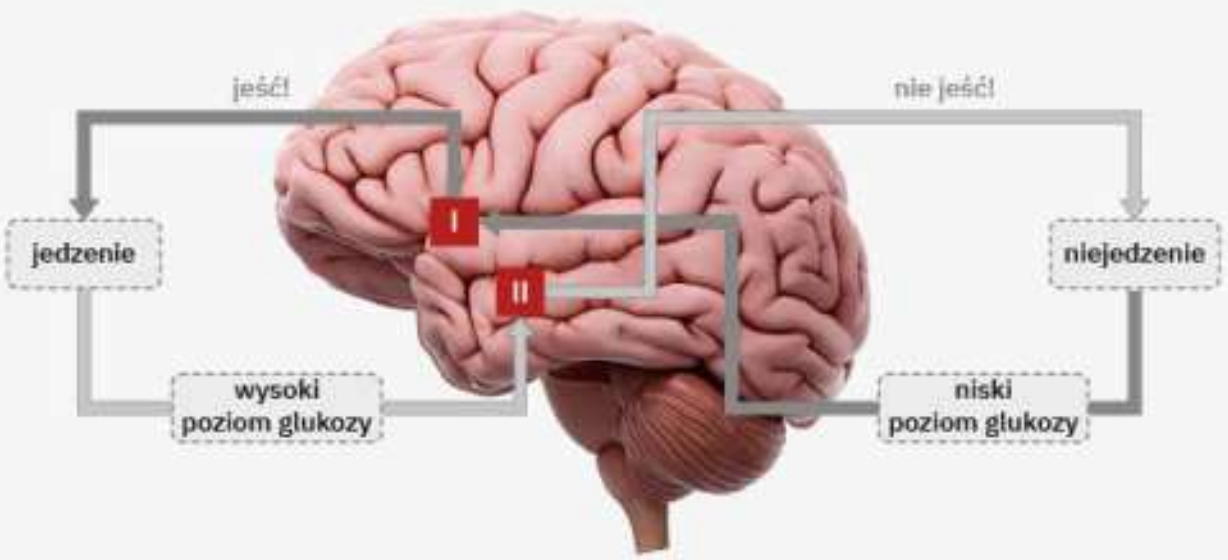
a) bakteryjnym, b) wirusowym, c) nowotworowym, d) autoimmunologicznym.

2. Wytłumacz, na czym polegają różnice i podobieństwa między anoreksją i bulimią.

3. Lekarz podejrzewa wystąpienie u pana Jana wrzodziejącego raka jelita grubego lub polipów tego narządu. Wskaż, które z wymienionych badań diagnostycznych należy wykonać. Uzasadnij ustnie swoją odpowiedź.

A. ultrasonografia B. gastroskopia C. kolonoskopia

4. Na podanym schemacie wskaż ośrodki głodu (OG) i sytości (OS).



5. Oblicz pisemnie w zeszycie współczynnik BMI osoby o wadze 72 kg i wzroście 158 cm. O czym świadczy wartość obliczonego BMI?

6. Wymień pięć zaleceń, do których należy się stosować, aby uniknąć otyłości.

PODSUMOWANIE LEKCJI

s. 167
- **Choroby układu pokarmowego** mają podłoże bakteryjne (m.in. salmonelloza, choroba wrzodowa), wirusowe (np. wirusowe zapalenie wątroby) i genetyczne (choroba Leśniowskiego–Crohna, niektóre nowotwory).

s. 170
- Metabolizm pokarmów jest regulowany przez **ośrodki głodu i sytości** w mózgu, które działają przeciwstawnie.

s. 170
- Na ośrodki głodu i sytości wpływają **zmiany poziomu glukozy we krwi** oraz sygnały z tkanki tłuszczowej.

s. 169
- **Otyłość** to zwiększenie masy ciała przez nadmierne gromadzenie się tkanki tłuszczowej. Ma podłoże endogenne (m.in. genetyczne) lub egzogenne (nieprawidłowa dieta, brak aktywności fizycznej).

s. 172
- W **zaburzeniach odżywiania** (anoreksja, bulimia) istotną rolę odgrywa czynnik psychiczny.

s. 173
- **Chorobom układu pokarmowego** można zapobiec, m.in. poprzez przestrzeganie podstawowych zasad higieny, stosowanie zrównoważonej diety i unikanie używek.

s. 173
- Do **badań diagnostycznych** układu pokarmowego należą: morfologia krwi, ultrasonografia, gastroskopia i kolonoskopia.

s. 174
- Tomografia komputerowa i magnetyczny rezonans jądrowy są **technikami obrazowania narządów** i tkanek układu pokarmowego.

10. Budowa i funkcje układu odpornościowego

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz budowę i funkcje elementów układu odpornościowego człowieka;
- przeanalizujesz mechanizmy odpowiedzi immunologicznej;
- uzyskasz informacje na temat rodzajów odporności;
- dowiesz się, w jaki sposób organizm odróżnia swoje komórki od obcych.

W ciągu swojego życia stale jesteśmy narażeni na kontakt z licznymi **drobnoustrojami**. W tej grupie są zarówno bakterie, jak i wirusy, grzyby czy pasożyty. Drobnoustroje te są potencjalnie chorobotwórcze, a jednak chorujemy stosunkowo rzadko, niekiedy tylko raz w życiu – np. na świnkę czy ospę. Wszystko, co pobudza system odpornościowy do odpowiedzi, nosi nazwę **antygenu**. Antygenami są najczęściej cząsteczki białek lub polisacharydów występujących na powierzchni drobnoustrojów, które przedostały się do wnętrza organizmu. Antygeny to także toksyny bak-

antygen

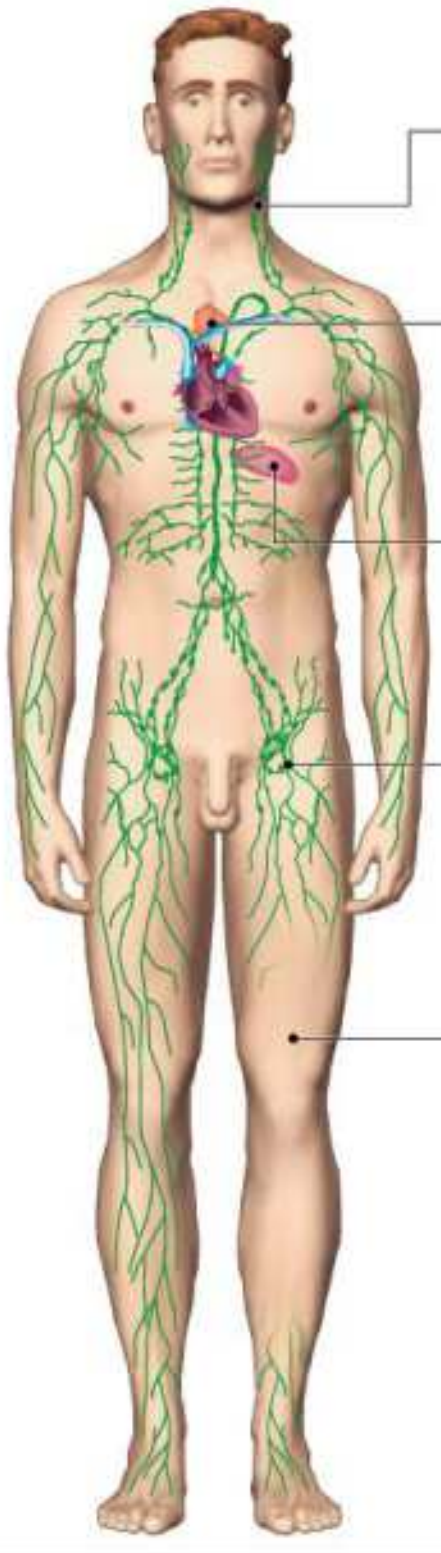
teryjne, wirusowe oraz grzybowe. Nauka zajmująca się badaniem mechanizmów odpornościowych to **immunologia**.

Elementy budujące układ odpornościowy człowieka

elementy układu odpornościowego

komórki odpornościowe

W skład układu odpornościowego wchodzą **narządy limfatyczne** (grasica, śledziona, szpik kostny czerwony, migdałki, węzły chłonne) (**ryc. II.10.1.**), **komórki odpornościowe** (limfocyty, makrofagi, granulocyty, komórki dendrytyczne) (**tab. II.10.1.**) oraz substancje odpornościowe (przeciwciała, cytokiny). Charakterystyczną cechą układu odpornościowego jest jego rozproszenie, co wprost wynika z jego funkcji – obrony przed patogenami w każdym miejscu organizmu. Do najważniejszych komórek odpornościowych organizmu należą limfocyty T, limfocyty B, makrofagi, granulocyty oraz komórki dendrytyczne. Ich charakterystykę przedstawiono w **tabeli II.10.1.**



Migdałki
– biorą udział w obronie organizmu przed zakażeniami drogą pokarmową i oddechową.

Grasica
– miejsce dojrzewania limfocytów T i unieszkodliwiania wadliwych limfocytów T.

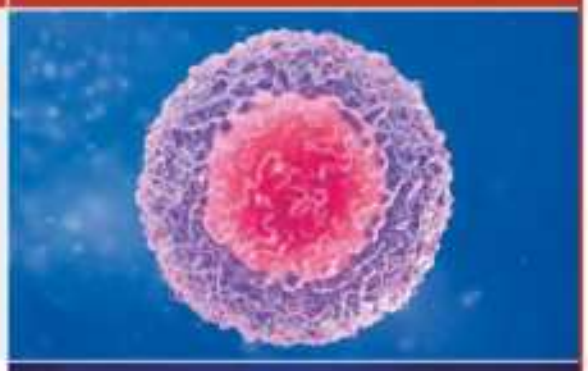
Śledziona
– miejsce wytwarzania limfocytów, uczestniczy w fagocytozie i unieszkodliwianiu zużytych elementów morfotycznych krwi.

Węzły chłonne
– filtracja limfy i zatrzymywanie patogenów; miejsce wytwarzania przeciwciał przez limfocyty B.

Szpik kostny czerwony
– miejsce powstawania limfocytów.

Ryc. II.10.1. Narządy limfatyczne są częścią układu immunologicznego.

Tab. II.10.1. Najważniejsze komórki odpornościowe

Rodzaj komórek	Funkcja	Rysunek
Limfocyty B	Wytwarzają przeciwciała; są komórkami prezentującymi antygen.	
Limfocyty T	Limfocyty T cytotoksyczne (Tc) rozpoznają antygeny i niszczą patogeny w miejscu infekcji; niszczą komórki nowotworowe. Limfocyty T pomocnicze (Th) regulują (wzmacniają lub osłabiają) odpowiedzi obronne organizmu.	
Makrofagi	Ich prekursorami są monocyty; komórki fagocytujące, które wędrują w kierunku miejsca infekcji, wchłaniają i trawią drobnoustroje lub ich fragmenty; są komórkami prezentującymi antygen.	
Granulocyty	Biorą udział w fagocytozie i odczynie zapalnym organizmu (patrz niżej). Do granulocytów należą: • bazofile (granulocyty zasadochłonne) – biorą udział w reakcji zapalnej, magazynują histaminę, heparynę i cytokiny; • eozynofile (granulocyty kwasochłonne) – odgrywają rolę w zakażaniach pasożytniczych oraz reakcjach alergicznych; są fagocytami; • neutrofile (granulocyty obojętnochłonne) – pochłaniają i niszczą bakterie; uwalniają cytokiny.	
Komórki dendrytyczne	Pobudzają limfocyty poprzez prezentację antygenu. Rozwijają się z komórek prekurosorowych w szpiku kostnym oraz z monocytów. Są rozmieszczone we wszystkich tkankach kontaktujących się ze środowiskiem (np. skórze).	
Komórki NK (z ang. *natural killer*)	Jeden z rodzajów limfocytów; szybko rozpoznają komórki zakażone wirusem i stymulują ich apoptozę, zanim wirus zacznie się rozwijać.	

Substancje odpornościowe

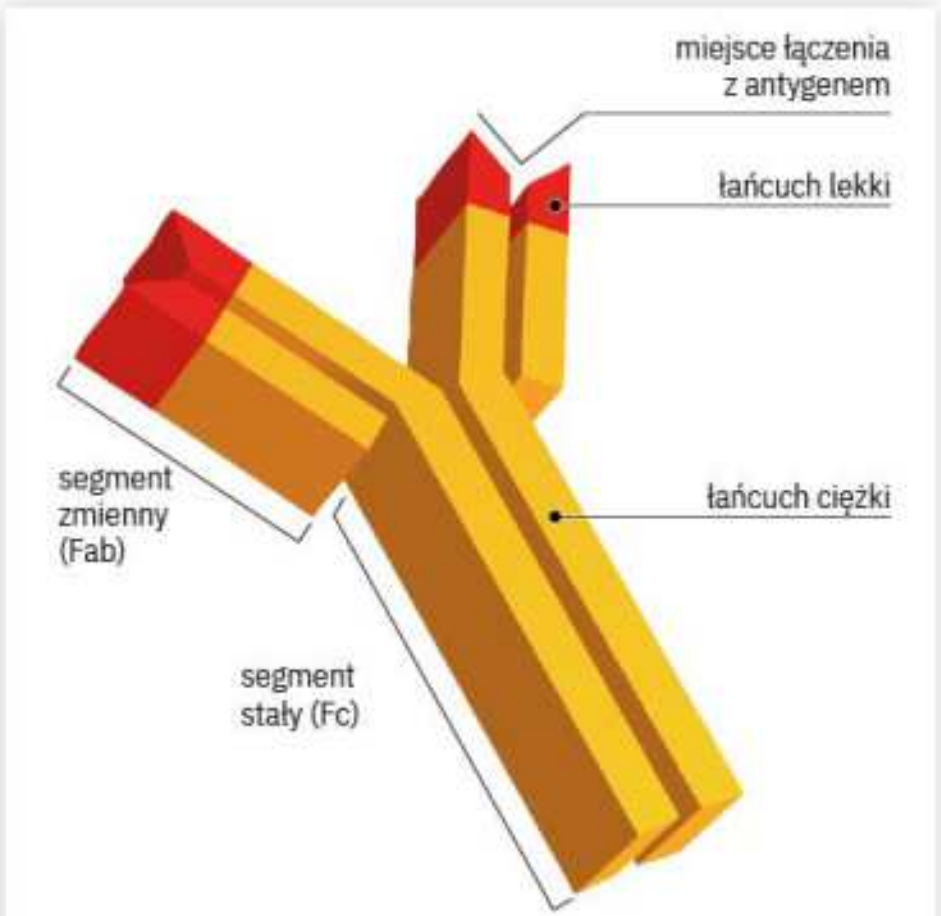
substancje odpornościowe

Na **odpowiedź immunologiczną** organizmu składają się procesy rozpoznawania obcych cząsteczek oraz reakcje służące ich eliminacji. Najważniejszymi cząsteczkami biorącymi udział w odpowiedzi odpornościowej są przeciwciała, cytokiny i białka ostrej fazy. Innymi przykładami substancji chemicznych o charakterze odpornościowym są **defensyny** (peptydy wytwarzane przez komórki nabłonkowe skóry i występujące w ślinie) czy **lizozym** (enzym antybakteryjny występujący w ślinie i łzach). Liczba substancji zaangażowanych w odpowiedź immunologiczną jest bardzo długa i wykracza poza zakres tego podręcznika.

Przeciwciała

przeciwciała

Jedną z kluczowych funkcji układu odpornościowego pełnią **przeciwciała**, czyli **immunoglobuliny** (Ig) (**ryc. II.10.2.**). Odgrywają one zasadniczą rolę w obronie organizmu przed bakteriami, wirusami i pasożytami zewnątrzkomórkowymi – wiążą antygeny i aktywują procesy, które prowadzą do zniszczenia patogenu. Większość przeciwciał znajduje się we krwi (stanowią ponad 20% białek osocza). Przeciwciała są białkami, które składają się z czterech łańcuchów polipeptydowych, a ich kształt przypomina literę Y (**ryc. II.10.2.**). Na dwóch ramionach przeciwciała, określonych jako **fragmenty Fab**, znajdują się miejsca wiązania antygenów. Rdzeń przeciwciała (**fragment Fc**) wyznacza klasę, do której należy przeciwciało i jest miejscem wiązania się przeciwciała z receptorami na fagocytach i innych komórkach odpornościowych. Przeciwciało składa się z dwóch **łańcuchów lekkich** połączonych z dwoma **łańcuchami ciężkimi**. W ich obrębie znajdują się regiony stałe i zmienne. W regionie stałym łańcuchów ciężkich sekwencja aminokwasów jest taka sama w określonej klasie przeciwciał. Region zmienny ma unikatową sekwencję aminokwasową, która pozwala na rozpoznawanie i wiązanie określonego antygenu. Struktura przestrzenna tego fragmentu jest ściśle dopasowana do przyłączanego antygenu. Wyróżniamy pięć klas przeciwciał (IgG, IgA, IgM, IgD, IgE) ze względu na budowę oraz reakcje, w których uczestniczą. Większość ludzkich przeciwciał (ok. 75%) należy do klasy **IgG** (**tab. II.10.2.**).



Ryc. II.10.2. Budowa przeciwciała z miejscem wiązania antygenu.

Tab. II.10.2. Główne klasy przeciwciał

Klasa przeciwciał	Funkcja
IgG	Są obecne w surowicy krwi w największym stężeniu. Powstają we wtórnych odpowiedziach immunologicznych. IgG matczyne przenikają przez łożysko i zapewniają odporność noworodkom w pierwszych miesiącach życia.
IgA	Znajdują się w ślinie, łzach, śluzie oskrzeli i jelit, mleku matki. Łączą się z patogenami i opłaszczają je, a w ten sposób znakują je dla fagocytów.
IgE	Zwalczają pasożyty przewodu pokarmowego i biorą udział w reakcjach alergicznych.
IgM	Biorą udział w pierwotnej odpowiedzi immunologicznej. Są wytwarzane jako pierwsze w czasie reakcji odpornościowej.
IgD	Występują na powierzchni limfocytów B. Biorą udział w ich dojrzewaniu i aktywacji.

Do najważniejszych funkcji przeciwciał należą:

- zlepianie, opłaszczanie antygenów i inaktywacja toksyn bakteryjnych;
- wiązanie i „zaznaczanie" antygenów do fagocytozy przez neutrofile i makrofagi;
- degranulacja zawartości eozynofilii i komórek NK prowadząca do cytotoksyczności;
- aktywacja białek odpornościowych, tzw. układu dopełniacza;
- aktywacja limfocytów B.

cytokiny

Cytokiny

Cytokiny to białka i peptydy wydzielane przez leukocyty (limfocyty, monocyty i makrofagi), a wpływające na wzrost lub aktywność innych komórek odpornościowych. Służą do komunikacji międzykomórkowej, regulują intensywność i czas trwania odpowiedzi immunologicznej. Biorą udział w powstawaniu stanu zapalnego. Mogą być produkowane przez każdą komórkę jądrzastą „na żądanie", czyli wtedy, kiedy konieczna jest odpowiedź immunologiczna. Cytokiny zostały podzielone na kilka rodzin, do których zalicza się m.in. interferony, interleukiny i chemokiny. **Interferony** alfa i beta są wydzielane przez komórki zakażone wirusami lub innymi patogenami. Interferony te hamują replikację wirusów i pobudzają produkcję białek przeciwwirusowych. Z kolei interferon gamma aktywuje makrofagi do niszczenia komórek nowotworowych i inne komórki odpornościowe. Interferony są wykorzystywane w terapiach wielu chorób (np. białaczki czy wirusowego zapalania wątroby typu B i C). **Interleukiny** (IL) są wydzielane głównie przez makrofagi i limfocyty. Interleukiny stymulują leukocyty, np. IL-1 pośredniczy w reakcji zapalnej i powoduje gorączkę, a IL-12 stymuluje limfocyty NK i limfocyty T do produkcji gamma interferonu. **Chemokiny** przyciągają i aktywują komórki układu odpornościowego (np. białe krwinki z krwi do tkanek), a także biorą udział w reakcji zapalnej.

interferony

interleukiny

chemokiny

białka ostrej fazy

Białka ostrej fazy

Białka ostrej fazy zostały tak nazwane ze względu na ich udział w procesie zapalnym natychmiast po infekcji lub urazie (faza ostra). Białka ostrej fazy są produko-

wane przez wątrobę. Zalicza się do nich białka, których rolą jest opłaszczanie patogenów, i białka działające jako inhibitory proteaz, czyli enzymów trawiących białka. Do grupy białek ostrej fazy należy także **białko C-reaktywne** (z ang. *C-reactive protein*, **CRP**). Podwyższony poziom tego białka występuje nie tylko przy ostrych stanach zapalnych, lecz także w chorobach przewlekłych (np. reumatoidalnym zapaleniu stawów, nowotworach).

Odpowiedź immunologiczna

odpowiedź immunologiczna

odporność nieswoista i swoista

Odporność nieswoista i swoista

Organizm wykształcił wiele sposobów ochrony przed antygenami. Do podstawowych typów odpowiedzi immunologicznej należą mechanizmy **odporności nieswoistej i swoistej**. W **tabeli II.10.3.** podano podstawowe różnice między tymi dwoma typami odpowiedzi immunologicznej.

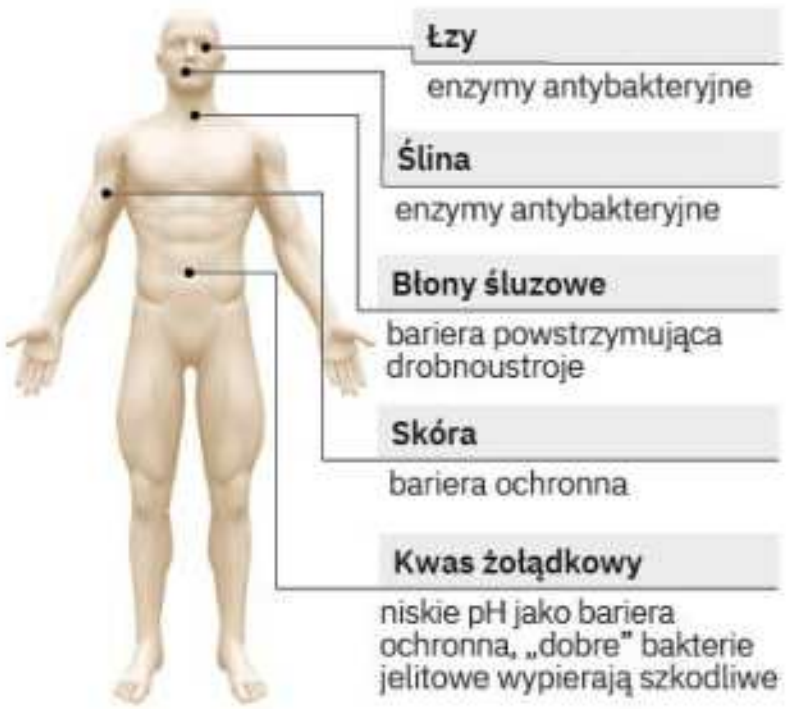
Tab. II.10.3. Porównanie odporności nieswoistej i swoistej

Odpowiedz nieswoista	Odpowiedz swoista
– bardzo szybka (natychmiastowa), nie wymaga aktywacji – receptory rozpoznające mikroorganizmy są niezmienne i dziedziczne – działa niewybiórczo – nie pozostawia pamięci immunologicznej – zachodzi niezależnie od odpowiedzi swoistej	– rozwija się powoli, czasami wiele dni – receptory rozpoznające antygeny powstają na nowo (wiele razy w ciągu życia osobnika) i nie są dziedziczone – działa specyficznie – pozostawia pamięć immunologiczną – współdziała z odpowiedzią nieswoistą

Nieswoiste mechanizmy obronne

Nieswoiste mechanizmy są wrodzone i skierowane przeciwko wielu rodzajom drobnoustrojów i cząsteczek obcych (niewybiórcze) (**ryc. II.10.3.**). Stanowią pierwszą linię obrony organizmu. Ich głównym zadaniem jest zapobieganie wnikaniu oraz rozprzestrzenianiu się drobnoustrojów i obcych cząsteczek w ustroju. Głównymi mechanizmami nieswoistymi są:

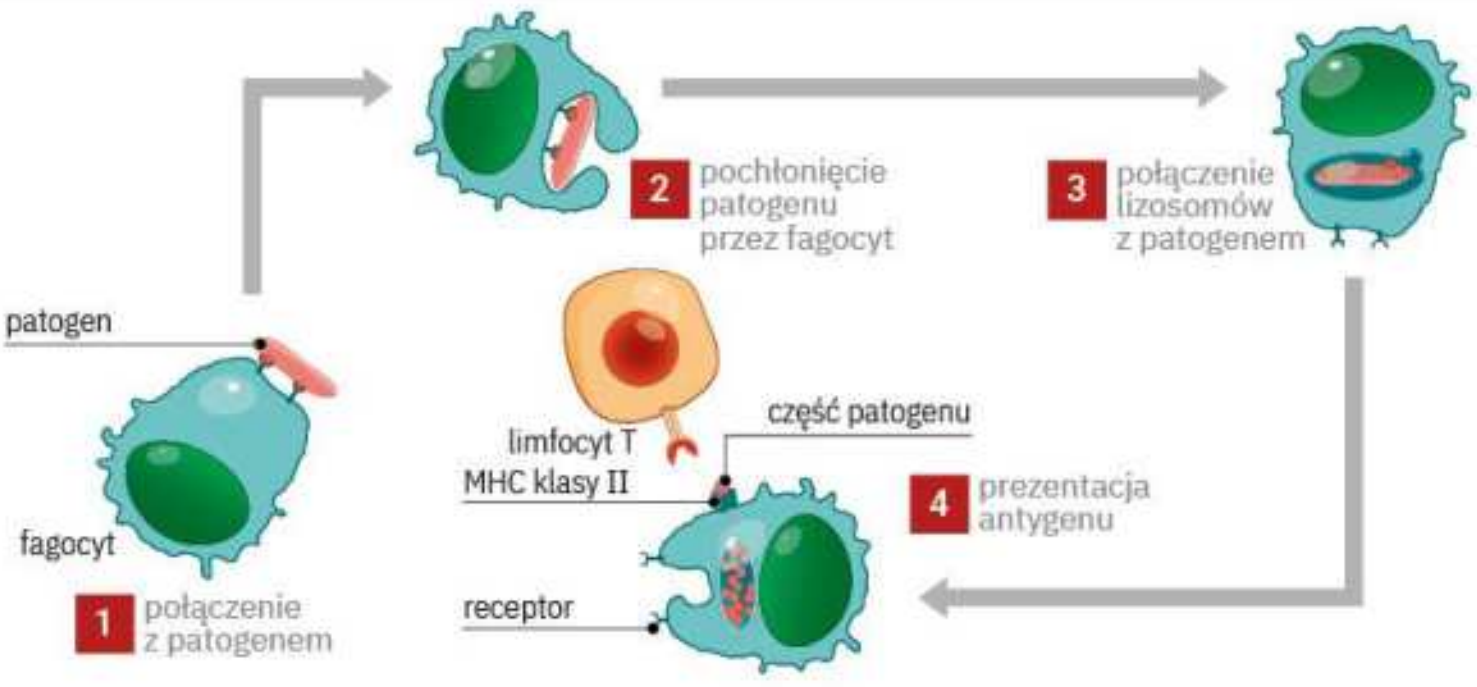
- **skóra i błony śluzowe** wyścielające narządy wewnętrzne układów, m.in. pokarmowego i oddechowego. Zdrowa, nieuszkodzona skóra ochrania powierzchnie mające kontakt ze środowiskiem zewnętrznym. Dodatkowo wydzielane przez gruczoły skórne łój i pot zawierają substancje bakterio-



Ryc. II.10.3. Nieswoiste mechanizmy obrony organizmu.

bójcze oraz przeciwgrzybicze. Śluz wydzielany przez błony śluzowe dzięki lepkiej konsystencji unieruchamia drobnoustroje i obce cząsteczki;

- **mechanizmy fizjologiczne**, m.in. kaszel, kichanie, łzawienie, wymioty, biegunka, w czasie których organizm pozbywa się toksyn i drobnoustrojów;
- **fagocytoza** to inaczej zjadanie drobnoustrojów lub ich składników przez wyspecjalizowane w tym celu komórki (np. makrofagi, granulocyty), które przemieszczają się w kierunku miejsca zakażenia i pochłaniają drobnoustroje lub obce cząsteczki (**ryc. II.10.4.**). Makrofagi po strawieniu antygenu działają jako komórki prezentujące antygen, tzn. wskazują innym komórkom odpornościowym (limfocytom T) antygen w celu wywołania przeciwko niemu reakcji odpornościowej. Jest to ważny element łączący mechanizmy nieswoiste ze swoistymi;
- **naturalne substancje bakteriobójcze**: kwas solny w żołądku (zabija połknięte drobnoustroje), lizozym (białko o właściwościach antybakteryjnych obecne m.in. we łzach i ślinie), **białka układu dopełniacza** (grupa ok. 20 białek występujących we krwi i w tkankach, których zadaniem jest niszczenie bakterii oraz aktywacja fagocytozy);
- **stan zapalny** (**zapalenie**) będący fizjologiczną, najważniejszą reakcją organizmu na uszkodzenie tkanek. Na reakcję zapalną składa się kilka procesów: 1) rozszerzenie naczyń krwionośnych następujące w wyniku uwolnienia histaminy i **cytokin** przez pobudzone makrofagi, co prowadzi do zaczerwienienia i wzrostu temperatury; 2) zwiększenie przepuszczalności naczyń włosowatych, czego objawem jest obrzęk i ból; 3) wzmożona fagocytoza i poprzez przyciągnięcie licznych komórek układu odpornościowego (**ryc. II.10.5.**). Stan zapalny pełni trzy kluczowe funkcje: 1) przyciąga komórki odpornościowe do miejsca docelowego; 2) tworzy fizyczną barierę, która izoluje miejsce infekcji; 3) pobudza proces odbudowy tkanek po infekcji. Towarzysząca reakcji zapalnej gorączka pomaga zwalczyć zakażenie, gdyż nasila fagocytozę, wspomaga aktywność limfocytów, co prowadzi do niszczenia zakażonych komórek.



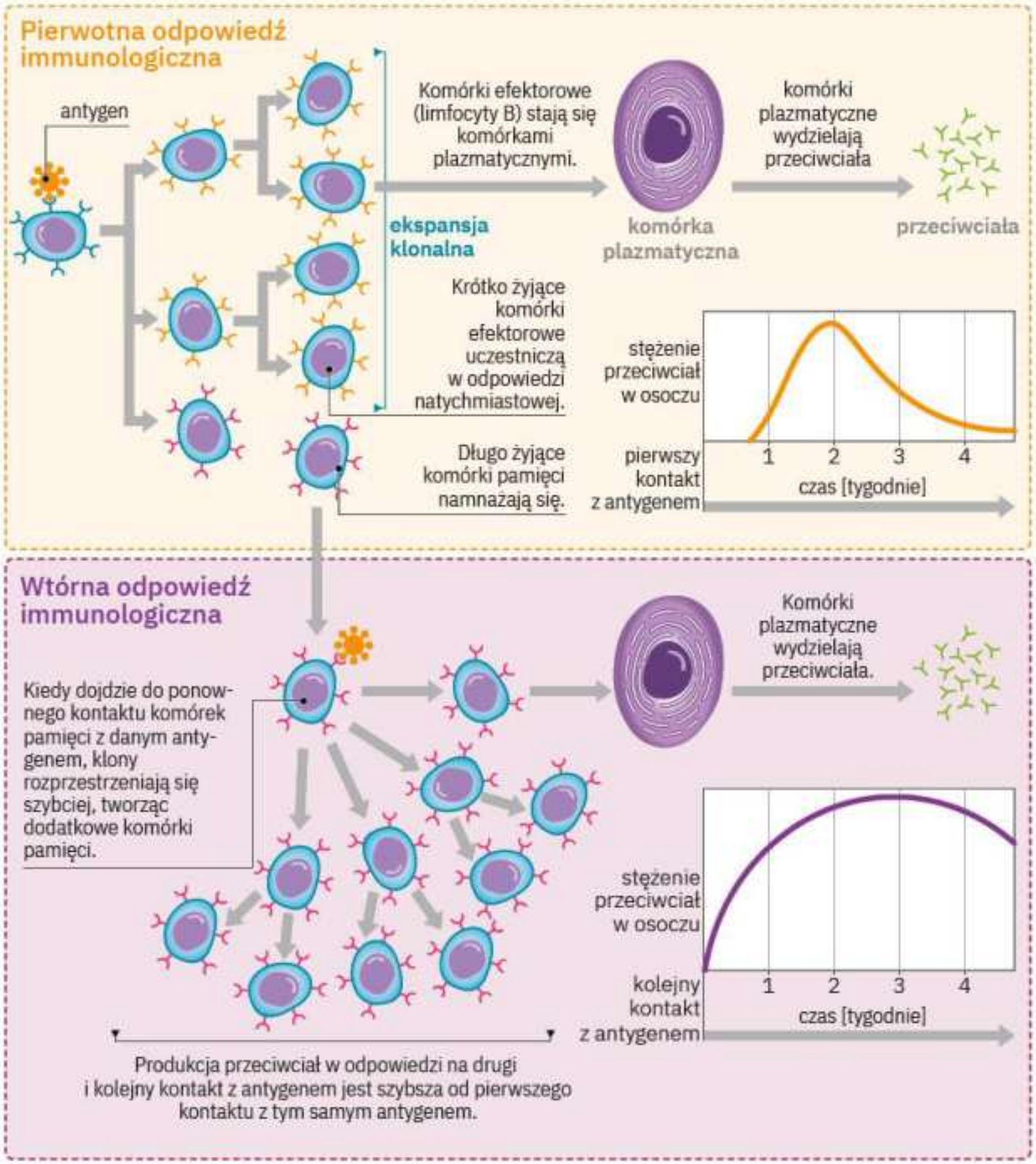
Ryc. II.10.4. Fagocytoza polega na pochłanianiu i trawieniu bakterii i innych drobnoustrojów.

Ryc. II.10.5. Istota przebiegu stanu zapalnego.

Swoiste mechanizmy obronne

Mechanizmy odporności swoistej są nabyte i skierowane przeciwko określonemu rodzajowi patogenów i cząsteczek obcych (działają wybiórczo). Odporność ta kształtuje się w trakcie całego życia człowieka. W odporności swoistej biorą udział: ◂ **odporność swoista**

- **limfocyty B** oraz wydzielane przez nie przeciwciała. Dojrzałe limfocyty B różnią się od siebie, gdyż mają na błonie komórkowej różne przeciwciała. Po dopasowaniu antygenu do przeciwciał na limfocycie B zaczyna on się intensywnie mnożyć. Powstaje klon limfocytów zdolnych do odpowiedzi na ten antygen (**ryc. II.10.6.**). Namnożone komórki przekształcają się w **komórki plazmatyczne**, które wydzielają przeciwciała. Po zwalczeniu patogenów komórki plazmatyczne giną, ale zachowanych zostaje kilka **komórek pamięci** zdolnych do odpowiedzi immunologicznej na ten rodzaj antygenu. Pierwszy kontakt z danym antygenem nazywamy **pierwotną odpowiedzią immunologiczną**. Przy ponownym kontakcie dochodzi do **wtórnej odpowiedzi immunologicznej** – szybszej i bardziej efektywnej, dlatego że organizm jest przygotowany do walki z nim. **Pamięć immunologiczna**, czyli zdolność do „zapamiętywania" patogenów lub cząsteczek, i wzmocniona odpowiedź immunologiczna przy ponownym kontakcie z nimi mają szczególne znaczenie w przypadku **szczepień ochronnych**. Szczepionka zawiera antygeny (żywe lub martwe drobnoustroje albo ich toksyny), które po wprowadzeniu do organizmu prowadzą do rozwoju skierowanych przeciwko nim przeciwciał i innych komórek (**ryc. II.10.6.**). Ponowne zetknięcie z tym patogenem uruchamia już obecne mechanizmy znacznie szybciej i zapobiega rozwojowi choroby; ◂ limfocyty B ◂ komórki pamięci

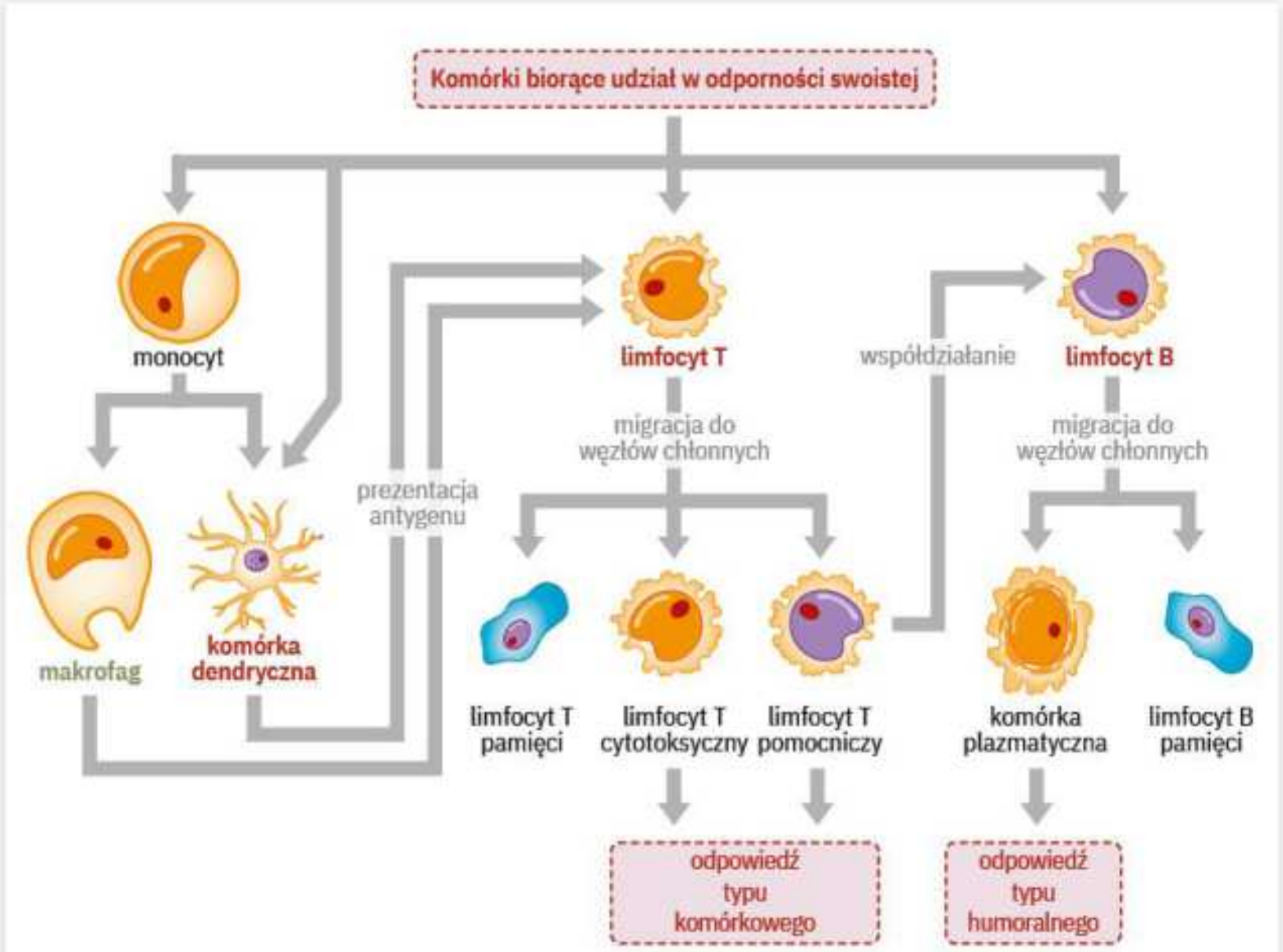


Ryc. II.10.6. Limfocyty B w odpowiedzi na antygen produkują przeciwciała (A) oraz komórki pamięci, które przy kolejnym kontakcie z antygenem reagują bardzo szybko (B).

limfocyty T

■ **limfocyty T** są niezbędne, gdy patogen wniknie do wnętrza komórki i nie jest już „dostępny" dla przeciwciał. Zaatakowane komórki prezentują na swojej powierzchni fragmenty obcych antygenów. Tak oznakowane komórki są celem limfocytów T, które atakują je i niszczą, zapobiegając w ten sposób dalszemu namnażaniu się wirusów, niektórych pasożytów i bakterii. Cytotoksyczność lim-

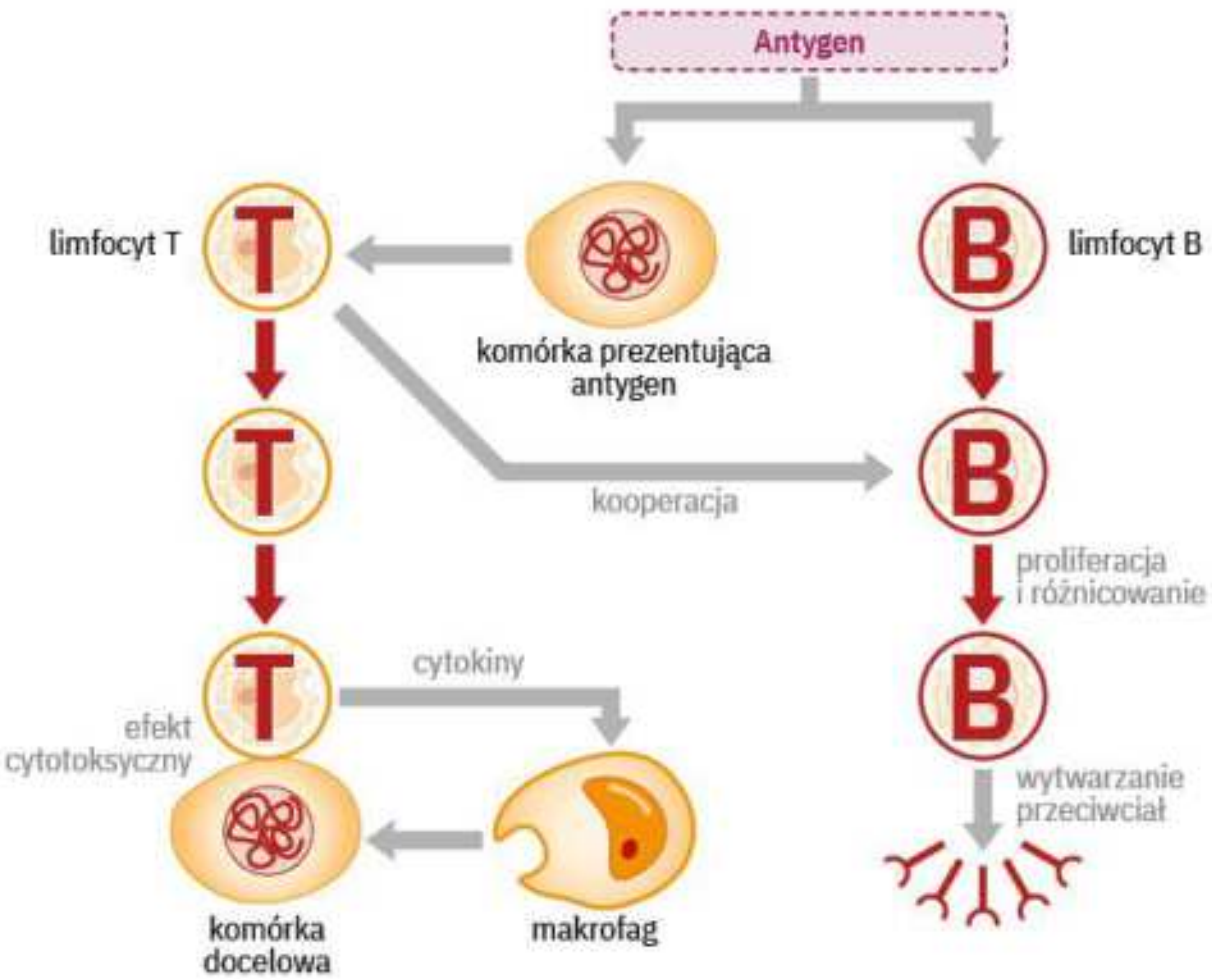
focytów T polega na wydzielaniu przez nie substancji, która tworzy pory w atakowanej komórce oraz enzymów zapoczątkowujących szereg następujących po sobie reakcji prowadzących do ich apoptozy. Oprócz limfocytów T cytotoksycznych (Tc) występują także limfocyty T pomocnicze (Th), wydzielające cytokiny, aktywujące inne komórki odpornościowe, m.in. makrofagi, limfocyty T cytotoksyczne, leukocyty i eozynofile (**ryc. II.10.7.**).



Ryc. II.10.7. Komórki biorące udział w odporności swoistej.

odporność komórkowa i humoralna

Odpowiedź nabytą można podzielić na odporność komórkową i humoralną (**ryc. II.10.7. i II.10.8.**). **Odporność komórkowa** bazuje na aktywowanych limfocytach T cytotoksycznych, które niszczą docelowe komórki. **Odporność humoralna** zależy od przeciwciał krążących we krwi i w limfie oraz używa tych białek do wywołania odpowiedzi immunologicznej. Termin „humoralny" pochodzi ze starożytności – Hipokrates dzielił płyny ludzkiego ciała na humory, a krew była jednym z nich (pozostałe to żółć, czarna żółć i flegma). Obie odpowiedzi, zarówno komórkowa, jak i humoralna, są wspomagane przez limfocyty T pomocnicze. W każdej odpowiedzi immunologicznej współistnieją na ogół obydwa rodzaje odporności, ale jeden może być bardziej nasilony od drugiego.



Ryc. II.10.8. Odporność swoista typu komórkowego (A) i humoralnego (B).

Ryc. II.10.9. Szczepionki zawierają żywe lub martwe drobnoustroje lub ich toksyny. Na przykład szczepionki przeciw grypie zawierają cząstki wirusa grypy lub jego białka powierzchniowe.

odporność swoista czynna i bierna

Odporność swoista czynna i bierna

Odporność swoistą można nabyć w sposób **czynny** lub **bierny**, przy czym obydwie mogą mieć charakter **sztuczny** lub **naturalny** (**tab. II.10.4.**). Odporność, którą uzyskujemy po przebytej chorobie lub szczepieniu, nazywamy **odpornością czynną**, gdyż została ona wytworzona samodzielnie przez organizm. **Odporność bierna** polega na wprowadzaniu do organizmu gotowych przeciwciał, skierowa-

nych przeciwko konkretnemu antygenowi. Na tej zasadzie nabywa odporność noworodek – uzyskuje przeciwciała matczyne poprzez łożysko w czasie życia płodowego, a po urodzeniu wraz z mlekiem (w czasie karmienia piersią). W zasadnych wypadkach (np. po ukąszeniu węża) podaje się surowicę odpornościową (płynna frakcja krwi zawierająca dużą ilość przeciwciał), która szybko unieszkodliwia antygeny.

Tab. II.10.4. Rodzaje swoistej odporności organizmu

	Naturalna	Sztuczna
Bierna		
	Przeciwciała matki przekazywane dziecku przez łożysko lub mleko.	Surowice odpornościowe (np. przeciwtężcowa, przeciwjadowa) pochodzenia ludzkiego lub zwierzęcego.
Czynna		
	Odporność zyskana po przebytych chorobach i zakażeniach.	Szczepienia ochronne.

Rozróżnianie komórek własnych od obcych – przeszczepy i transfuzje

W jaki sposób układ odpornościowy odróżnia własne komórki od obcych? Komórki własne mają **autoantygeny**, czyli kompleksy białkowe występujące na powierzchni błon komórkowych. Białka te nazywamy ludzkimi antygenami leukocytarnymi (z ang. *human leucocyte antigens*, czytaj: hjuman ljukosajt entidżens, **HLA**). Są one swojego rodzaju znacznikami służącymi do identyfikacji komórek (tzw. biochemiczny odcisk palca). Zestaw autoantygenów całego organizmu nazywamy **głównym układem zgodności tkankowej** (z ang. ***major histocompability complex***, czytaj: mejdżer histokompability kompleks, **MHC**). Układ odpornościowy porównuje antygeny zgodności tkankowej i na tej podstawie rozpoznaje komórki obce, przeciwko którym kieruje reakcję odpornościową. Każda osoba (z wyjątkiem bliźniąt jednojajowych) ma unikatowy zestaw antygenów zgodności tkankowej. Im bliższe pokrewieństwo, tym te antygeny są bardziej podobne. Wy-

główny układ zgodności tkankowej

różniamy dwa typy białek MHC. Cząsteczki **MHC klasy I** występują na wszystkich komórkach ludzkich mających jądro komórkowe. Wiążą one antygeny bakteryjne lub wirusowe pochodzące od patogenów, które dostały się do wnętrza komórki, i prezentują je limfocytom T cytotoksycznym. Cząsteczki **MHC klasy II** są obecne na komórkach prezentujących antygen (makrofagach, limfocytach B, komórkach dendrytycznych), a ich rola polega na indukowaniu wydzielania cytokin przez limfocyty T pomocnicze. Wysoka zgodność tkankowa jest jednym z podstawowych warunków **transplantacji** (**przeszczepiania**) narządów. Biorca i dawca przeszczepu są dobierani pod kątem jak największego podobieństwa antygenów układu MHC. Im większa zgodność tkankowa, tym mniejsze ryzyko odrzucenia przeszczepu. Niezgodność antygenów tkankowych wywołuje produkcję przeciwciał i pobudza limfocyty T, których aktywność powoduje odrzucenie przeszczepu.

transplantacja ▸ **Transplantacja** tkanek i narządów to metoda leczenia, a często jedyny ratunek życia. Przeszczepia się narządy (np. serce, nerkę), ich fragmenty (np. skórę) czy szpik kostny (w przypadku białaczek). Ryzyko odrzucenia przeszczepu spada, jeśli dawca jest spokrewniony z biorcą. W celu zmniejszenia ryzyka związanego

immunosupresja ▸ z odrzuceniem przeszczepu stosuje się zabiegi **immunosupresji**. Immunosupresja to stan osłabionej lub zahamowanej odpowiedzi immunologicznej. Celem tych działań jest wygaszenie reakcji odrzucenia poprzez osłabienie reakcji odpornościowych i przyjęcie przeszczepu. Immunosupresji można dokonać farmakologicznie za pomocą leków immunosupresyjnych lub przeciwciał, a także stosując promieniowanie jonizujące lub zabieg chirurgiczny (operacyjne usunięcie niektórych narządów limfatycznych). Po raz pierwszy leków immunosupresyjnych (były nimi pochodne kortyzolu) użyto w 1963 r. u pacjenta po przeszczepie nerki. Stosowane współcześnie leki immunosupresyjne opierają się na podawaniu łącznie trzech związków (tzw. schemat trójlekowy): cyklosporyny (cykliczny peptyd pochodzenia grzybowego), glikokortykosteroidów i azatiopryny (pochodna zasady purynowej). Należy zwrócić uwagę, że osoba po zabiegach immunosupresyjnych jest bezbronna wobec patogenów i podatna na szereg infekcji (np. zapalenie płuc). Z tego względu te osoby muszą przebywać w sterylnych, izolowanych warunkach, aby ograniczyć ryzyko zakażenia.

Niezgodność czynnika Rh – konflikt serologiczny

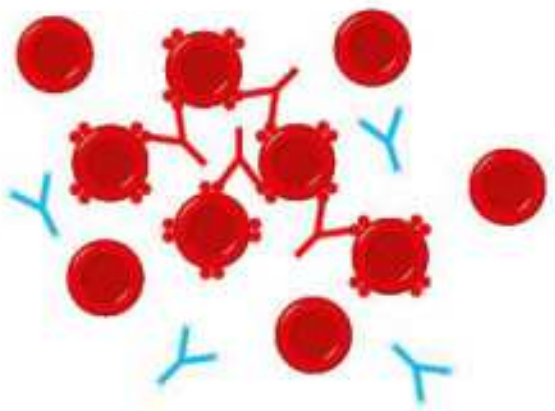
Błony komórkowe ludzkich erytrocytów nie zawierają cząsteczek MHC, a rolę an-

układ AB0 i Rh ▸ tygenów odgrywają białka powierzchniowe układu AB0 oraz Rh. Zgodność tych antygenów ma niezmierne znaczenie przy transfuzjach krwi i w relacjach matka – płód. Układ grup krwi AB0 składa się z czterech grup krwi będących kombinacjami dwóch różnych antygenów glikoproteinowych, oznaczonych jako A i B, zlokalizowanych w błonach erytrocytów (**ryc. II.10.10.**). Ludzie wytwarzają przeciwciała przeciwko antygenom, których sami nie mają. Na przykład jeśli osobie z grupą krwi 0 zostanie przetoczona przez pomyłkę grupa krwi A, to dojdzie do reakcji odpornościowej – przeciwciała anty-A obecne w osoczu biorcy połączą się z antygenami A na powierzchni erytrocytów dawcy i spowodują ich **aglutynację**, czyli zlepienie się (**ryc. II.10.10.**).

A

Grupa krwi	Antygen	Przeciwciała
0	erytrocyt Bez antygenów A i B	Anty-A i anty-B
A	Antygen A	Anty-B
B	Antygen B	Anty-A
AB	Antygeny A i B	Bez anty-A i anty-B

B



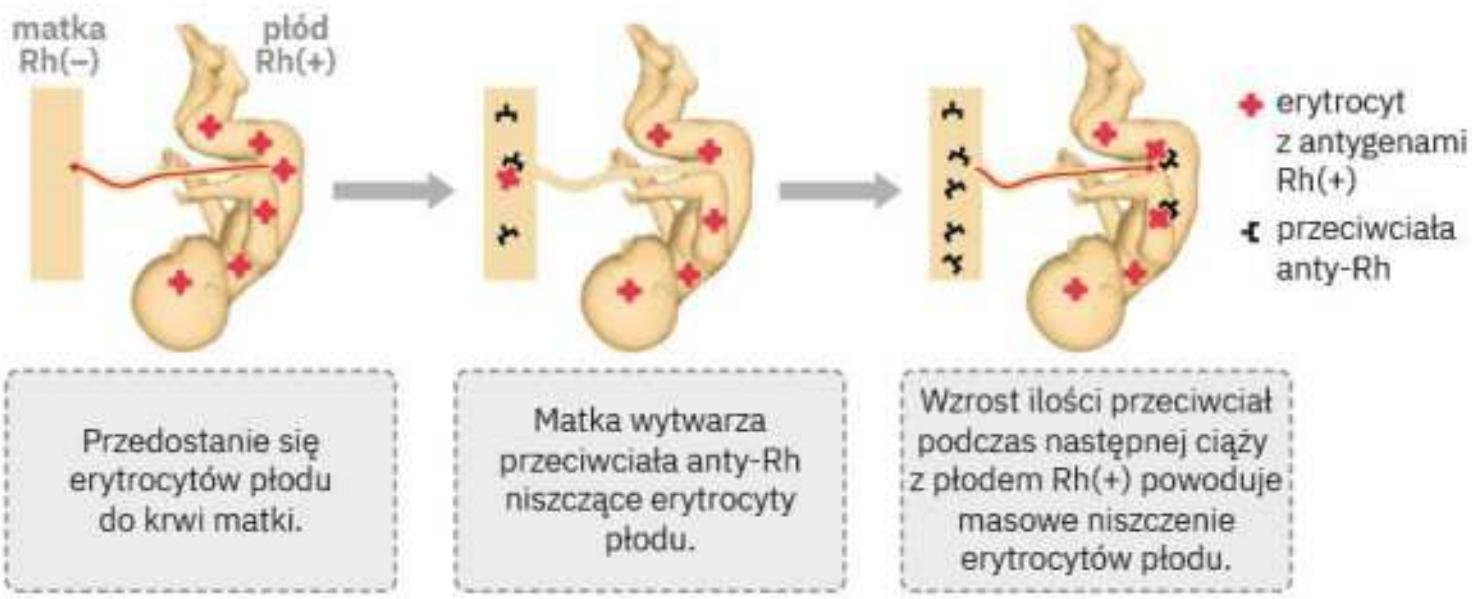
połączenie grupy krwi 0 z A

Ryc. II.10.10. Charakterystyka grup krwi układu AB0 (A) oraz efekt połączenia grupy krwi 0 z krwią grupy A (B).

W dalszej kolejności dojdzie do pęcznienia erytrocytów i uwolnienia z nich hemoglobiny, co może skutkować niewydolnością nerek. Dlatego przed każdym przetoczeniem wykonuje się próby krzyżowe krwi dawcy i biorcy, tak aby krew obu osób była dopasowana. Oprócz grup krwi układu AB0 występuje także **układ Rh**, na któ-

◂ antygen D

ry składa się co najmniej 49 antygenów (tzw. czynników Rh). Najważniejszym antygenem tego układu jest **antygen D**. Większość ludzi (ok. 85%) na powierzchni swoich krwinek czerwonych ma antygen D i te osoby nazywamy **Rh-dodatnimi**. U pozostałych osób brak jest antygenu D, tzn. są **Rh-ujemne**. Znajomość grupy krwi w zakresie układu Rh jest bardzo istotna zwłaszcza u osób planujących potomstwo, gdyż kontakt niezgodnych krwi matki i dziecka może doprowadzić do **konfliktu serologicznego** (**ryc. II.10.11.**). Taka sytuacja zachodzi wówczas, gdy kobieta



Ryc. II.10.11. Istota konfliktu serologicznego.

jest Rh-ujemna, a dziecko Rh-dodatnie. W czasie ciąży wymiana substancji odżywczych i tlenu zachodzi przez łożysko, ale istnieje ryzyko zmieszania się krwi matki i dziecka w czasie porodu. Zetknięcie krwi matki z krwią płodu aktywuje układ odpornościowy matki do produkcji **przeciwciał anty-D**. W kolejnej ciąży te przeciwciała przechodzą przez łożysko i dostają się do krwi płodu. Po połączeniu z antygenem D prowadzą do rozpadu erytrocytów płodu (hemolizy). Spadek liczby erytrocytów grozi niedotlenieniem, a produkty rozkładu erytrocytów niszczą narządy wewnętrzne. W skrajnych przypadkach może rozwinąć się **choroba hemolityczna** noworodków, która stanowi zagrożenie dla życia. Konfliktowi Rh można zapobiec poprzez podawanie kobietom po porodzie przeciwciał anty-D, które szybko niszczą krwinki płodu w jej krwi, zapobiegając tym samym uszkodzeniu płodu w kolejnej ciąży.

konflikt serologiczny

przeciwciała anty-D

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Wymień narządy limfatyczne człowieka.
2. Wyjaśnij, na czym polega fagocytoza, oraz wymień dwa przyklady fagocytujących komórek odpornościowych.
3. Narysuj schematycznie w zeszycie budowę przeciwciała, podpisz elementy jego budowy oraz wyjaśnij ich znaczenie.
4. Z poniższych mechanizmów wybierz i zapisz w zeszycie te, które zalicza się do nieswoistych mechanizmów obronnych.

   lizozym w ślinie i łzach, cytotoksyczność limfocytów T, nieuszkodzona skóra, wytwarzanie przeciwciał przez limfocyty B, reakcja zapalna, kaszel
5. Sporządź w zeszycie grafikę obrazującą podział i rodzaje odporności.
6. Wyjaśnij różnice między poniższymi pojęciami.

a) patogen i alergen

b) odpowiedź immunologiczna i pamięć immunologiczna

c) odporność komórkowa i odporność humoralna

7. Przeczytaj poniższy tekst i wykonaj polecenia.

   W ostatnim czasie coraz większym zainteresowaniem cieszą się podjednostkowe szczepionki nowej generacji. Zawierają one wysoce oczyszczone immunogenne antygeny stanowiące fragmenty drobnoustrojów. Zastosowanie tego typu antygenów wyklucza przede wszystkim ryzyko rozwoju zakażenia drobnoustrojem „szczepionkowym", a skład preparatu jest dobrze zbadany i zdefiniowany. [...] *Szczepionki podjednostkowe najczęściej są oparte na białkach, peptydach lub polisacharydach zawierających immunogenne części antygenu. Antygeny są izolowane z hodowli konkretnego szczepu drobnoustroju lub powstają na drodze rekombinacji z hodowli drobnoustrojów niepatogennych.*

a) Na podstawie tekstu wyjaśnij, czym różnią się szczepionki nowej generacji od szczepionek tradycyjnych.

b) Powiedz, który z podanych rodzajów odporności nabywamy w trakcie szczepień ochronnych.

naturalna, bierna, sztuczna, czynna

PODSUMOWANIE LEKCJI

- **Antygeny** (cząsteczki białek lub polisacharydów pochodzące od drobnoustrojów) pobudzają układ odpornościowy do odpowiedzi immunologicznej. s. 176
- **Układ odpornościowy składa się z** narządów limfatycznych (m.in. grasicy, śledziony, szpiku kostnego), komórek i substancji odpornościowych. s. 177
- Do najważniejszych **komórek odpornościowych** zaliczamy: limfocyty B i T, makrofagi, granulocyty, komórki dendrytyczne oraz komórki NK. s. 177
- **Substancjami odpornościowymi** są przeciwciała, cytokiny i białka ostrej fazy. s. 179
- **Przeciwciała** są produkowane przez limfocyty B, wiążą antygeny i aktywują procesy immunologiczne. s. 179
- **Cytokiny** (np. interferony, interleukiny) to białka, które są wydzielane przez jedną komórkę, a wpływają na aktywność innych komórek. Biorą udział w reakcjach zapalnych. s. 180
- **Białka ostrej fazy** są wydzielane przez wątrobę zaraz po infekcji lub urazie w celu opłaszczania patogenów albo hamowania aktywności enzymów. s. 180
- Na odpowiedź immunologiczną składają się **mechanizmy nieswoiste oraz swoiste**. s. 181
- **Mechanizmy odpornościowe nieswoiste** (skóra, fagocytoza, substancje bakteriobójcze, mechanizmy fizjologiczne) działają niewybiórczo i stanowią pierwszą linię obrony przed antygenami. s. 181
- **Mechanizmy odpornościowe swoiste** są skierowane przeciwko konkretnemu antygenowi. Należą do nich limfocyty B i wytwarzane przez nie przeciwciała, a także cytotoksyczna i pomocnicza aktywność limfocytów T. s. 183
- **Odporność swoistą** można nabyć w sposób czynny naturalny (przebyta choroba), czynny sztuczny (szczepienia), bierny naturalny (przechodzenie przeciwciał matki do noworodka przez łożysko), bierny sztuczny (podanie surowicy odpornościowej). s. 183
- Układ odpornościowy odróżnia komórki własne od obcych dzięki obecności unikalnego dla każdej osoby zestawu autoantygenów, tworzących **główny układ zgodności tkankowej** (MHC). s. 187
- Wysoka zgodność tkankowa jest jednym z podstawowych warunków **transplantacji** (przeszczepów) narządów – im wyższa zgodność, tym większe prawdopodobieństwo przyjęcia przeszczepu. s. 188
- Celem stosowania zabiegów **immunosupresyjnych** (m.in. farmakologicznych) jest zniszczenie przeciwciał i limfocytów, osłabienie reakcji odpornościowej i przyjęcie przeszczepu. s. 188
- Rolę antygenów ludzkich erytrocytów, których wysoka zgodność jest kluczowa w czasie transfuzji krwi, odgrywają białka powierzchniowe **układów AB0 oraz Rh**. s. 188
- Najważniejszym antygenem układu Rh jest **antygen D**. Osoby mające antygen D są Rh-dodatnie, a nieposiadające go są Rh-ujemne. s. 189
- **Konflikt serologiczny** może wystąpić w czasie ciąży, kiedy dojdzie do kontaktu krwi kobiety Rh-ujemnej i jej Rh-dodatniego dziecka. Produkowane przez matkę przeciwciała anty-D mogą przejść przez łożysko i doprowadzić do rozpadu (hemolizy) erytrocytów dziecka. s. 190
- **Konfliktowi Rh** można zapobiec, podając kobietom po porodzie przeciwciała anty-D, które niszczą erytrocyty płodu. s. 190

11. Zaburzenia funkcjonowania układu odpornościowego

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz przykłady chorób układu immunologicznego;
- dowiesz się, czym jest alergia;
- przeanalizujesz przyczyny i skutki niedoborów odporności.

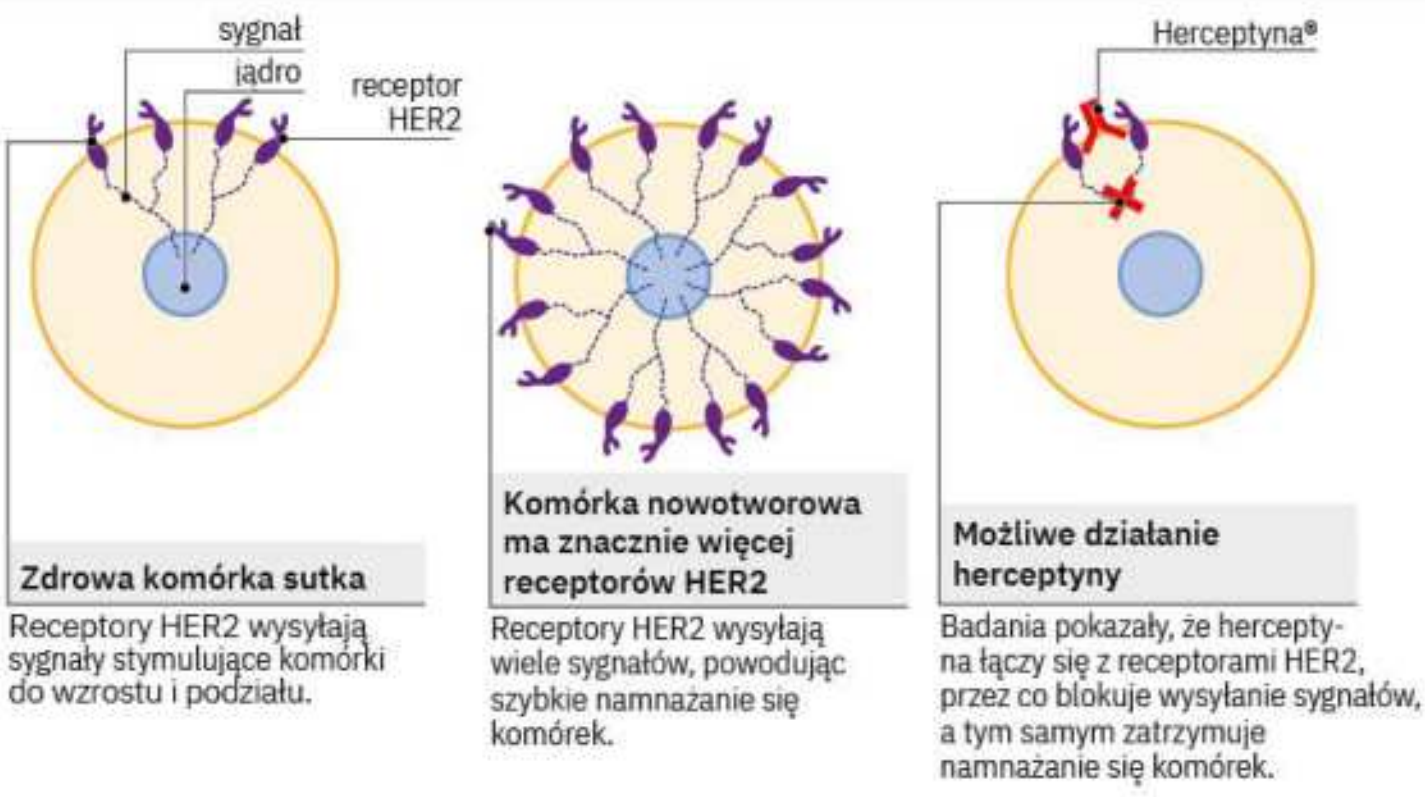
Sprawne funkcjonowanie układu odpornościowego jest podstawą dobrego zdrowia człowieka. Zarówno zbyt silna, jak i zbyt słaba reakcja odpornościowa prowadzą do zaburzeń w funkcjonowaniu organizmu i rozwoju chorób.

Choroby nowotworowe

choroby nowotworowe

Choroby nowotworowe to jedna z głównych przyczyn zgonów na całym świecie. Komórki nowotworowe powstają z normalnych komórek w wyniku ich mutacji. Jaki jest udział układu odpornościowego w ochronie organizmu przed nowotworami? Według teorii nadzoru immunologicznego układ odpornościowy w wielu przypadkach rozpoznaje antygeny komórek nowotworowych i może je skutecznie zniszczyć, zapobiegając tym samym rozwojowi choroby. Niestety, komórek wielu rodzajów nowotworów układ odpornościowy nie rozpoznaje (np. guzów bez antygenów na powierzchni komórek), dlatego mnożą się one w sposób niekontrolowany. Dodatkowym problemem są **terapie przeciwnowotworowe**, m.in. chemioterapia, w czasie której zniszczeniu ulegają nie tylko komórki nowotworowe, lecz także te

terapie przeciwnowotworowe



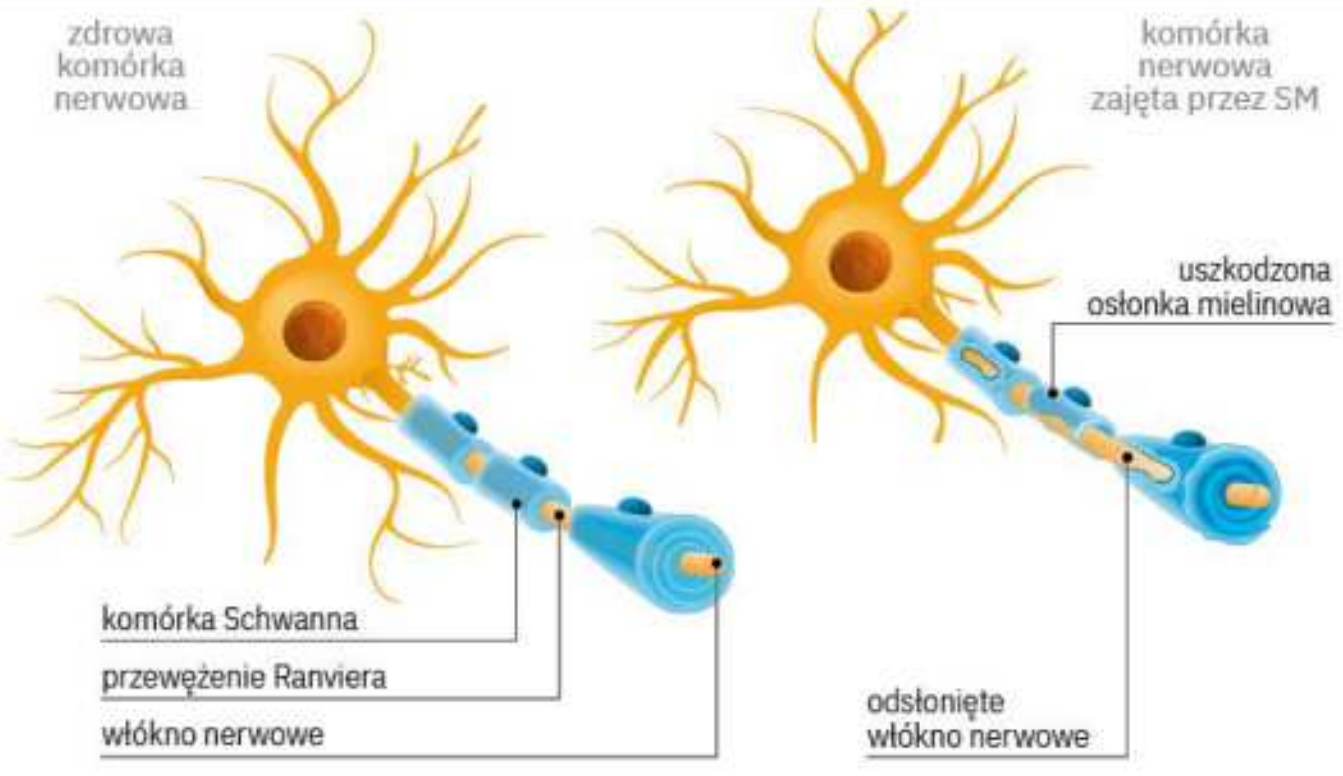
Ryc. II.11.1. Herceptyna® to przeciwciało – lek wykorzystywany w leczeniu jednego z rodzajów raka sutka.

zdrowe. Trwają prace nad stworzeniem nowych metod leczenia pozwalających na swoiste niszczenie komórek nowotworowych. Przykład takiego podejścia stanowi lek Herceptyna®, który jest przeciwciałem blokującym rozwój jednego z rodzajów raka piersi (**ryc. II.11.1.**). Inny sposób leczenia nowotworów to modyfikacja przeciwciał w taki sposób, aby mogły być nośnikami leków i dostarczać je tylko do komórek rakowych, a dzięki temu chronić komórki zdrowe.

Choroby autoimmunizacyjne

choroby autoimmunizacyjne

W normalnych warunkach układ odpornościowy zapewnia obronę przeciwko obcym antygenom. Zdarzają się jednak sytuacje, w których reakcja odpornościowa zostaje skierowana przeciwko własnym komórkom (układ odpornościowy atakuje swoje komórki), co określamy mianem **autoagresji**. Autoagresja prowadzi do **chorób autoimmunizacyjnych**. Choroby te można podzielić na narządowo swoiste i układowe. W przypadku chorób autoimmunizacyjnych narządowo swoistych atakowany autoantygen ogranicza się do danego narządu lub grupy komórek. Przykładami tego typu chorób są: cukrzyca typu I (autoantygny komórek beta wysp trzustkowych), choroba Hashimoto (autoantygeny komórek tarczycy), choroba Addisona (autoantygeny komórek kory nadnerczy) czy stwardnienie rozsiane (autogeny osłonki mielinowej) (**ryc. II.11.2.**). Jeżeli autoantygen występuje powszechnie w całym organizmie, mamy do czynienia z chorobami układowymi, np. niedokrwistość autohemolityczna, wrzodziejące zapalenie jelita grubego czy toczeń rumieniowaty. W terapii chorób autoimmunizacyjnych najczęściej stosuje się leczenie polegające na podawaniu brakującej substancji (np. insuliny w przypadku cukrzycy typu I). Od wielu lat zastosowanie znajdują także leki przeciwzapalne i **immunosupresyjne**, których zadaniem jest „wyciszenie" zbyt aktywnych limfocytów T.



Ryc. II.11.2. W stwardnieniu rozsianym (SM) dochodzi do uszkodzenia tkanki nerwowej, którego podłożem jest autoagresja.

Alergia (nadwrażliwość)

alergia

Alergia to silna odpowiedź układu odpornościowego na antygen (tzw. alergen), który u zdrowych osób jest na ogół nieszkodliwy. Odpowiedź ta nazywa się wrażliwością lub nadwrażliwością na antygen. Najczęstszymi alergenami są: kurz domowy, sierść zwierząt, pyłki traw, sztuczna biżuteria (**ryc. II.11.3.**). Alergeny mogą dostawać się do organizmu poprzez wdychanie, połykanie, wstrzykiwanie lub przez kontakt ze skórą. Przy pierwszym kontakcie z alergenem dochodzi do produkcji przeciwciał (klasy IgE i IgG), dodatkowo zachowują się komórki pamięci. Na powtórny kontakt z alergenem organizm reaguje bardzo szybko i o wiele silniej. Alergen wiąże się z przeciwciałami IgE obecnymi na powierzchni leukocytów, powodując ich degranulację i wyrzut histaminy, cytokin oraz innych substancji odpowiedzialnych za objawy alergii. Reakcja na alergen może mieć różny charakter i zależy od miejsca jej wystąpienia (**ryc. II.11.3.**). Jeśli dotyczy górnych dróg oddechowych, to zwykle towarzyszy jej astma alergiczna, wyciek z nosa (katar sienny), pokrzywka, łzawienie. Reakcja alergiczna w obrębie układu pokarmowego wiąże się z występowaniem biegunek czy wymiotów. W skrajnych przypadkach po przedostaniu się alergenu do krwi może dojść do

przeciwciała IgE

wstrząs anafilaktyczny

wstrząsu anafilaktycznego, czyli ogólnoustrojowej reakcji organizmu zagrażającej życiu. W reakcji tej silny wyrzut histaminy i cytokin powoduje rozszerzenie naczyń krwionośnych, niewydolność krążeniową oraz silny skurcz oskrzeli. Stosowane w leczeniu alergii leki przeciwhistaminowe zmniejszają jej objawy, natomiast w przypadku wstrząsu anafilaktycznego należy jak najszybciej podać dożylnie adrenalinę. Reakcje anafilaktyczne mogą wywołać niektóre leki (np. penicylina), a także jad owadów czy niektóre składniki odżywcze (np. zawarte w orzechach). Obecnie właściciele sklepów, restauracji czy stołówek mają obowiązek informowania o składnikach alergizujących w pokarmach. Reguluje to prawo unijne i krajowe.

Ryc. II.11.3. Najczęstsze alergeny i objawy reakcji na nie.

Niedobór odporności

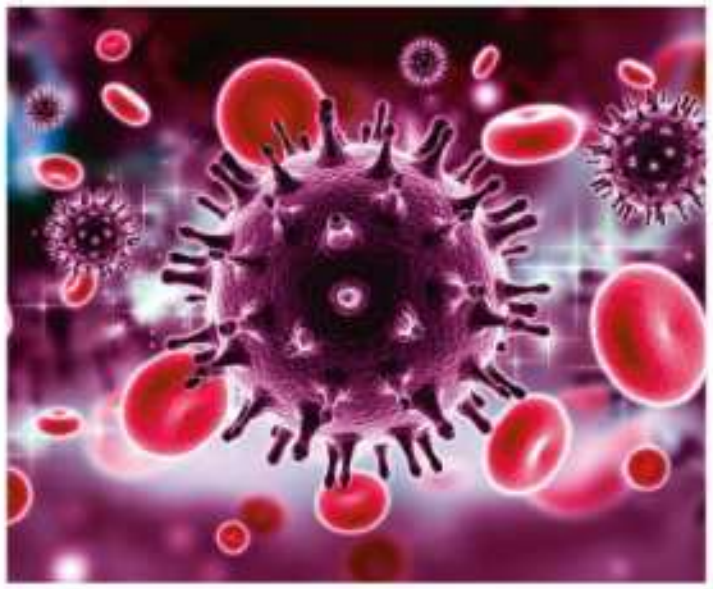
niedobór odporności

Niedobory odporności przejawiają się skłonnością do nawracających, częstych zakażeń wywołanych przez drobnoustroje niechorobotwórcze dla ludzi (tzw. **zakażenia oportunistyczne**). Niedobory odporności mogą mieć charakter pierwotny lub wtórny. **Pierwotny (wrodzony) niedobór odporności** ma zwykle podłoże genetyczne, tak jak w przypadku ciężkiego **złożonego niedoboru odporności** (SCID) występującego u niemowląt. W chorobie tej za mało jest aktywnych limfocytów lub nie ma ich w ogóle, co skutkuje częstymi chorobami, takimi jak zapalenie płuc czy zapalenie opon mózgowo-rdzeniowych. Ratunkiem dla dzieci ze SCID jest przeszczep szpiku lub terapia genowa. Innym przykładem jest agammaglobulinemia Brutona, opisana w 1952 r., która charakteryzuje się całkowitym brakiem przeciwciał i śladową ilością limfocytów B. **Wtórny**, czyli nabyty, niedobór odporności pojawia się w późniejszym okresie życia i może mieć różne przyczyny: ostre zakażenie, usunięcie śledziony czy niewydolność nerek. Przykładem wtórnego niedoboru odporności jest **zespół nabytego niedoboru odporności**, czyli **AIDS**.

AIDS

AIDS jest wywoływany przez **ludzkiego wirusa niedoboru odporności HIV** (**ryc. II.11.4.**). Wirus HIV niszczy mechanizmy odpornościowe, głównie limfocyty T pomocnicze. To powoduje spadek odporności, czego konsekwencją jest rozwój zakażeń oportunistycznych i nowotworów. Zakażenie wirusem HIV jest możliwe poprzez:

- kontakty seksualne;
- kontakt z zakażoną krwią (m.in. przez zakażone igły strzykawek);
- kontakt zakażonej matki z dzieckiem (w czasie ciąży, porodu i karmienia piersią).



Ryc. II.11.4. HIV – ludzki wirus niedoboru odporności wywołujący AIDS.

Charakterystyczną cechą zakażenia wirusem HIV jest długi okres **utajenia** (uśpienia). W związku z tym objawy AIDS mogą wystąpić nawet po kilku latach od zakażenia. W celu wykrycia potencjalnego zakażenia przeprowadza się testy diagnostyczne z krwi. Warto zaznaczyć, że nie u wszystkich osób zakażonych wirusem HIV dochodzi do rozwoju AIDS. Osoby te jednak mogą być nosicielami i przenosić zakażenie na innych. Jedną z metod leczenia AIDS jest **wysokoaktywna terapia antyretrowirusowa** (HAART), wprowadzona w 1995 r., którą stosuje się u osób zakażonych HIV. W terapii tej podaje się leki antyretrowirusowe, zatrzymujące namnażanie się wirusa, pozwalające na regenerację układu odpornościowego i zapobiegające rozwojowi AIDS.

Gdy dojdzie do wystąpienia AIDS, głównymi powikłaniami są przewlekłe zakażenia i nowotwory (do częstych należy chłoniak oraz mięsak Kaposiego). Dodatkowo występują: zapalenie płuc, biegunki, spadek masy ciała, zapalenie opon mózgowo-rdzeniowych, zaburzenia neurologiczne. W takim wypadku stosuje się leki ła-

badania na obecność HIV ▸ godzące objawy i wydłużające życie. Profilaktyka AIDS obejmuje: unikanie ryzykownych zachowań seksualnych, wykonywanie badań na obecność HIV (u siebie i partnera) oraz unikanie kontaktu z zakażoną krwią.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Wymień dwa przykłady chorób autoimmunizacyjnych i wyjaśnij, w jaki sposób one powstają.
2. W dostępnej literaturze znajdź informacje na temat niwolumabu – jaki to rodzaj leku, w jakich terapiach jest stosowany, jaką ma skuteczność itp.
3. Wymień drogi zakażenia wirusem HIV.
4. Wyjaśnij pojęcia: alergia, immunosupresja, wstrząs anafilaktyczny.
5. Przeczytaj poniższy tekst i wykonaj polecenie.

   Zespół Wiskotta–Aldricha (ang. Wiskott–Aldrich syndrome, WAS) to rzadka dziedziczna choroba, sprzężona z chromosomem X, na którą chorują tylko chłopcy. Choroba przebiega z zaburzeniami układu odpornościowego. Za wystąpienie objawów choroby odpowiada mutacja genu kodującego białko o nazwie WASP. Białko to jest niezbędne do prawidłowego funkcjonowania m.in. limfocytów T i B, makrofagów oraz trombocytów. Choroba może mieć postać łagodnych lub ostrych zaburzeń odporności.

   Wyjaśnij, czy opisana powyżej choroba to nabyty czy wrodzony niedobór odporności.

PODSUMOWANIE LEKCJI

s. 192 ▸ • **Choroby nowotworowe** niekiedy mają związek z niewłaściwym funkcjonowaniem układu immunologicznego.

s. 193 ▸ • **Choroby autoimmunizacyjne** (m.in. reumatoidalne zapalenie stawów, stwardnienie rozsiane) powstają w wyniku skierowania reakcji odpornościowej przeciwko własnym komórkom.

s. 194 ▸ • W leczeniu niektórych rodzajów nowotworów stosuje się **przeciwciała** (np. w leczeniu pewnych typów raka sutka).

s. 194 ▸ • **Alergia** to silna odpowiedź na antygen (alergen), np. kurz, pyłek roślin czy sierść zwierząt, który dla zdrowego człowieka jest nieszkodliwy.

s. 194 ▸ • Alergeny wiążą się z **przeciwciałami klasy IgE**, powodując degranulację leukocytów i wyrzut histaminy.

s. 194 ▸ • **Wstrząs anafilaktyczny** to ogólnoustrojowa, zagrażająca życiu reakcja organizmu na obecność alergenu we krwi. Mogą ją wywołać niektóre leki, toksyny zwierzęce i substancje roślinne.

s. 195 ▸ • **Niedobory odporności** mogą mieć podłoże genetyczne (np. ciężki złożony niedobór odporności SCID dzieci) lub wtórne, czyli nabyte, np. wywoływany przez wirus HIV zespół nabytego niedoboru odporności AIDS.

s. 195 ▸ • Jedną z **metod leczenia AIDS** jest wysokoaktywna terapia antyretrowirusowa (HAART), którą stosuje się u osób zakażonych HIV.

s. 196 ▸ • W celu zapobiegania AIDS zaleca się unikanie ryzykownych kontaktów seksualnych i kontaktu z zakażoną krwią oraz wykonywanie **badań na obecność HIV**.

12. Wymiana gazowa

NA TEJ LEKCJI:

- porównasz powietrze i wodę jako ośrodki oddychania;
- poznasz przystosowania do wymiany gazowej w powietrzu i w wodzie.

Wymianę gazową między organizmem a środowiskiem nazywamy **oddychaniem**. Wyróżniamy oddychanie zewnętrzne (ustrojowe) oraz komórkowe. Podczas **oddychania zewnętrznego** zwierzę pobiera ze środowiska tlen, który jest wykorzystywany w komórkach ciała, a w zamian uwalnia powstający podczas oddychania komórkowego dwutlenek węgla. **Oddychanie komórkowe** to zachodzące w komórkach procesy biochemiczne, podczas których energia zawarta w związkach pokarmowych zostaje związana w cząsteczkach ATP.

wymiana gazowa u małych zwierząt

Wymiana gazowa u małych zwierząt o niskim metabolizmie, np. gąbek, parzydełkowców czy płazińców, opiera się na **dyfuzji**, czyli biernym ruchu cząsteczek z miejsc o ich większym stężeniu do miejsc o mniejszym stężeniu. Komórki tych zwierząt znajdują się w bezpośrednim sąsiedztwie ze środowiskiem i dlatego długość drogi wymiany gazowej jest niewielka. Powierzchnie oddechowe stanowi cienki i wilgotny nabłonek. U dżdżownic i niektórych płazów w wymianie gazowej może uczestniczyć wilgotna i zaopatrzona w gęstą sieć włosowatych naczyń krwionośnych skóra. U zwierząt o grubości ciała ponad 1 mm dyfuzja zachodziłaby bardzo powoli, aby zapewnić prawidłowe funkcjonowanie organizmu. Dlatego zwierzęta wykształciły specjalne narządy, jak skrzela, tchawki i płuca oraz układ krążenia, umożliwiający transport gazów oddechowych między otoczeniem organizmu a komórkami ciała.

powierzchnie oddechowe

U wielu zwierząt wymiana gazowa jest uzupełniana przez **wentylację** – aktywne wprawianie w ruch powietrza lub wody nad powierzchniami oddechowymi. Przykładem takich zwierząt są gąbki, u których wici komórek kołnierzykowych powodują ruch wody w kanałach ciała, oraz kręgowce lądowe, u których wdychanie i wydychanie powietrza odbywa się za pomocą przepony i mięśni oddechowych.

Powietrze i woda – środowiska oddychania

Powietrze i woda stanowią środowiska oddechowe różniące się pod wieloma względami istotnymi dla wymiany gazowej. Do najważniejszych należą: zawartość tlenu, lepkość, gęstość, szybkość dyfuzji tlenu.

zawartość gazu w powietrzu

W powietrzu – mieszaninie gazów – tlen stanowi 21%, natomiast w wodzie – zaledwie 0,7%. Zawartość tlenu w wodzie zależy od zasolenia i temperatury – w temperaturze 0°C w 1 l wody słodkiej znajduje się 0,01 l tlenu, a w wodzie słonej jest go jeszcze mniej. W temperaturze 30°C ta ilość zmniejsza się o połowę. Niska zawartość tlenu w wodzie wynika także z jego słabej rozpuszczalności.

Woda w porównaniu do powietrza ma większą lepkość i gęstość, co powoduje jednokierunkowy ruch wody obmywającej narządy wymiany gazowej. Ruch wody w przeciwnym kierunku wymagałby dużych kosztów energetycznych. W środowisku lądowym znacznie mniej lepkie i lekkie masy powietrza mogą przepływać dwukierunkowo, wykorzystując o wiele mniej energii do ruchów powietrza. Szybkość dyfuzji tlenu w wodzie jest mniejsza niż w powietrzu, dlatego jego stężenie w niezbyt odległych punktach może się różnić. Wyrównaniu zawartości tlenu w wodzie sprzyja mieszanie mas wody przez wiatr, falowanie i prądy. Razem z dużą gęstością i lepkością wody utrudnia to wymianę gazową.

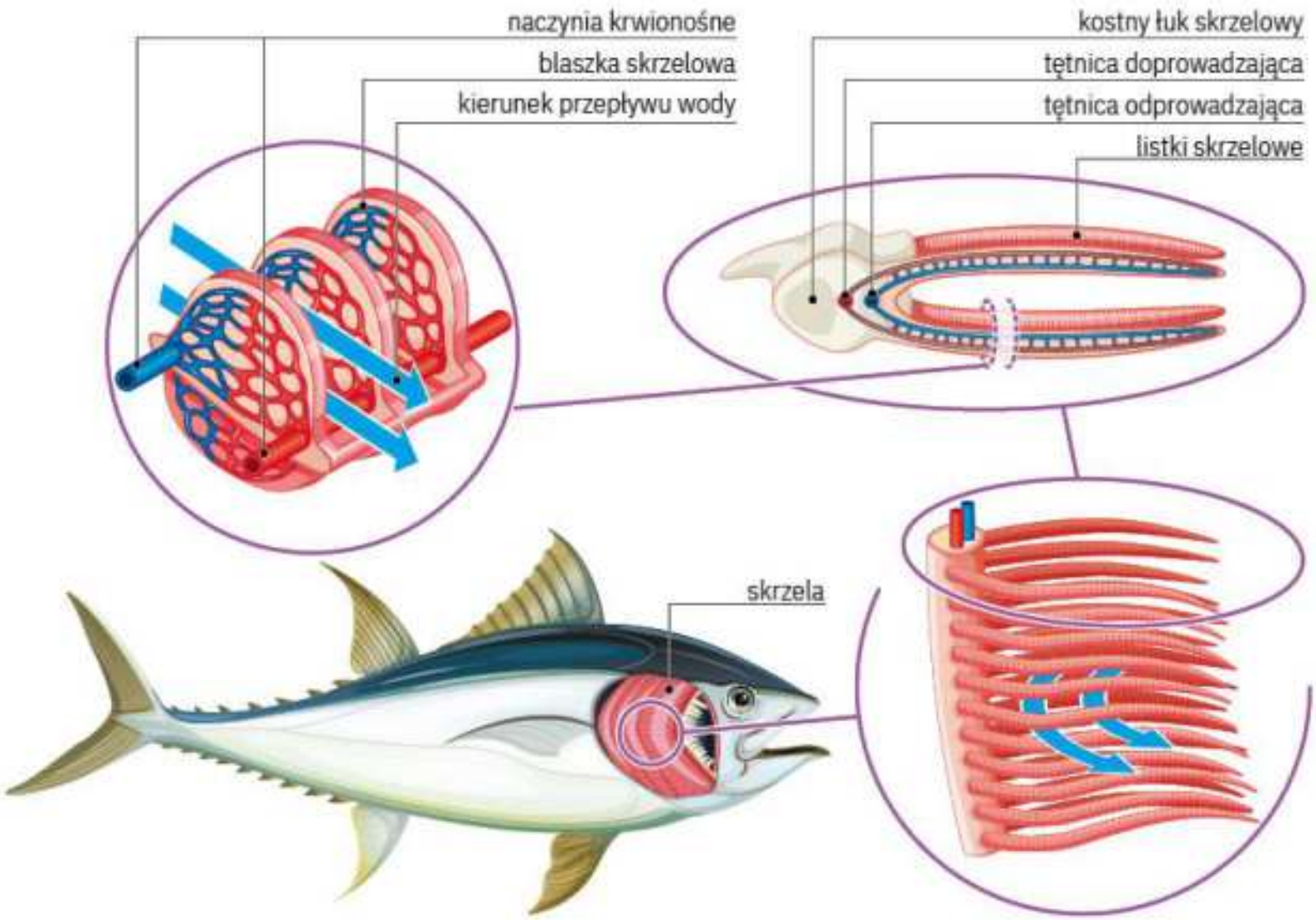
Z dyfuzją gazów wiąże się ciśnienie cząstkowe każdego z gazów powietrza atmosferycznego. Wraz ze wzrostem wysokości nad poziom morza gęstość powietrza maleje, obniża się ciśnienie atmosferyczne i zmniejsza się ciśnienie cząstkowe tlenu. Wówczas zwiększa się różnica ciśnień między środowiskiem zewnętrznym a wnętrzem organizmu, co utrudnia wymianę gazową. Organizm może pokonać te trudności przez adaptacje fizjologiczne. Dlatego alpiniści wejście na wysoki szczyt rozkładają na kilka tygodni.

Wymiana gazowa u zwierząt wodnych

skrzela ▸ Powiększanie rozmiarów ciała i wzrost zapotrzebowania na tlen doprowadziło do wytworzenia się wyspecjalizowanych narządów zwanych **skrzelami**. Zwierzęta wykształciły skrzela zewnętrzne i wewnętrzne. **Skrzela zewnętrzne** to różne wyrostki ściany ciała pokryte cienkim nabłonkiem jednowarstwowym płaskim, pod którym znajduje się gęsta sieć włosowatych naczyń krwionośnych. Występują u wielu bezkręgowców i niektórych kręgowców wodnych. Woda, która bezpośrednio przylega do skrzeli, jest bardzo lepka, więc zostaje w krótkim czasie pozbawiona tlenu. Dlatego zwierzęta muszą stale utrzymywać ruch wody wokół narządu wymiany gazowej lub nad nim. W tym celu poruszają skrzelami w wodzie, jak larwy jętek, kijanki płazów ogoniastych, albo wzbudzają ruch wody dzięki rzęskom nabłonka skrzeli, jak małże (**ryc. II.12.1.**).

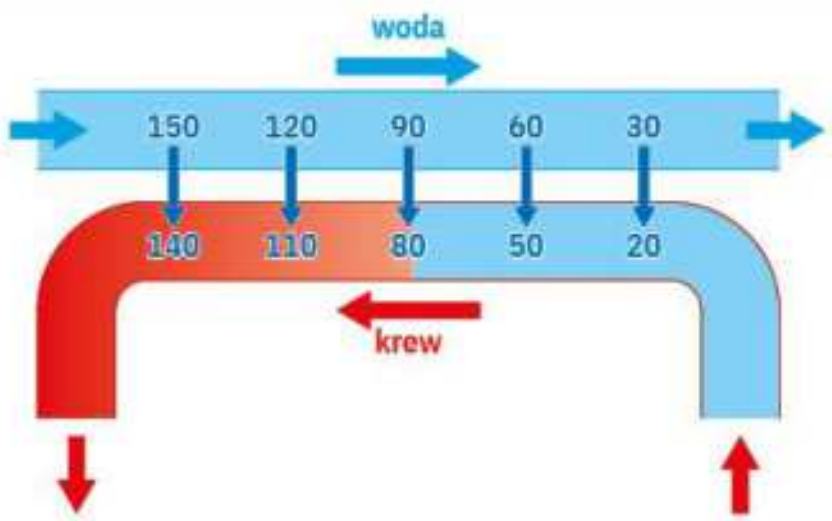
Ryc. II.12.1. Larwy płazów ogoniastych przez cały okres rozwoju oddychają skrzelami zewnętrznymi. Aksoloty – neoteniczne larwy płazów z rodzaju *Ambystoma* – zachowały w swojej budowie skrzela zewnętrzne.

skrzela wewnętrzne ▸ **Skrzela wewnętrzne** to osłonięte wyrostki ściany ciała. Są mniej narażone na uszkodzenia mechaniczne w porównaniu do skrzeli zewnętrznych. Znajdują się w specjalnych komorach, jak u niektórych mięczaków i skorupiaków, lub w jamach skrzelowych u ryb. Woda dostaje się do nich dzięki **pokrywom skrzelowym** (ryby) czy **syfonom** – wpustowym i wypustowym (małże). Najlepiej rozwinięte skrzela wewnętrzne występują u ryb kostnych (**ryc. II.12.2.**).



Ryc. II.12.2. Budowa układu oddechowego ryby kostnej.

Skrzela są umieszczone na czterech parach łuków skrzelowych. Od każdego łuku odchodzą dwa rzędy listków skrzelowych, a na każdym z nich po obu stronach znajdują się dwa rzędy blisko leżących blaszek skrzelowych. Blaszki są silnie unaczynione przez sieć włosowatych naczyń krwionośnych. Na każdym łuku skrzelowym występuje około 200 listków skrzelowych, a każdy z nich może mieć ponad 20 tys. blaszek, co tworzy bardzo dużą powierzchnię wymiany gazowej. Jama skrzelowa jest pokryta ruchomymi wieczkami (pokrywami) skrzelowymi. Ryby wysoką wydajność wymiany gazowej uzyskują dzięki przeciwnemu kierunkowi przepływu krwi i wody – zasadzie **przepływu przeciwprądowego** – oraz działaniu pokryw skrzelowych. Krew przepływająca w kierunku przeciwnym do kierunku wody omywającej blaszki skrzelowe jest mniej nasycona tlenem niż woda (**ryc. II.12.3.**).

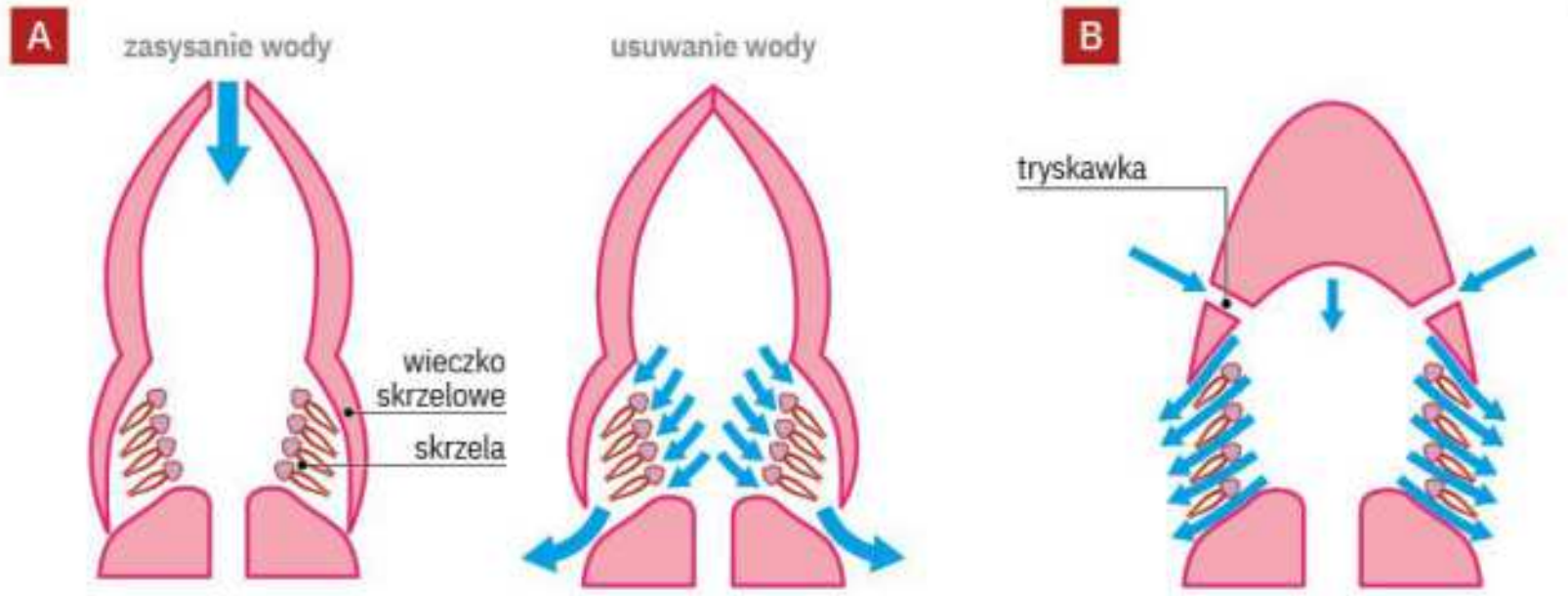


Ryc. II.12.3. Zasada przeciwprądowego przepływu w skrzelach ryb. Liczby odpowiadają ciśnieniu cząstkowemu tlenu (w mmHg) w wodzie i krwi.

Utrzymująca się różnica stężeń na całej długości kontaktu naczyń włosowatych z wodą sprzyja dyfuzji. Ciśnienie cząstkowe tlenu we krwi stopniowo wzrasta, ale zawsze jest nieznacznie mniejsze niż w wodzie. Mechanizm ten sprawia, że około 80% tlenu dostępnego w wodzie dostaje się do krwi. W odwrotnym kierunku zachodzi dyfuzja dwutlenku węgla z krwi do wody obmywającej skrzela.

Przepływ wody przez skrzela ryb kostnoszkieletowych jest wymuszony przez ruch pokryw skrzelowych i pyska. Mechanizm ten można porównać do działania pompy. Jeśli ryba otworzy pysk, a pokrywy skrzelowe są zamknięte, powstałe podciśnienie zasysa wodę do jamy gębowej. Podczas zamykania pyska otwierają się pokrywy skrzelowe i podnosi się dno jamy gębowej, a powstałe nadciśnienie wymusza przepływ wody przez skrzela – następuje wówczas wymiana gazowa (**ryc. II.12.4.**). U niektórych ryb chrzęstnoszkieletowych żyjących na dnie, np. płaszczek, dodatkowo wykształcił się otwór po stronie grzbietowej ciała – **tryskawka**. Gdy ryby się nie poruszają, woda z tlenem dostaje się przez tryskawkę do skrzeli.

tryskawka ▸



Ryc. II.12.4. Etapy przepływu wody przez skrzela ryb kostnoszkieletowych (A): 1) przy otwartym pysku wieczka skrzelowe ściśle przylegają do ciała i zamykają szczeliny skrzelowe, dzięki temu woda wpływa do pyska i obmywa skrzela; 2) odchylenie wieczek skrzelowych działa jak pompa ssąca zamykająca pysk, następuje wówczas wypchnięcie wody ze skrzeli. U przydennych ryb chrzęstnoszkieletowych przez tryskawkę do skrzeli jest wciągana woda z tlenem (B).

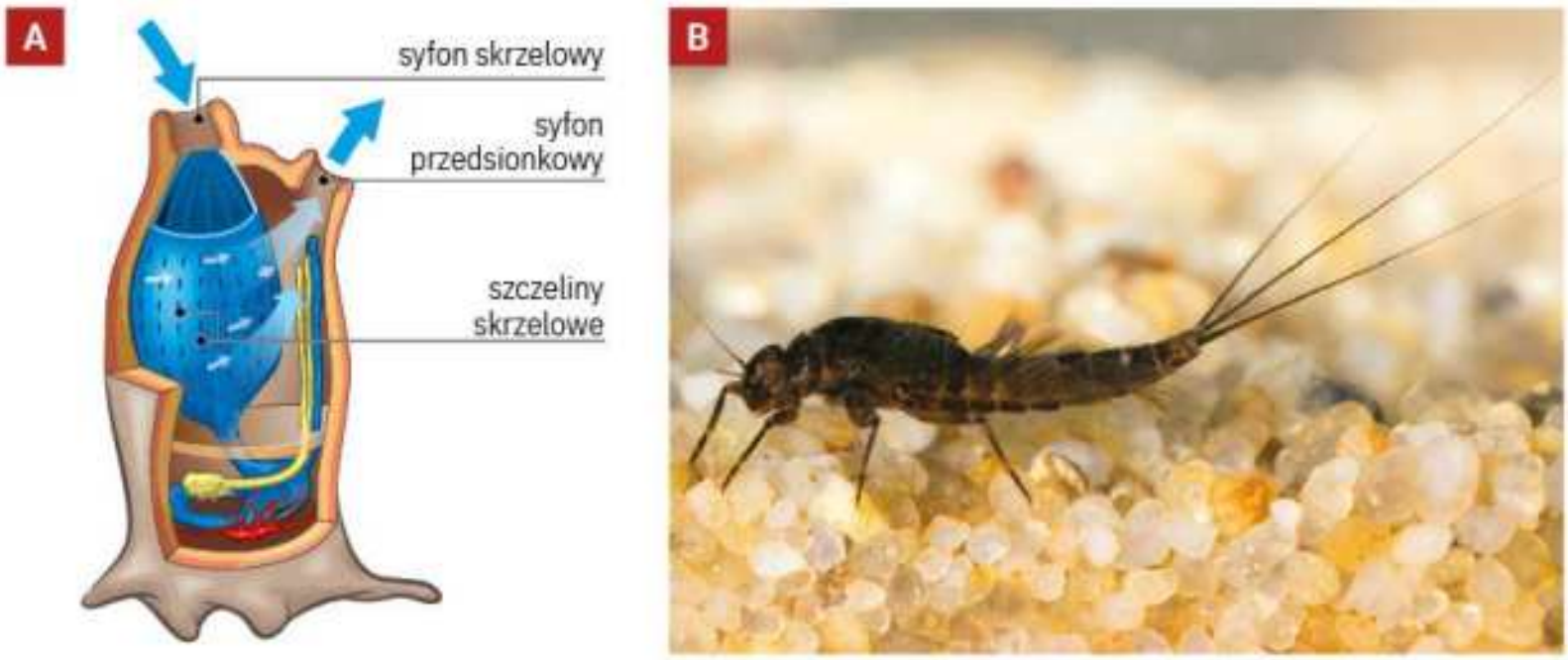
U niektórych ryb, np. makreli czy tuńczyków, woda dostaje się do skrzeli dzięki intensywnemu poruszaniu się z otwartym pyskiem i uniesionymi pokrywami skrzelowymi. Woda jest przepompowywana przez skrzela dzięki pracy mięśni aparatu gębowego lub układu lokomocyjnego ryby. Niektóre ryby mogą przeprowadzać wymianę gazową przez skórę, jelito i błonę śluzową (**ryc. II.12.5.**).

pęcherz pławny ▸

Ryby mogą także oddychać powietrzem atmosferycznym za pomocą **pęcherza pławnego**, w który przekształca się uchyłek przełyku. Rybami płucodysznymi są ryby dwudyszne zamieszkujące okresowo wysychające zbiorniki wodne. Mają parzysty pęcherz pławny przypominający płuca płazów. Płuca tych ryb są obsługiwane przez oddzielny układ krążenia. Ryby dwudyszne dzięki płucom w okresach długotrwałej suszy mogą przetrwać wiele miesięcy w stanie anabiozy.

Ryc. II.12.5. Niektóre ryby mogą co jakiś czas opuszczać środowisko wodne i wówczas pobierają tlen przez skórę, np. węgorz (A) potrafi nocą przepełznąć po lądzie między zbiornikami wodnymi, a skoczek mułowy (B) – tropikalna ryba – może w poszukiwaniu pokarmu pełzać po brzegu.

Zwierzęta wodne poza przedstawionymi powyżej narządami wymiany gazowej mogą mieć również inne narządy – jak kosz skrzelowy czy skrzelotchawki (**ryc. II.12.6.**).



Ryc. II.12.6. U osłonic, bezczaszkowców i larw minogów wymiana gazowa zachodzi dzięki koszowi skrzelowemu (A). To obszerna gardziel poprzebijana szczelinami skrzelowymi o silnie ukrwionych ścianach. Żyjące w wodzie larwy owadów oddychają skrzelotchawkami – blaszkowatymi wyrostkami, w których znajdują się tchawki (B).

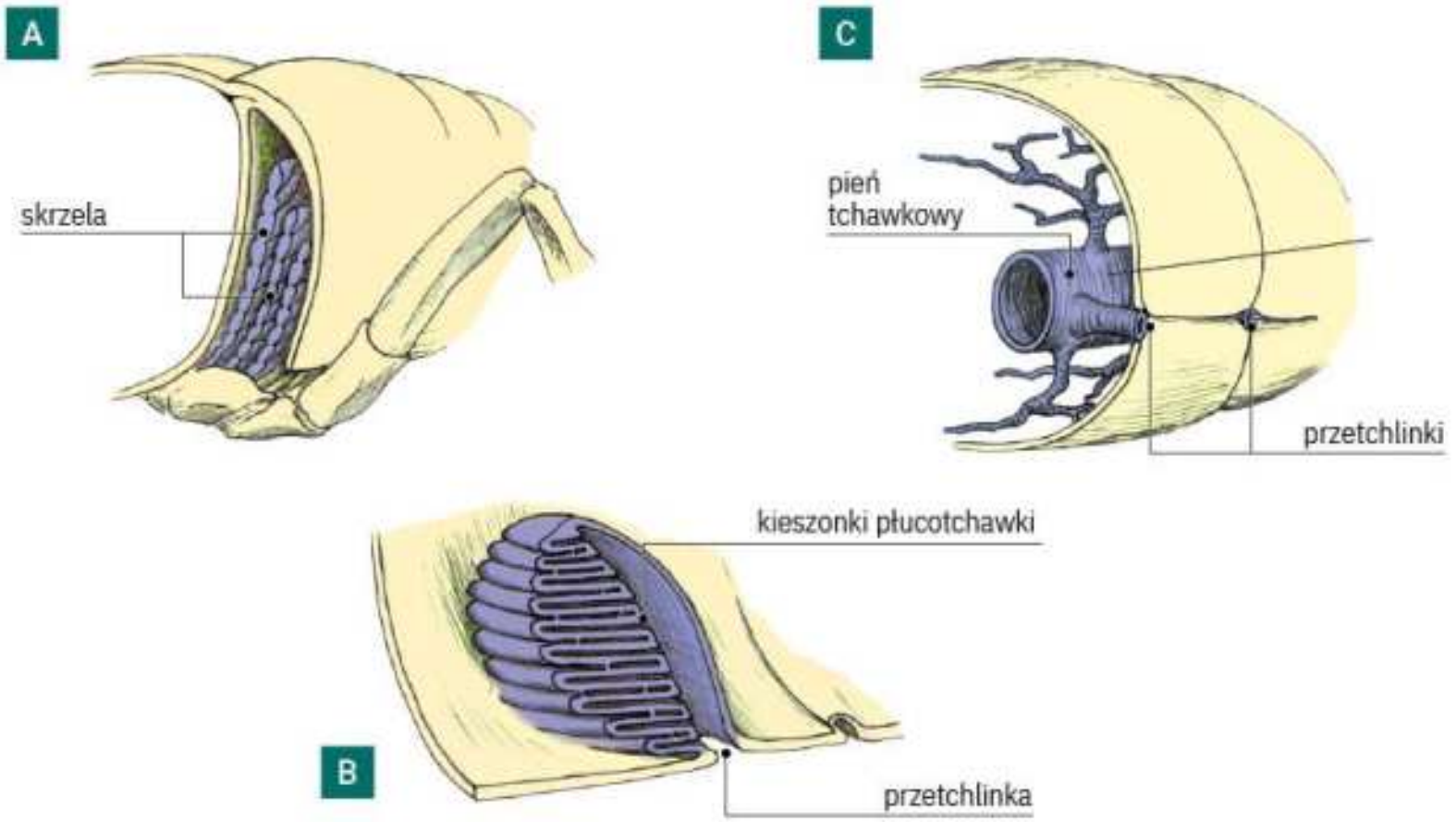
Wymiana gazowa u zwierząt lądowych

W środowisku lądowym narządy wymiany gazowej muszą być pokryte cienką warstwą śluzu lub wody. Zapobiega to wysychaniu nabłonka oddechowego, a także ułatwia dyfuzję cząsteczek tlenu, które rozpuszczając się w śluzie (wodzie), tracą część energii i łatwiej wnikają do komórek. Jednak na lądzie stale zachodzi parowanie wody, więc warstwa śluzu lub wody wymaga stałego uzupełniania. W związku z tym w środowisku lądowym, pomimo większej zawartości tlenu, występuje tylko kilka grup zwierząt. Lądowe płazińce, nicienie, pierścienice, ślimaki i płazy do oddychania wykorzystują powierzchnię ciała. Parowanie z powierzchni ciała jest dość

duże, dlatego zwierzęta te zamieszkują środowiska lądowe o dużej wilgotności, np. glebę, ściółkę leśną, strefy przybrzeżne wód. Natomiast przedstawiciele owadów, pajęczaków oraz owodniowców zapewnili sobie sukces ewolucyjny na suchym lądzie dzięki wykształceniu narządów wymiany gazowej ukrytych wewnątrz ciała, co skutecznie chroni przed nadmiernym parowaniem. Narządami oddechowymi na

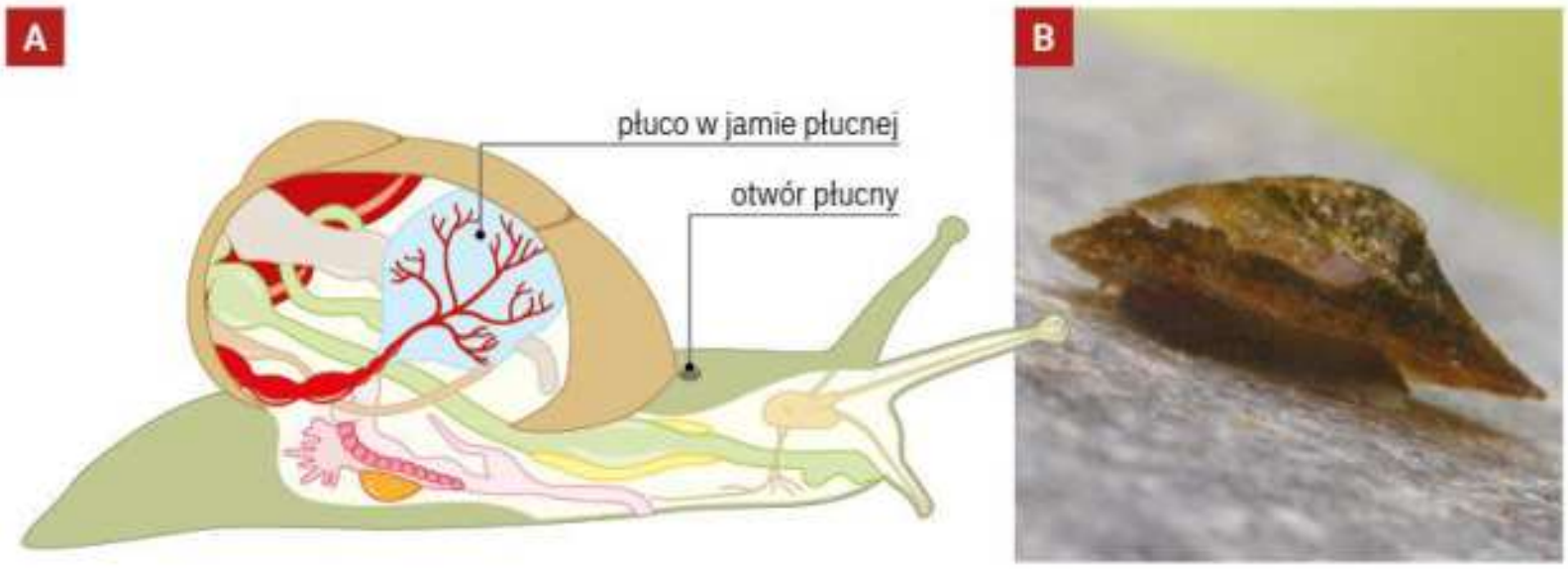
tchawki ▸ lądzie są tchawki, worki płucne, płucotchawki oraz płuca.

Tchawki to systemy rozgałęziających się w ciele rurek chitynowych. Przez najcieńsze z nich, tzw. **tracheole**, tlen dociera bezpośrednio do komórek. Kontakt ze środowiskiem zewnętrznym następuje przez **przetchlinki** położone po bokach ciała. Worki płucne powstały z przekształcenia skrzeli, a płucotchawki – w wyniku wydłużenia blaszek tworzących rurkowate tchawki (**ryc. II.12.7.**).



Ryc. II.12.7. Narządy oddechowe różnych stawonogów: skrzela raka (A), płucotchawki pająka (B), tchawki owada (C).

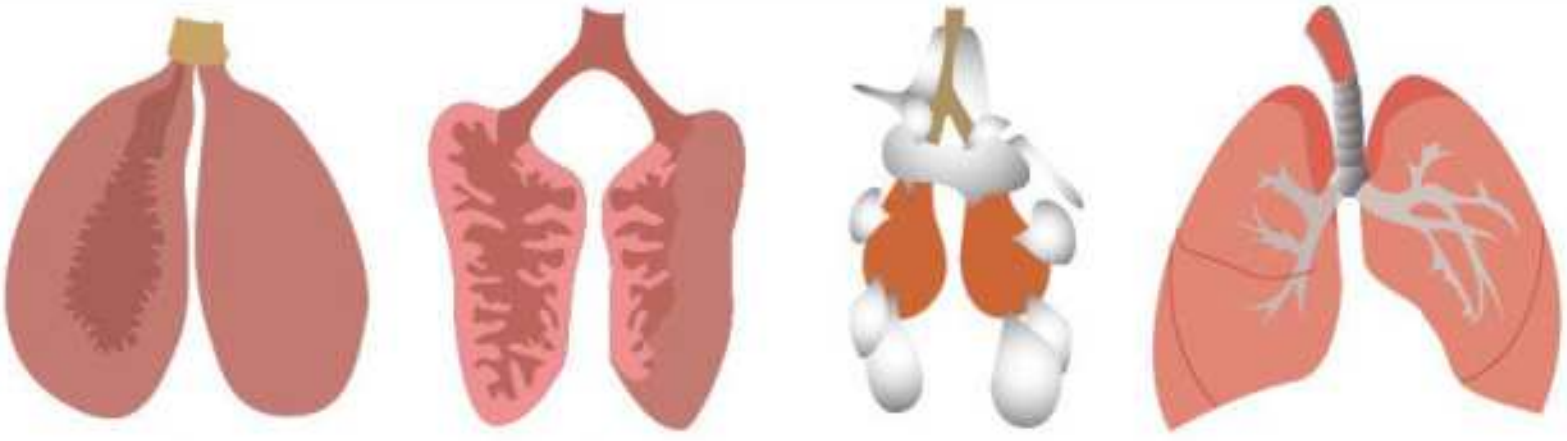
płuca ▸ Płuca w zależności od mechanizmów wentylacji dzieli się na dyfuzyjne i wentylacyjne. W **płucach dyfuzyjnych**, występujących u ślimaków lądowych oraz niektórych gatunków słodkowodnych, wymiana gazowa zachodzi wyłącznie na drodze dyfuzji. Jama płaszczowa tych zwierząt uległa przekształceniu w jamę płucną, która nie ma kontaktu ze środowiskiem zewnętrznym. Wymiana powietrza odbywa się tylko za pośrednictwem otworu oddechowego. Brzegi otworu zwykle tworzą ruchliwy syfon, który ułatwia pobieranie powietrza przy powierzchni wody. Jama płucna ślimaków o muszli prawoskrętnej znajduje się z prawej strony zwierzęcia, a u lewoskrętnych – z lewej (**ryc. II.12.8.**).



Ryc. II.12.8. Płuco ślimaka to przekształcona, silnie ukrwiona jama płaszczowa. U niektórych płucodysznych ślimaków, np. przyczepkowatych, nastąpiła wtórna redukcja płuca, które oprócz funkcji oddechowych pełni funkcję narządu hydrostatycznego.

U kręgowców lądowych występują **płuca wentylowane**. Rozwinęły się z przekształconych uchyłków przewodu pokarmowego ryb. U większości współczesnych ryb płuca nie występują. Ryby mają natomiast narząd homologiczny do płuc – **pęcherz pławny**. Dzięki niemu mogą regulować zanurzenie w wodzie. Od płazów zaczęła się ewolucja płuc w kierunku zwiększania powierzchni wymiany gazowej (**ryc. II.12.9.**).

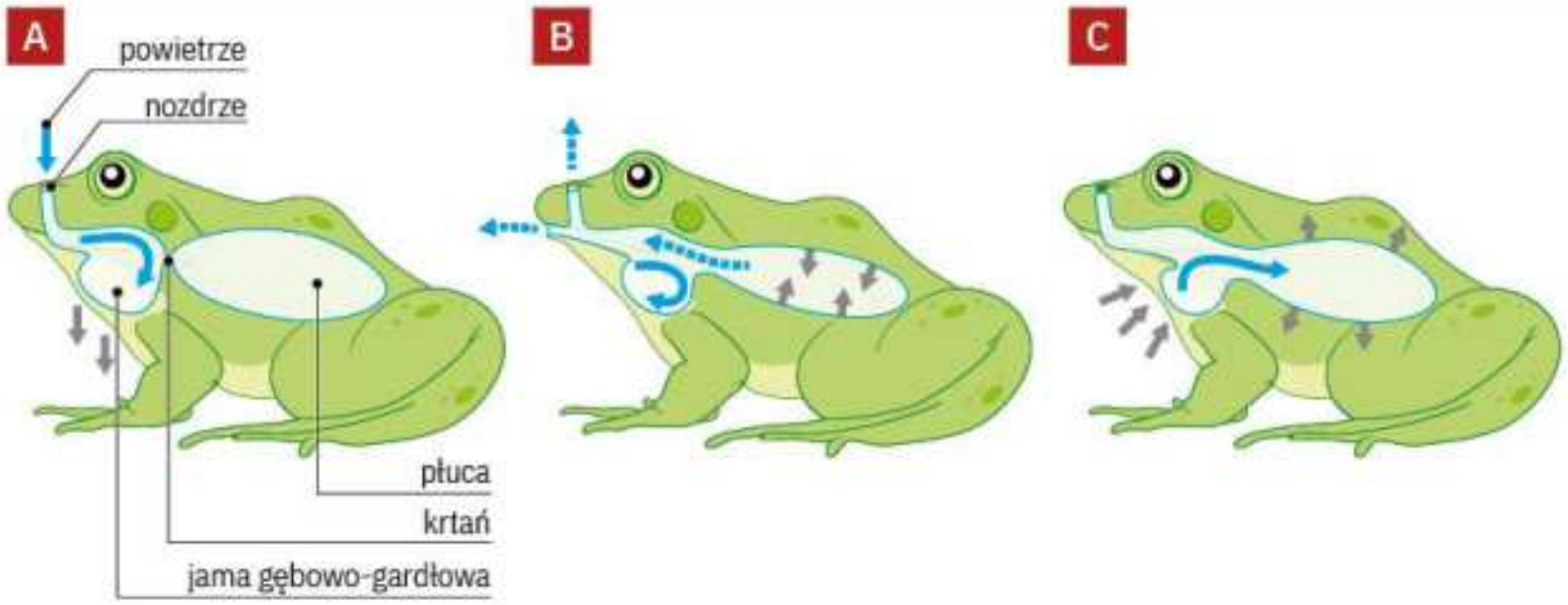
◀ płuca wentylowane



Ryc. II.12.9. Porównanie płuc kręgowców: płaza – workowate płuca o powierzchni wewnętrznej w małym stopniu pofałdowane, gada – gąbczaste, proste worki z pofałdowaną ścianą wewnętrzną, licznymi komorami, ptaka – rurkowate płuca i dodatkowo wykształcone obszerne, cienkościenne worki powietrzne, ssaków – pęcherzykowate płuca o największej powierzchni oddechowej wśród kręgowców.

Mechanizm wymiany gazowej zachodzi dzięki pracy odpowiednich mięśni na zasadzie pompy tłoczącej, jak u płazów, czy pompy ssącej u większości gadów, ptaków i ssaków.

U płazów wymiana gazowa zachodzi przez dobrze ukrwioną i wilgotną skórę, ściany jamy gębowo-gardłowej oraz narządy oddechowe – płuca lub skrzela zewnętrzne u larw. Płazy wentylują płuca dzięki ruchom dna jamy gębowo-gardłowej (**ryc. II.12.10.**).



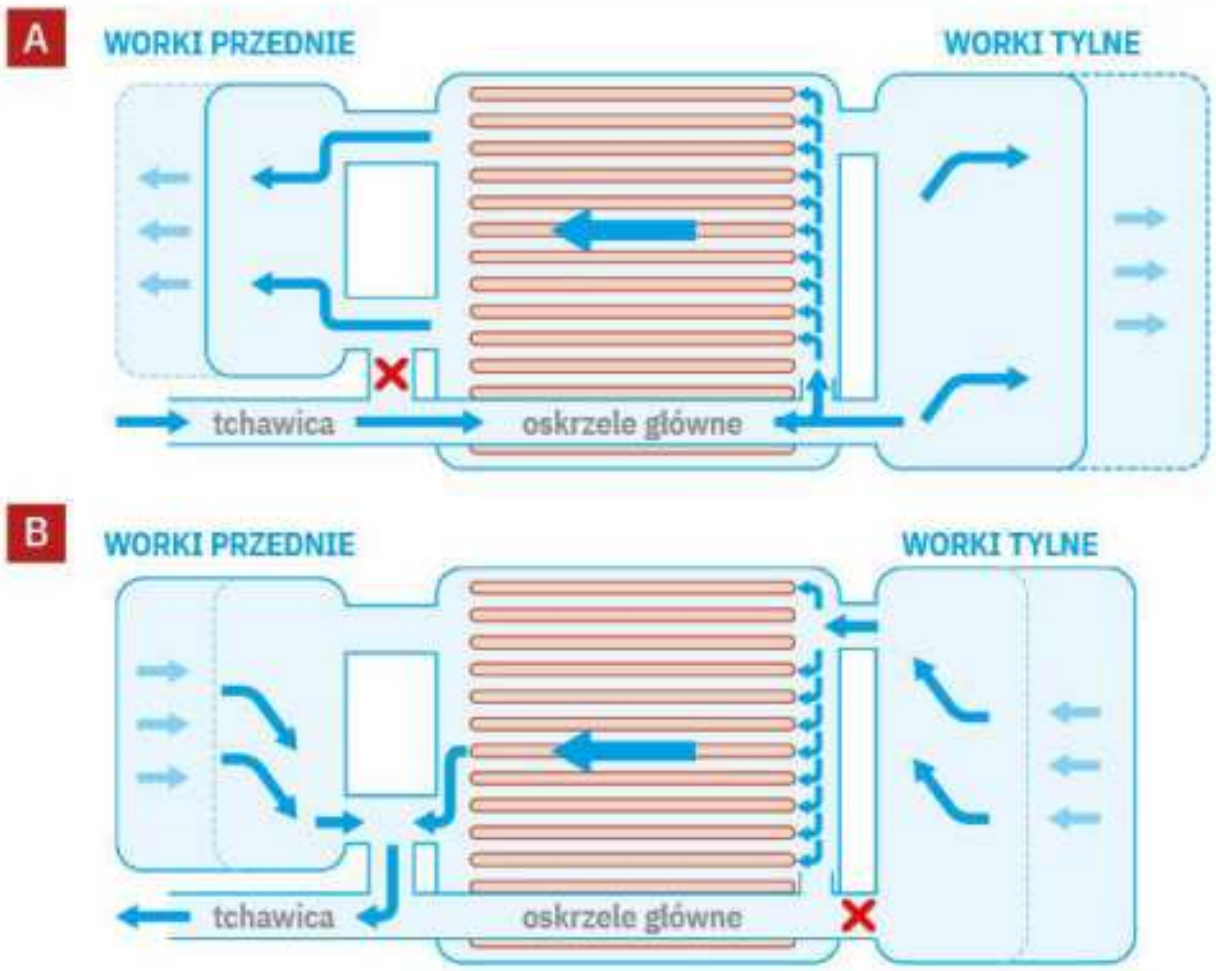
Ryc. II.12.10. Etapy wentylacji płuc u płazów: zamknięta krtań i obniżone dno jamy gębowo-gardłowej, następuje wciągnięcie powietrza przez otwarte nozdrza zewnętrzne (A); otwarta krtań, skurcz mięśni ciała i ściany płuc, usunięcie części zużytego powietrza z płuc przez jamę gębową i nozdrza (B); zamknięte nozdrza zewnętrzne, podniesienie dna jamy gębowej, wtłoczenie do płuc powietrza wcześniej zgromadzonego w jamie gębowej (C).

Wraz z wykształceniem **klatki piersiowej** u gadów, ptaków i ssaków wykształciły się również **mięśnie międzyżebrowe**. Umożliwiają one wentylację płuc działającą na zasadzie pompy ssącej. Podczas wdechu skurcz mięśni międzyżebrowych powoduje zwiększenie objętości klatki piersiowej i obniżenie ciśnienia powietrza. Powstałe podciśnienie zasysa powietrza do płuc. Podczas wydechu rozkurczają się mięśnie międzyżebrowe, co zmniejsza objętość klatki piersiowej i powoduje wzrost ciśnienia powietrza. Pod wpływem powstałego nadciśnienia powietrze zostaje wypchnięte z płuc (**ryc. II.12.11.**). U ssaków sprawną wentylację płuc zapewnia przepona – mięsień oddzielający jamę piersiową od jamy brzusznej.

Ryc. II.12.11. Ciało żółwi okrywa kostny pancerz, dlatego ruchy żeber podczas oddychania są niemożliwe. Ich funkcję przejęły mięśnie brzuszne. U gatunków wodnych dobrze unaczynione kloaka i gardło pozwalają na pobieranie tlenu z wody i długotrwałe zanurzenie.

U ptaków przystosowanie do lotu oraz wykształcenie stałocieplności wymusiło udoskonalenie budowy i funkcji układu oddechowego. Rurkowate, sztywne płuca są połączone z ośmioma lub dziewięcioma workami powietrznymi przednimi i tylnymi. Nie biorą one bezpośredniego udziału w oddychaniu, ale pełnią funkcję magazynów powietrza. Dzięki workom powietrznym przez płuca podczas wdechu i wydechu przechodzi świeże powietrze (**ryc. II.12.12.**). Podczas wdechu świeże powietrze przepływa przez oskrzela (przy zamkniętym wejściu do worków przednich) i wypełnia worki tylne,

a pozostała jego część przechodzi przez płuca, w których następuje wymiana gazowa. Zużyte powietrze gromadzi się w workach przednich. Podczas wydechu zużyte powietrze z worków przednich przez oskrzela zostaje usunięte na zewnątrz. Zgromadzone podczas wdechu w workach tylnych powietrze przechodzi do płuc (przy zamkniętym wejściu do worków tylnych), gdzie zachodzi wymiana gazowa. Zużyte powietrze obok powietrza z worków przednich dostaje się do oskrzeli. Przepływ powietrza przez płuca i worki powietrzne zachodzi w dwóch cyklach oddechowych.



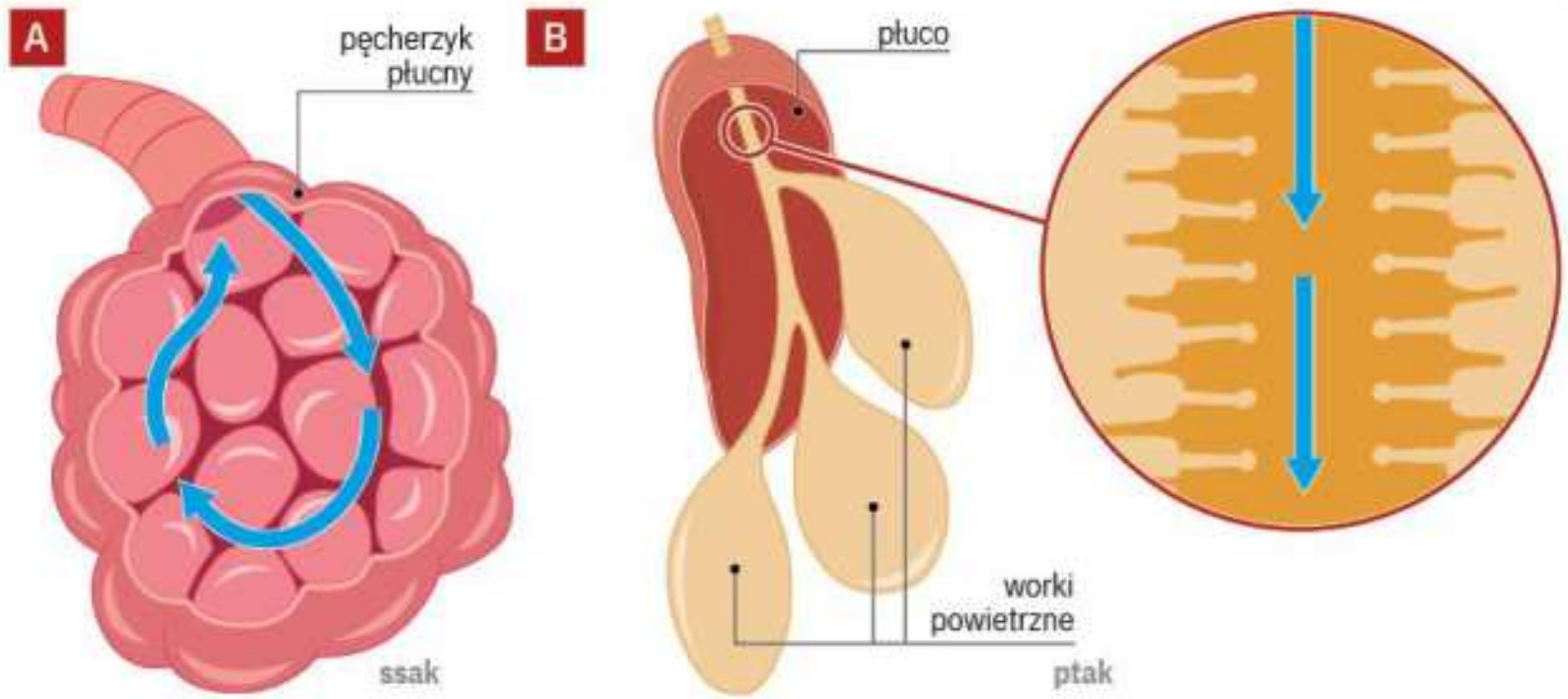
Ryc. II.12.12. Schemat przepływu powietrza u ptaków podczas wdechu (A) i wydechu (B).

płuca ptaków

Ruch powietrza w płucach ptaków jest jednokierunkowy i zachodzi od tyłu do przodu. Jest wspomagany pracą mięśni międzyżebrowych w spoczynku, a podczas lotu ptaka – pracą skrzydeł. Maksymalne ciśnienie cząstkowe tlenu w płucach ptaków jest wyższe niż u ssaków. Wynika to z wymiany powietrza u ptaków podczas każdego wydechu. Pozwala ptakom na bardzo dobre funkcjonowanie na dużych wysokościach.

pęcherzyki płucne

U ssaków dzięki wytworzeniu **pęcherzyków płucnych** płuca osiągnęły największą powierzchnię wymiany gazowej w porównaniu do płuc płazów, gadów i ptaków. Ruch powietrza w płucach ssaków nie zachodzi w sposób ciągły jak u ptaków. Odbywa się naprzemiennie – powietrze napływa do płuc i tą samą drogą z płuc wypływa (**ryc. II.12.13.**). W płucach powietrze wpływające miesza się z powietrzem zużytym. W związku z tym maksymalne ciśnienie cząstkowe tlenu w pęcherzykach płucnych jest mniejsze niż w atmosferze.



Ryc. II.12.13. Kierunek przepływu powietrza w płucach ssaków (A) i ptaków (B).

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Wyjaśnij, dlaczego wymiana gazowa w powietrzu jest korzystniejsza niż wymiana gazowa w wodzie.
2. Przedstaw przystosowania zwierząt bezkręgowych do oddychania w środowisku lądowym.
3. Wytłumacz, jaki układ oddechowy jest najbardziej wydajny wśród kręgowców.

PODSUMOWANIE LEKCJI

s. 197
- **Powietrze** zawiera więcej tlenu cząsteczkowego niż woda. Tlen w powietrzu szybciej dyfunduje niż w wodzie. Powietrze ma mniejszą gęstość i lepkość niż woda.

s. 197
- **Zwierzęta o małych rozmiarach** ciała dokonują wymiany gazowej na drodze dyfuzji. Nie wykształciły narządów oddechowych.

s. 197
- Zwierzęta wykształciły **powierzchnie służące wymianie gazowej**: tchawki, skrzela i płuca.

s. 198
- U zwierząt wodnych narządem wymiany gazowej są **skrzela**. Bezkręgowce mają skrzela zewnętrzne. U strunowców powstały skrzela wewnętrzne, położone wzdłuż szczelin skrzelowych i pokryte wieczkiem. Sprawną wymianę gazową umożliwia mechanizm przeciwprądowy przepływu wody i krwi w naczyniach skrzeli.

s. 202
- U bezkręgowców lądowych wymiana gazowa zachodzi przez **tchawki**, do których powietrze dostaje się przez przetchlinki.

s. 202
- Kręgowce lądowe oddychają **płucami**. U płazów i gadów powierzchnia płuc jest pofałdowana przez fałdy i listewki.

s. 205
- **Płuca ptaków** mają worki powietrzne, które magazynują powietrze. Dzięki nim przez płuca podczas wdechu i wydechu przepływa stale świeże powietrze. Wymiana gazowa odbywa się przez ściany przyoskrzeli.

s. 205
- U ssaków dzięki wykształceniu **pęcherzyków płucnych** płuca osiągnęły największą powierzchnię wymiany gazowej w porównaniu do płazów, gadów i ptaków.

13. Układ oddechowy człowieka

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz związek między budową i funkcją elementów układu oddechowego;
- zapoznasz się z mechanizmem wentylacji płuc;
- przeanalizujesz wpływ czynników zewnętrznych na funkcjonowanie układu oddechowego;
- poznasz rodzaje badań profilaktycznych układu oddechowego.

wymiana gazowa

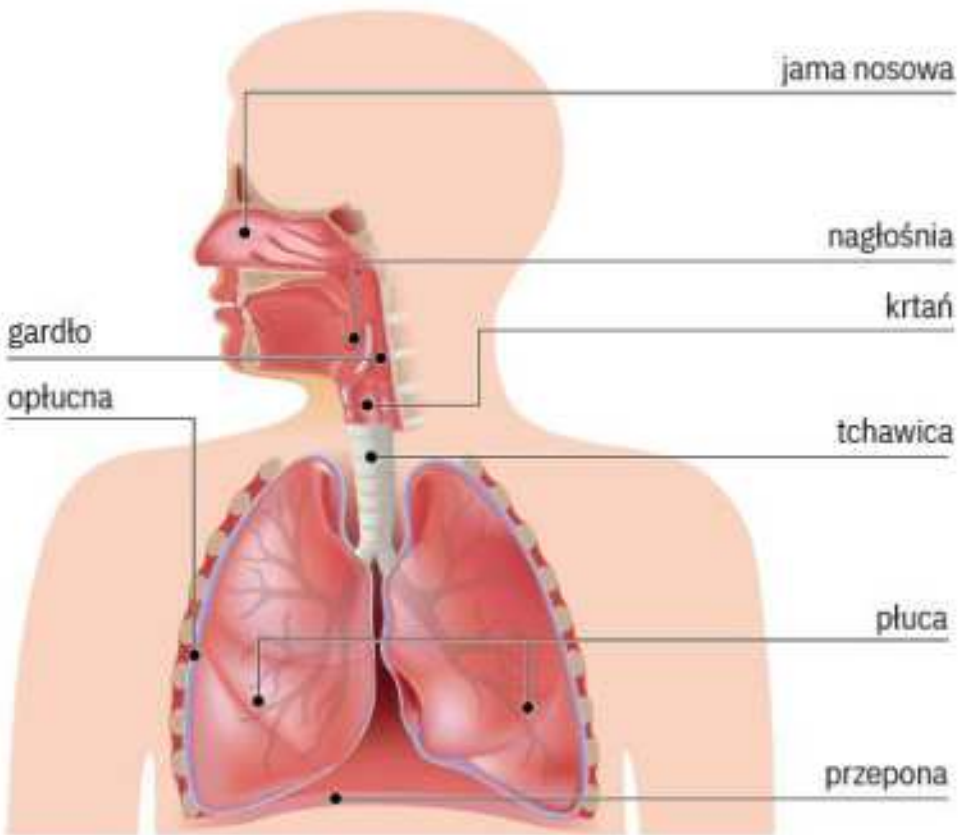
Za wymianę gazową między organizmem a środowiskiem u człowieka odpowiada układ oddechowy. Jego sprawna praca zapewnia prawidłowe funkcjonowanie tkanek, narządów i całego organizmu. Zapotrzebowanie na tlen zależy od ilości produkowanej i zużywanej energii przez tkanki budujące narządy, np. bardzo dużo tlenu zużywają mięśnie szkieletowe, mięsień serca, mózg i wątroba.

Układ oddechowy poza wymianą gazową jest odpowiedzialny za wytwarzanie artykułowanych dźwięków przez człowieka. Ponadto stanowi ochronę organizmu przed wnikaniem zanieczyszczeń powietrza i drobnoustrojów.

Budowa układu oddechowego

budowa układu oddechowego

Na układ oddechowy składają się **górne drogi oddechowe** (jama nosowa z zatokami, gardło), **dolne drogi oddechowe** (krtań, tchawica, oskrzela) oraz **płuca** (właściwy narząd oddechowy, miejsce wymiany gazowej) (**ryc. II.13.1.**).

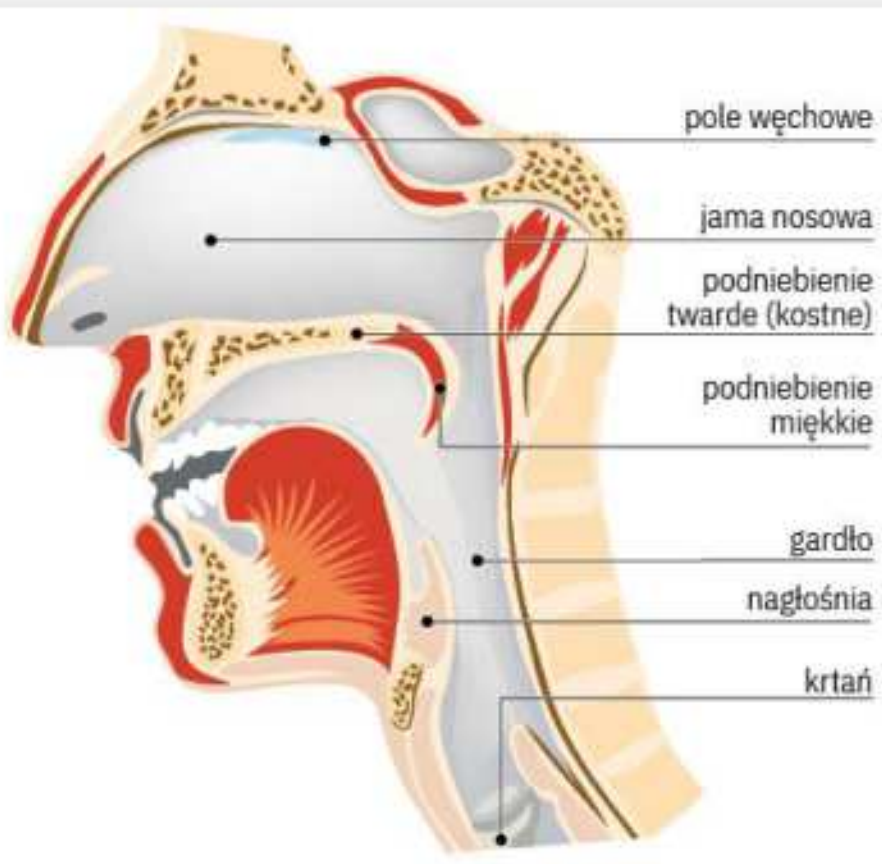


Ryc. II.13.1. Model budowy układu oddechowego człowieka.

Górne drogi oddechowe

Powietrze dostaje się do dróg oddechowych w trakcie wdechów, które zazwyczaj odbywają się przez nos. W przedsionku jamy nosowej znajdują się liczne drobne włosy. Jama nosowa jest wyścielona nabłonkiem wielowarstwowym płaskim rogowaciejącym. Przegroda nosa dzieli ją na dwie części. Tylną część jamy nosowej pokrywa nabłonek z rzęskami i licznymi komórkami wydzielającymi śluz. Włosy i rzęski wychwytują kurz i drobne zanieczyszczenia, a śluz je zlepia. Pozwala to na usunięcie ich z wdychanego powietrza, zanim dostaną się do płuc. Wewnętrzna powierzchnia jamy nosowej jest dobrze ukrwiona i dzięki temu wdychane powietrze zostaje ogrzane. W części węchowej w szczycie jamy nosowej, wysłanej nabłonkiem zmysłowym, znajdują się liczne receptory węchu. Jama nosowa jest połączona z zatokami przynosowymi, które spełniają funkcje m.in. rezonatorów głosu. Od ich kształtu i wielkości zależy np. barwa głosu. Z jamy nosowej powietrze wędruje do gardła, które jest jednocześnie odcinkiem przewodu pokarmowego. W błonie śluzowej na granicy jamy ustnej i gardła występują migdałki, czyli skupienia tkanki limfatycznej, stanowiące pierwszą linię obrony immunologicznej organizmu przed czynnikami chorobotwórczymi.

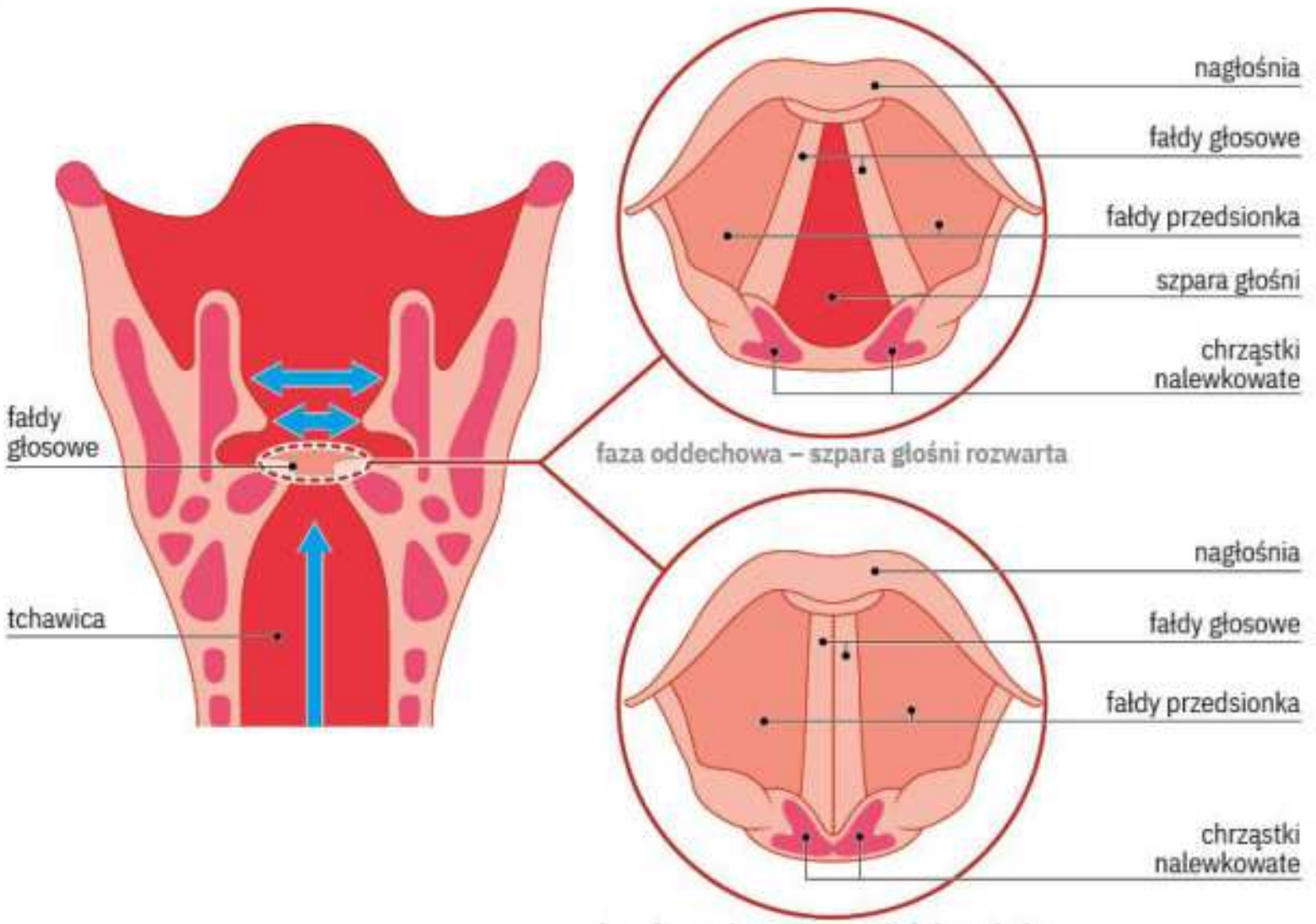
Dolne drogi oddechowe



Ryc. II.13.2. Model początkowych dróg oddechowych.

Powietrze z gardła dostaje się do krtani (o długości 4–6 cm), czyli dziewięciu ruchomych względem siebie chrząstek, połączonych mięśniami i więzadłami (**ryc. II.13.2.**).

Brzegi więzadeł położone w świetle krtani tworzą **fałdy głosowe** (nazywane **strunami głosowymi**), których drgania pod wpływem przechodzącego przez nie powietrza umożliwiają wydawanie dźwięków. Ich rodzaj i wysokość zależą od napięcia i długości strun głosowych. Mężczyźni mają dłuższe fałdy głosowe, dlatego ich głos jest niższy od głosu kobiet i dzieci (**ryc. II.13.3.**).



Ryc. II.13.3. Schemat mechanizmu powstawania głosu. Podczas wydechu szpara głośni jest zamknięta i fałdy głosowe ściśle do siebie przylegają. Powietrze wydychane z płuc wprawia w drgania fałdy głosowe. W wyniku tego następuje wzrost ciśnienia poniżej fałdów głosowych i otwarcie szpary głośni, przez którą przepływa powietrze. Przepływ powietrza skutkuje spadkiem ciśnienia i zwarciem fałdów głosowych. Powtarzające się cykle rozwierania i zwierania fałdów głosowych prowadzą do powstania drgań powietrza, czyli dźwięku. Wielkość dźwięku jest modyfikowana przez mięśnie krtani, a szczególnie przez mięsień głosowy.

Nagłośnia to ruchoma chrząstka krtani, która podczas połykania pokarmu zamyka wejście do tchawicy i zapobiega dostaniu się cząsteczek pokarmowych do układu oddechowego (**ryc. II.13.3.**). Z krtani powietrze dociera do **tchawicy**, kanału (o długości ok. 12 cm) zbudowanego z chrząstek, biegnącego w przedniej części przełyku aż do klatki piersiowej. Taka budowa zapobiega zapadaniu się ścianek tchawicy. Wnętrze tchawicy wyścieła błona śluzowa z nabłonkiem jednowarstwowym urzęsionym. Ruch rzęsek pozwala na przesuwanie cząsteczek pyłu i kurzu wraz ze śluzem do górnych odcinków dróg oddechowych. Ta czynność zapobiega przedostawaniu się zanieczyszczeń do płuc. Tchawica rozgałęzia się w klatce piersiowej na dwa **oskrzela główne** (prawe grubsze i krótsze od lewego), wzmocnione pierścieniami chrzęstnymi, które dzielą się wielokrotnie na oskrzela o coraz mniejszej średnicy, tworząc tzw. drzewo oskrzelowe. Najmniejsze przewody – oskrzeliki końcowe (niezawierające chrząstek) – dzielą się na oskrzeliki oddechowe. W ich ścianach znajdują się drobne **pęcherzyki płucne**, w których zachodzi wymiana

◂ nagłośnia

◂ oskrzela główne

gazowa. Oskrzela i oskrzeliki rozprowadzają powietrze w płatach płuc. **Płuco** prawe składa się z trzech płatów, a lewe – z dwóch. Płuca ochrania klatka piersiowa. Wewnętrzna powierzchnia klatki piersiowej jest pokryta cienką błoną – opłucną, zbudowaną z dwóch błon. Wewnętrzna błona opłucnej bezpośrednio okrywająca płuca i wchodząca w jego płaty to **opłucna płucna**, a błona zewnętrzna wyścielająca klatkę piersiową to **opłucna ścienna**. Przestrzeń między nimi nosi nazwę

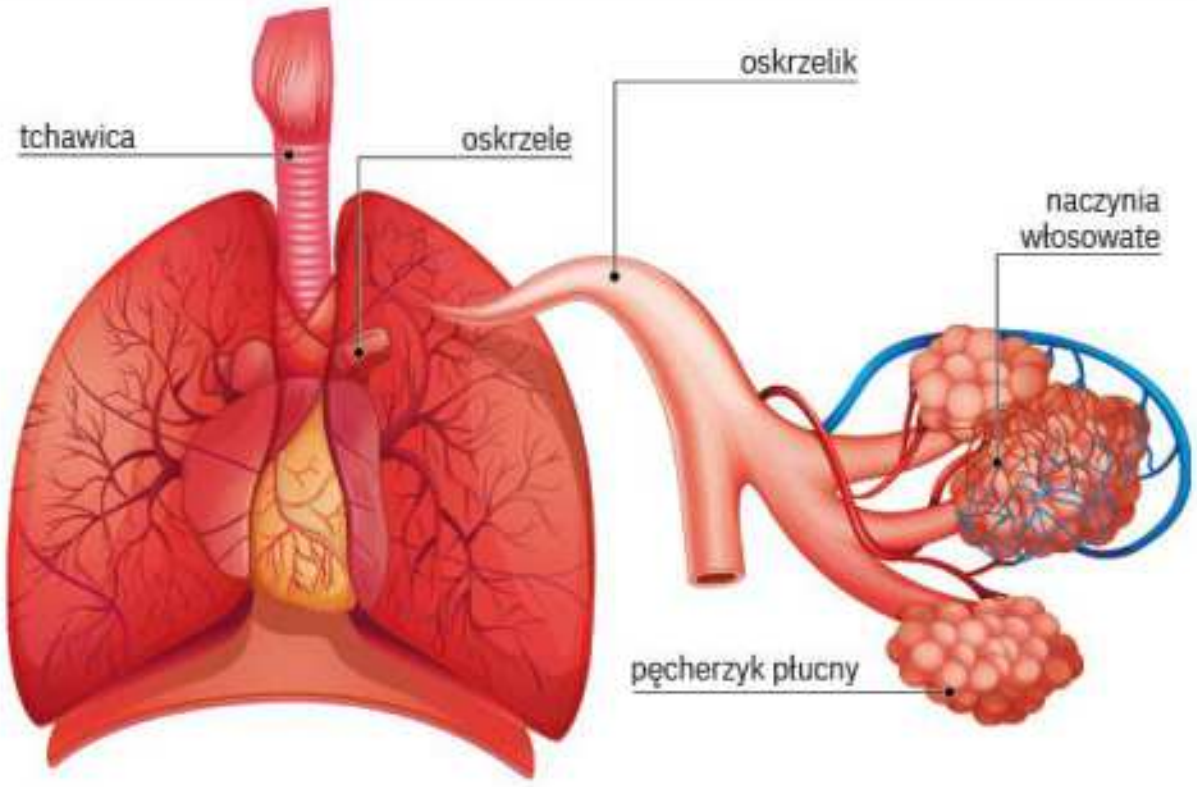
jama opłucnowa ▸ **jamy opłucnowej**. Znajduje się w niej płyn surowiczy produkowany przez komórki nabłonka jednowarstwowego płaskiego pokrywającego obie błony, zmniejszający tarcie między powierzchnią płuc a ścianami klatki piersiowej podczas wykonywania ruchów oddechowych. W jamie opłucnowej panuje ujemne ciśnienie (od –5 mm Hg do –10 mm Hg), powstałe podczas wykonania pierwszego wdechu.

W sytuacjach patologicznych, np. po urazie klatki piersiowej, kiedy powietrze dostanie się do jamy opłucnowej, może zostać zniesione ujemne ciśnienie. Wówczas dochodzi do powstania **odmy płuc**. Płuco nie uczestniczy w wymianie gazowej i się zapada. Pogarsza to wymianę gazową w zdrowym płucu.

pęcherzyki płucne ▸

Pęcherzyki płucne

Pęcherzyki płucne są miejscem wymiany gazów oddechowych – tlenu i dwutlenku węgla. Każdy pęcherzyk jest opleciony gęstą siecią włosowatych naczyń krwionośnych, przez które zachodzi wymiana gazowa między pęcherzykami płucnymi a krwią. Ściany pęcherzyka i naczyń włosowatych są zbudowane z pojedynczej warstwy komórek nabłonka. Liczba pęcherzyków płucnych w obu płucach wynosi 300–500 milionów, co daje łączną powierzchnię oddechową około 100 m^2 (**ryc. II.13.4.**). Pęcherzyki płucne tworzą grono – podstawową jednostkę czynnościową i strukturalną płuc. Na wewnętrznej powierzchni pęcherzyków znajduje się tzw. **surfaktant** (mieszanina fosfolipidów, wielocukrów i białek), który zmniejsza napięcie powierzchniowe pęcherzyków, zapobiegając ich zlepianiu się.



Ryc. II.13.4. Budowa dolnych dróg oddechowych.

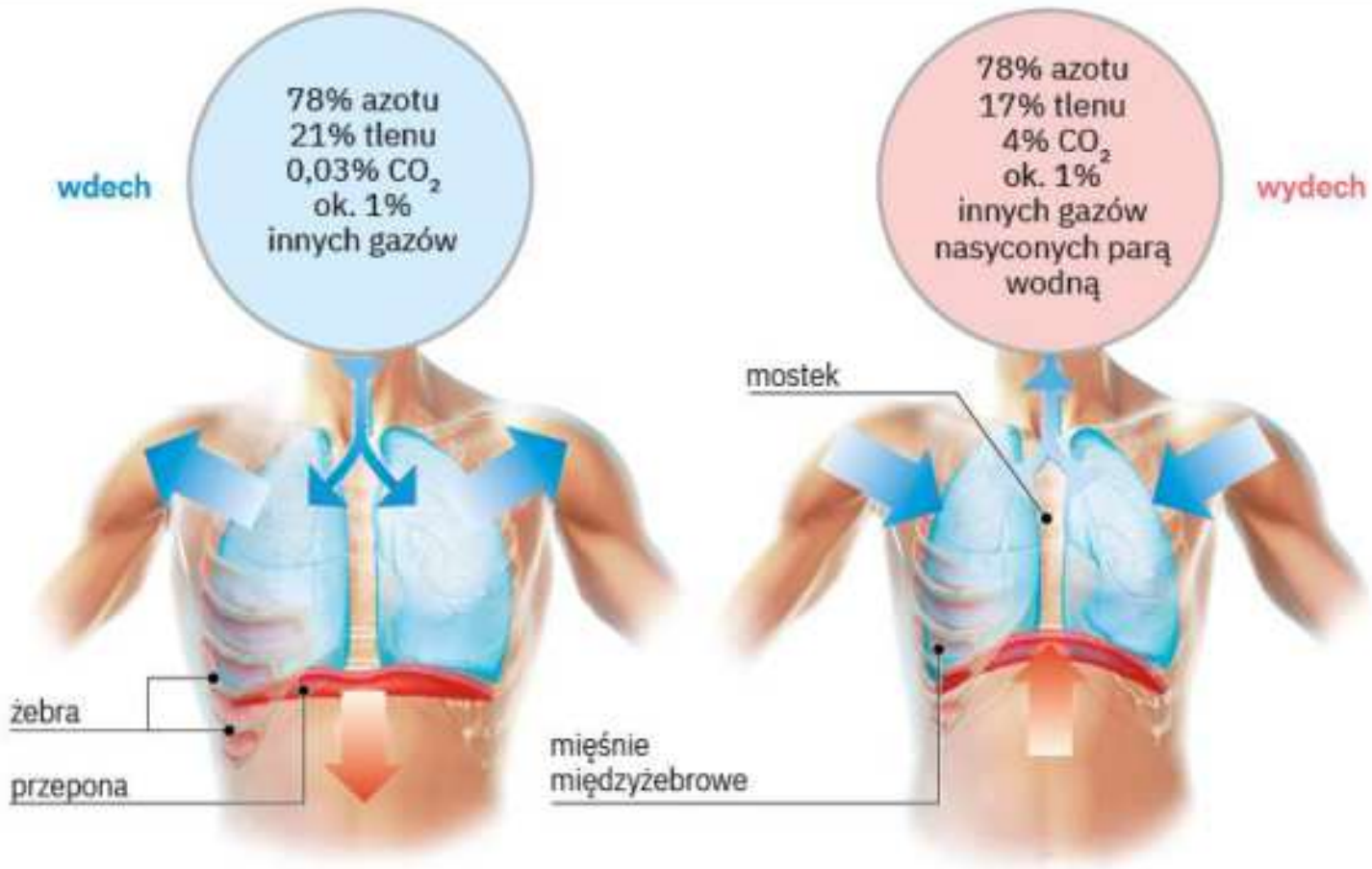
Wentylacja płuc

wentylacja płuc

Stale zachodzące oddychanie komórkowe wymaga dopływu tlenu z zewnątrz i usuwania powstającego dwutlenku węgla. Jest to możliwe dzięki następującym naprzemiennym wdechom i wydechom. Zachodzą one dzięki pracy **mięśni międzyżebrowych i przepony**. Czynności te przebiegają rytmicznie, w spoczynku około 12–15 razy na minutę bez udziału naszej świadomości.

Wdech – akt czynny

Wdech jest aktem czynnym, ponieważ wymaga wykorzystania energii podczas pracy mięśni. Polega na skurczu mięśni międzyżebrowych zewnętrznych i przepony. Skurcz mięśni międzyżebrowych zewnętrznych powoduje rozciągnięcie i uniesienie klatki piersiowej, a kurcząca się przepona się obniża (**ryc. II.13.5.**). W efekcie ciśnienie powietrza w jamie opłucnej i pęcherzykach płucnych obniża się w stosunku do ciśnienia atmosferycznego. Różnica ciśnień powoduje napływ powietrza do płuc.



Ryc. II.13.5. Schemat mechanizmu wdechu i wydechu.

Wydech – akt bierny

Podczas spokojnego wydechu mięśnie międzyżebrowe oraz przepona rozkurczają się, co powoduje przywrócenie spoczynkowego rozmiaru klatki piersiowej i zmniejszenie jej objętości (**ryc. II.13.5.**). Ciśnienie w jamie opłucnej i pęcherzykach płucnych wzrasta powyżej wartości ciśnienia atmosferycznego. Ta różnica ciśnień powoduje usuwanie powietrza z płuc. Podczas pogłębionego wydechu jego siłę mogą wzmocnić mięśnie brzucha i grzbietu (np. w czasie kaszlu, kichania, ziewania).

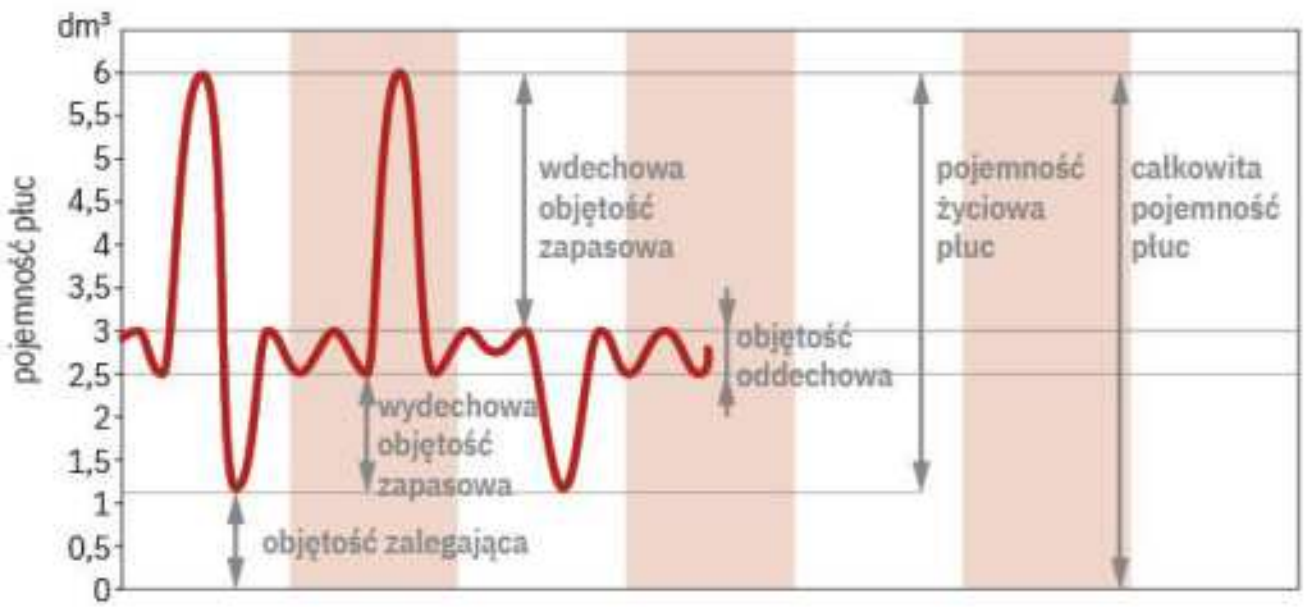
W trakcie oddychania mogą przeważać ruchy żeber (oddychanie piersiowe charakterystyczne dla kobiet) lub ruchy przepony (oddychanie brzuszne właściwe dla mężczyzn i osób z chorobami płuc). Za regulację wentylacji płuc odpowiada **ośrodek oddechowy** położony w rdzeniu przedłużonym. Składa się on z ośrodka wdechu, którego neurony wysyłają impulsy pobudzające mięśnie wdechowe do skurczu, oraz ośrodka wydechu, który pobudza mięśnie wydechowe podczas aktywnych wydechów. Natomiast naprzemienne wykonywanie wdechów i wydechów jest regulowane przez **ośrodek pneumotaksyczny** położony w pniu mózgu. Ośrodek wdechu odbiera sygnały od receptorów położonych w ścianach dużych tętnic: aorty i tętnic szyjnych wrażliwych na wzrost stężenia dwutlenku węgla i spadek poziomu tlenu we krwi. Wówczas ośrodek wysyła impulsy nerwowe do mięśni międzyżebrowych i przepony, pobudzając je do skurczu. Ośrodek wdechu odbiera także sygnały od receptorów położonych w tkance płucnej i w ścianach klatki piersiowej oraz w rdzeniu przedłużonym. Pierwsze rejestrują ruchy klatki piersiowej i nadmierne rozciąganie płuc, hamując ośrodek wdechu. Drugie są wrażliwe na spadek pH płynu mózgowo-rdzeniowego i pobudzają ośrodek.

Natomiast ośrodek wydechu wysyła impulsy nerwowe do mięśni wydechowych podczas wzmożonego wysiłku.

Rodzaje pojemności płuc

Całkowita pojemność płuc dorosłego człowieka wynosi od 4 do 6 litrów (dm^3). Większa jest u mężczyzn niż u kobiet. Ilość powietrza, którą wymieniamy podczas normalnego wdechu i wydechu, nazywamy **objętością oddechową** (ok. 0,5 dm^3) (**ryc. II.13.6.**).

objętość oddechowa ▸



Ryc. II.13.6. Rodzaje pojemności płuc i objętości zawartego w nich powietrza.

Dodatkowe powietrze, które dostaje się do płuc podczas pogłębionego wdechu, to **zapasowa objętość wdechowa** (ok. 2,5 dm^3). Podczas pogłębionego wydechu można dodatkowo usunąć około 1,2 dm^3 powietrza (**zapasowa objętość wydechowa**). Powietrze, które zostaje wymienione w płucach między maksymalnym

wdechem a wydechem, stanowi **pojemność życiową płuc** (ok. 4,5 dm^3). Około 1,2 dm^3 powietrza pozostaje stale w płucach, tworząc **objętość zalegającą**, której nie można usunąć nawet podczas maksymalnego wydechu. Sumując pojemność życiową płuc i objętość zalegającą, otrzymujemy **całkowitą pojemność płuc**.

Zaburzenia funkcjonowania układu oddechowego

choroby układu oddechowego

Na pracę układu oddechowego mają wpływ czynniki zewnętrzne: zanieczyszczenia pyłowe i chemiczne. **Zanieczyszczenia pyłowe** powstają podczas procesów produkcyjnych, a także mogą być pochodzenia organicznego, jak **pyłki roślin** czy **pyłki z sierści zwierząt**. **Zanieczyszczenia gazowe** są efektem spalania paliw kopalnianych. Podczas spalania węgla kamiennego i brunatnego, gazu ziemnego czy ropy naftowej powstają trujące związki – **tlenki azotu, siarki i węgla**.

Źródłem tlenków azotu są zakłady produkujące nawozy azotowe, a także powszechne ich stosowanie w rolnictwie. Związki te są niebezpieczne dla człowieka i powodują uszkodzenie płuc, zmniejszają zdolność krwi do przenoszenia tlenu i często są przyczyną chorób nowotworowych płuc. Drugim bardzo niebezpiecznym związkiem jest dwutlenek siarki. W powietrzu utlenienia się do SO_3, który łączy się z wodą i tworzy **kwas siarkowy**, będący główną przyczyną kwaśnych deszczów.

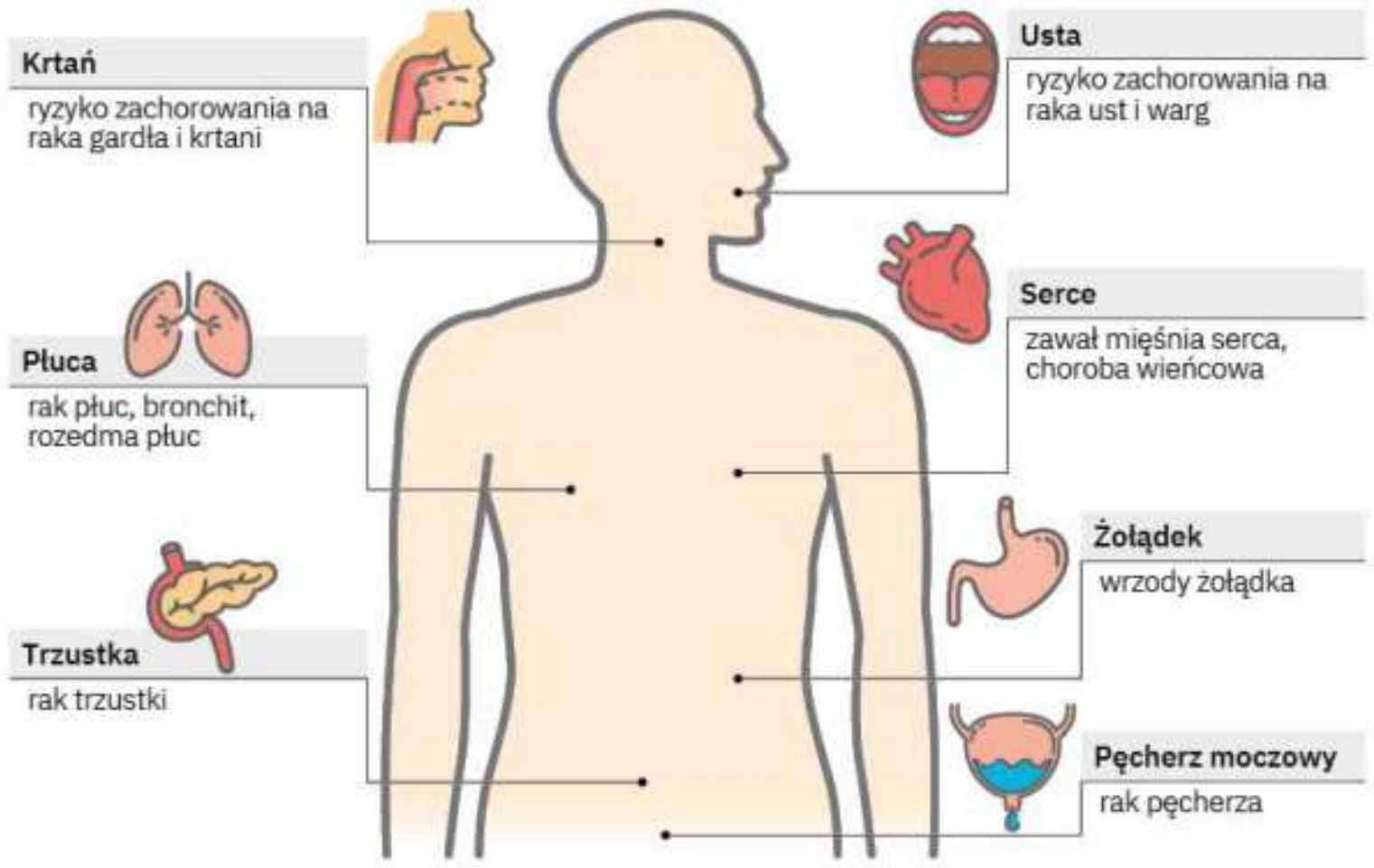
Mieszanina dwutlenku siarki, tlenku azotu i benzopirenu w kontakcie z drobinami pyłów tworzy **smog fotochemiczny** – mgłę zawierającą zanieczyszczenia. Okresem sprzyjającym powstaniu smogu jest bezwietrzna, słoneczna i mroźna zima. Podczas dnia powietrze nagrzewa się i wieczorem unosi, a jego miejsce zajmuje zimne powietrze utrzymujące zanieczyszczenia blisko ziemi. Szczególnie narażeni na działanie smogu są ludzie mieszkający w pobliżu elektrowni czy indywidualnych gospodarstw opalanych złej jakości węglem, drewnem i śmieciami (głównie w postaci tworzyw sztucznych), a także mieszkańcy miast o dużym ruchu ulicznym. Smog powoduje podrażnienia oczu i skóry, kaszel, bóle w klatce piersiowej oraz bóle głowy, duszności, astmę, bronchit, zaostrzenie przewlekłego zapalenia oskrzeli, a ponadto zwiększa ryzyko zapadalności na nowotwory płuc. Aby chronić się przed smogiem, należy zakładać maski antysmogowe z filtrami wychwytującymi zanieczyszczenia pyłowe i gazowe. Smog jest szczególnie groźny dla osób starszych i dzieci. Noworodki, których matki były narażone w ciąży na smog, mają mniejszą masę urodzeniową niż dzieci kobiet nienarażonych na takie warunki. Bardzo niebezpieczne jest zatrucie **tlenkiem węgla** (czadem) – bezwonnym i bezbarwnym gazem, którego zdolność do łączenia się z hemoglobiną wynosi około **200 razy** więcej w porównaniu z tlenem. Czad powstaje w procesie spalania węgla i innych paliw, podczas pożarów, gdy brakuje wystarczającej ilości tlenu, a także w domowych urządzeniach grzewczych. Istotne zatem jest utrzymanie wentylacji pomieszczeń w celu zachowania odpowiedniego stężenia tlenu, co pozwala na właściwe oddychanie. Obniżenie stężenia tlenu do **około 90 mmHg** powoduje u człowieka niedotlenienie, które objawia się przerywanym oddechem, ospałością, osłabieniem, a jeśli brak tlenu się pogłębia, może to doprowadzić do uduszenia.

tlenek węgla

Niebezpieczny dla układu oddechowego jest także **azbest** – włóknisty minerał do niedawna stosowany w budownictwie. Wdychane drobiny azbestu gromadzą się

w płucach i są przyczyną pylicy azbestowej, nowotworów krtani i płuc. W przypadku osób pracujących w kopalniach antracytu, bitumitu, węgla kamiennego i brunatnego występuje duże ryzyko pylicy węglowej (uznanej za chorobę zawodową). Groźnym zanieczyszczeniem gazowym jest **benzopiren** – produkt przeróbki węgla, składnik spalin samochodowych i dymu papierosowego. Związek ten ma silne właściwości rakotwórcze. Bardzo niebezpieczne dla zdrowia jest palenie papierosów. W **dymie tytoniowym** znajduje się około 400 związków chemicznych, z których większość jest toksyczna, kilkadziesiąt ma działanie rakotwórcze, a kilkanaście to pierwiastki metali ciężkich (m.in. ołów, kobalt, nikiel, kadm, rtęć). Dzieci są pierwszymi ofiarami palenia tytoniu. Wraz z palącą matką w czasie ciąży do organizmu rozwijającego się dziecka przedostają się związki chemiczne zawarte w dymie tytoniowym. Takie dzieci wolniej rosną w łonie matki, mają niższą masę urodzeniową o 200–400 g od dzieci matek niepalących, znacznie częściej zapadają na astmę, choroby układu oddechowego czy ucha środkowego. Nikotyna obecna w dymie papierosowym działa na organizm uzależniająco (bardziej niż kokaina). Palenie papierosów niezależnie od wieku ma negatywny wpływ na szereg narządów i układów organizmu człowieka, m.in. na układ sercowo-naczyniowy, śluzówkę układu pokarmowego, pęcherz moczowy, a szczególnie na układ oddechowy (**ryc. II.13.7.**).

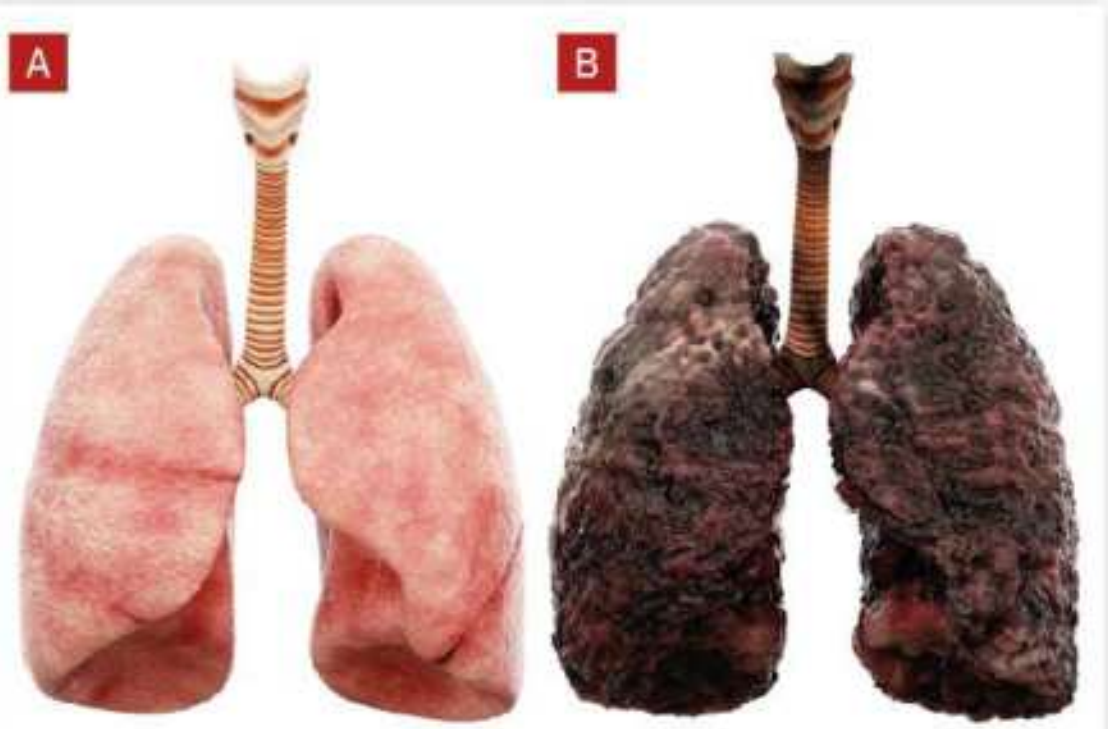
palenie tytoniu



Ryc. II.13.7. Skutki palenia papierosów w poszczególnych organach.

Palenie papierosów przyczynia się do przewlekłego zapalenia oskrzeli, rozedmy płuc, a także może prowadzić do raka płuc, raka gardła, krtani, warg, ust. **Rak płuc** to jeden z najczęściej występujących nowotworów złośliwych na świecie, a spośród nowotworów występujących u mężczyzn jest najczęstszą przyczyną śmierci. W Pol-

sce rak płuc zajmuje pierwsze miejsce co do częstości występowania u mężczyzn (rocznie odnotowuje się ok. 15 tys. nowych zachorowań) i drugie (po raku piersi) wśród nowotworów złośliwych u kobiet (ok. 7 tys. nowych przypadków rocznie). W ciągu ostatnich lat obserwuje się zmniejszenie liczby nowych zachorowań wśród mężczyzn, a jednocześnie wzrost zachorowalności kobiet. Oprócz mutacji genetycznych około 90% wszystkich zachorowań na ten nowotwór wynika z długotrwałego palenia tytoniu. Ryzyko wystąpienia choroby wzrasta wraz z liczbą wypalonych papierosów. Choroba ta rozwija się nie tylko u osób palących, lecz także coraz częściej pojawia się u osób niepalących (ok. 15% wszystkich zachorowań). We wczesnym etapie choroby nowotwór nie daje żadnych objawów. W późniejszym etapie pojawiają się kaszel, chrypka, duszności, krwioplucie oraz bolesność w klatce piersiowej (**ryc. II.13.8.**).



Ryc. II.13.8. Płuca osoby zdrowej (A) i palacza (B).

Rak płuc jest najczęściej rozpoznawany w stadium zaawansowanym, co zmniejsza szanse na wyleczenie. Leczenie polega na usunięciu chirurgicznie zmienionych nowotworowo tkanek oraz stosowaniu chemioterapii (podawaniu związków chemicznych niszczących komórki nowotworowe) i radioterapii (naświetlaniu promieniowaniem jonizującym o dużej energii). Coraz częściej przeprowadza się leczenie za pomocą immunoterapii (czyli stosowanie preparatów przeciwciał monoklonalnych). Rozwój tej choroby w dużej mierze zależy od trybu życia – ryzyko jego pojawienia się spada dzięki zaprzestaniu palenia papierosów i unikaniu towarzystwa osób palących.

◀ rak płuc

Palenie papierosów obniża odporność organizmu na bakterie i wirusy. Papierosy zaopatrzone w filtry ograniczają zawartość substancji toksycznych dla palacza, ale zwiększają ich stężenie w najbliższym otoczeniu, co jest przyczyną tzw. biernego palenia. Krajowy Rejestr Nowotworów ostrzega, że bierne palenie to wdychanie dymu tytoniowego, w którym jest „trzy razy więcej tlenku węgla, ponad 10 razy więcej nitrozamin, 15 razy więcej benzenu i nawet do 70 razy więcej amoniaku niż podczas aktywnego palenia papierosów". Dym nikotynowy działa niszcząco na nabłonek wyścielający drogi oddechowe. Komórki nabłonka w reakcji obronnej produkują dużą ilość śluzu i ograniczają ruch rzęsek pokrywających nabłonek. Śluz staje się pożywką dla bakterii, co powoduje infekcje i stany zapalne dróg oddechowych. Dlatego opracowano alternatywną wersję papierosów – e-papierosy. Ostatnie badania naukowców ze Stanów Zjednoczonych wskazują na niebezpieczny wpływ takiego sposobu palenia na osoby nieuzależnione od tradycyjnych pro-

duktów tytoniowych, szczególnie dzieci i młodzież. Należy pamiętać, że każdy wyrób tytoniowy jest równie groźny, niezależnie od tego, czy się pali papierosy, cygara, fajkę czy żuje tytoń.

Rzucenie palenia przez palacza zmniejsza ryzyko zachorowania na choroby układu oddechowego, sercowo-naczyniowego i nowotwory. Skutecznymi środkami zmniejszającymi głód nikotynowy są specjalne gumy do żucia, plastry czy środki farmakologiczne.

W powietrzu znajdują się zanieczyszczenia mikrobiologiczne, jak **wirusy i bakterie oraz zarodniki grzybów**. Dostają się one drogą kropelkową do układu oddechowego i wywołują szereg schorzeń, jak nieżyt nosa i krtani, grypę, zapalenie płuc.

astma ▸ Alergie (na pyłki roślin i zarodniki grzybów, sierść zwierząt, odchody roztoczy) i zanieczyszczenia powietrza mogą doprowadzić do powstania **astmy** (**dawniej zwanej dychawicą**). Na skutek tych czynników pojawiają się trudności w oddychaniu wywołane zwężaniem światła oskrzeli w wyniku ich stanu zapalnego i gromadzenia się śluzu na ich wewnętrznej powierzchni. Astmie towarzyszą ataki duszności, zwłaszcza w godzinach nocnych, oraz silny kaszel, świszczący oddech, uczucie ściskania w klatce piersiowej. U niektórych osób schorzenie to pojawia się po infekcji dróg oddechowych. Atakom duszności sprzyjają: lęk, stres, intensywne ćwiczenia fizyczne na powietrzu i w niskiej temperaturze, a także zadymione pomieszczenia. Leczenie polega m.in. na podawaniu leków rozszerzających oskrzela i unikanie czynników powodujących ataki duszności.

profilaktyka chorób układu oddechowego ▸

Profilaktyka chorób układu oddechowego

W profilaktyce chorób układu oddechowego bardzo duże znaczenie mają badania, takie jak prześwietlenie klatki piersiowej (RTG), spirometria i bronchoskopia.

RTG klatki piersiowej

Rentgen klatki piersiowej polega na krótkotrwałym napromieniowaniu promieniami rentgenowskimi. Jest to badanie nieinwazyjne pozwalające na uzyskanie obrazu dróg oddechowych, płuc, a także fragmentów kręgosłupa, serca oraz kości klatki piersiowej. Wykonuje się je w przypadku stwierdzonych duszności, niepokojącego, utrzymującego się długo kaszlu, bólu w okolicach klatki piersiowej, krwawień z przełyku czy podczas kaszlu. Prześwietlenie klatki piersiowej ułatwia diagnostykę chorób układu oddechowego i krążenia, a także zwiększa skuteczność stosowanego leczenia (**ryc. II.13.9.**). Na podstawie tego badania nie można jednak wykryć zmian nowotworowych o niewielkich rozmiarach ani zatorów w naczyniach płucnych. Wówczas stosuje się bardziej dokładną diagnostykę, np. tomografię komputerową klatki piersiowej.

Ryc. II.13.9. Badanie RTG najczęściej wykonuje się profilaktycznie co 2 lata, natomiast u nałogowych palaczy i osób pracujących w szkodliwych warunkach powinno się je powtarzać raz do roku.

Bronchoskopia

Uzupełnieniem prześwietlenia klatki piersiowej jest **bronchoskopia** (**ryc. II.13.10.**).

To bezpośrednie badanie krtani, tchawicy i oskrzeli w celu zdiagnozowania przyczyn długotrwałego kaszlu czy krwioplucia. Używa się do niego bronchoskopu – wziernika zakończonego źródłem światła, które ułatwia oglądanie narządów. Podczas tego badania można usunąć wydzielinę, krew, obce ciała lub można bezpośrednio wprowadzić leki.

Ryc. II.13.10. Bronchoskopia pozwala na pobranie wycinków tkanki do badania histopatologicznego, bakteriologicznego i cytologicznego. Jest badaniem inwazyjnym, ale dokładna analiza histopatologiczna pozwala na wykrycie zmian nowotworowych układu oddechowego.

Spirometria

Spirometria jest najczęstszym badaniem pracy płuc u osób podejrzanych o astmę oskrzelową i przewlekłą obturacyjną chorobę płuc (POChP). Podczas badania mierzy się pojemność i objętość płuc. U osób chorych są one znacznie zmniejszone (**ryc. II.13.11.**). Jest to badanie diagnostyczne, które pozwala ocenić stan zdrowia pacjenta i ryzyko wystąpienia schorzenia, ale podobnie jak prześwietlenie płuc nie pozwala jednoznacznie wskazać na chorobę nowotworową.

Ryc. II.13.11. Ilość powietrza wydobywającego się z układu oddechowego w czasie, w jakim pacjent potrafi taką objętość wypuścić, mierzymy za pomocą spirometru – aparatu z ustnikiem. Na podstawie wykresu krzywej przepływu i objętości powietrza lekarz ocenia pojemność płuc i przepływ powietrza przez układ oddechowy.

Eksperyment

Analiza składu powietrza wdychanego i wydychanego

Problem badawczy: Jaka jest różnica zawartości dwutlenku węgla w powietrzu wdychanym i wydychanym?

Hipoteza: We wdychanym powietrzu jest mniej dwutlenku węgla niż w powietrzu wydychanym.

Próba badawcza: Do szklanego naczynia wlewamy wodę wapienną. Wkładamy do niej końcówkę szklanej rurki i zaczynamy w nią dmuchać. Obserwujemy zmętnienie wody wapiennej.

Próba kontrolna: Postępujemy podobnie jak w wypadku próby badawczej, ale do naczynia wprowadzamy pompkę do pompowania powietrza i naciskamy na nią. Nie obserwujemy zmętnienia wody wapiennej.

Wynik obserwacji: W próbie badawczej woda wapienna zmętniała. W próbie kontrolnej woda wapienna nie mętnieje.

Wniosek: W powietrzu wydychanym jest większa zawartość dwutlenku węgla niż w powietrzu wdychanym.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Wyjaśnij zależność między budową płuc a efektywnością wymiany gazowej.
2. Wytłumacz, w jaki sposób jest kontrolowany podstawowy rytm oddychania.
3. Omów zmiany fizyczne, jakie zachodzą w płucach na skutek palenia tytoniu.
4. Przedstaw skutki dla organizmu wdychania wymienionych substancji: tlenek węgla, ciała smoliste, pyłki roślin.
5. Wymień trzy sposoby diagnostyki chorób układu oddechowego i określ celowość ich przeprowadzania.

PODSUMOWANIE LEKCJI

s. 207
- Podstawową funkcją układu oddechowego jest **wymiana gazowa** i udział w transporcie powietrza.

s. 207
- **Układ oddechowy składa się z dróg oddechowych**: jamy nosowej, gardła, krtani, tchawicy, oskrzeli i narządu oddechowego – płuc.

s. 211
- **Wentylacja płuc** polega na czynnym wdechu i biernym wydechu. Procesy te zachodzą dzięki pracy m.in. przepony i mięśni międzyżebrowych zewnętrznych, których skurcze zmieniają objętość klatki piersiowej.

s. 213
- Do najczęstszych **chorób układu oddechowego** należą: grypa, przeziębienie, zapalenie płuc. Choroby układu oddechowego są wynikiem stale wzrastającego zanieczyszczenia powietrza.

s. 214
- **Palenie tytoniu** jest szczególnie zagrażającym zdrowiu nałogiem prowadzącym do szeregu chorób, m.in. raka płuc, krtani, warg. Równie niebezpieczne jest tzw. bierne palenie.

s. 215
- **Rak płuc** jest najczęstszym nowotworem złośliwym na świecie i w Polsce. W jego leczeniu stosuje się metody operacyjne, radioterapię i chemioterapię.

s. 216
- Do **profilaktyki chorób układu oddechowego** zalicza się zmniejszenie zanieczyszczenia powietrza, dbałość o higienę osobistą, niepalenie tytoniu i przeprowadzanie badań kontrolnych

14. Transport gazów oddechowych

NA TEJ LEKCJI:

- dowiesz się, jaką rolę odgrywa krew w transporcie gazów oddechowych;
- poznasz mechanizm krzepnięcia krwi.

wymiana gazowa

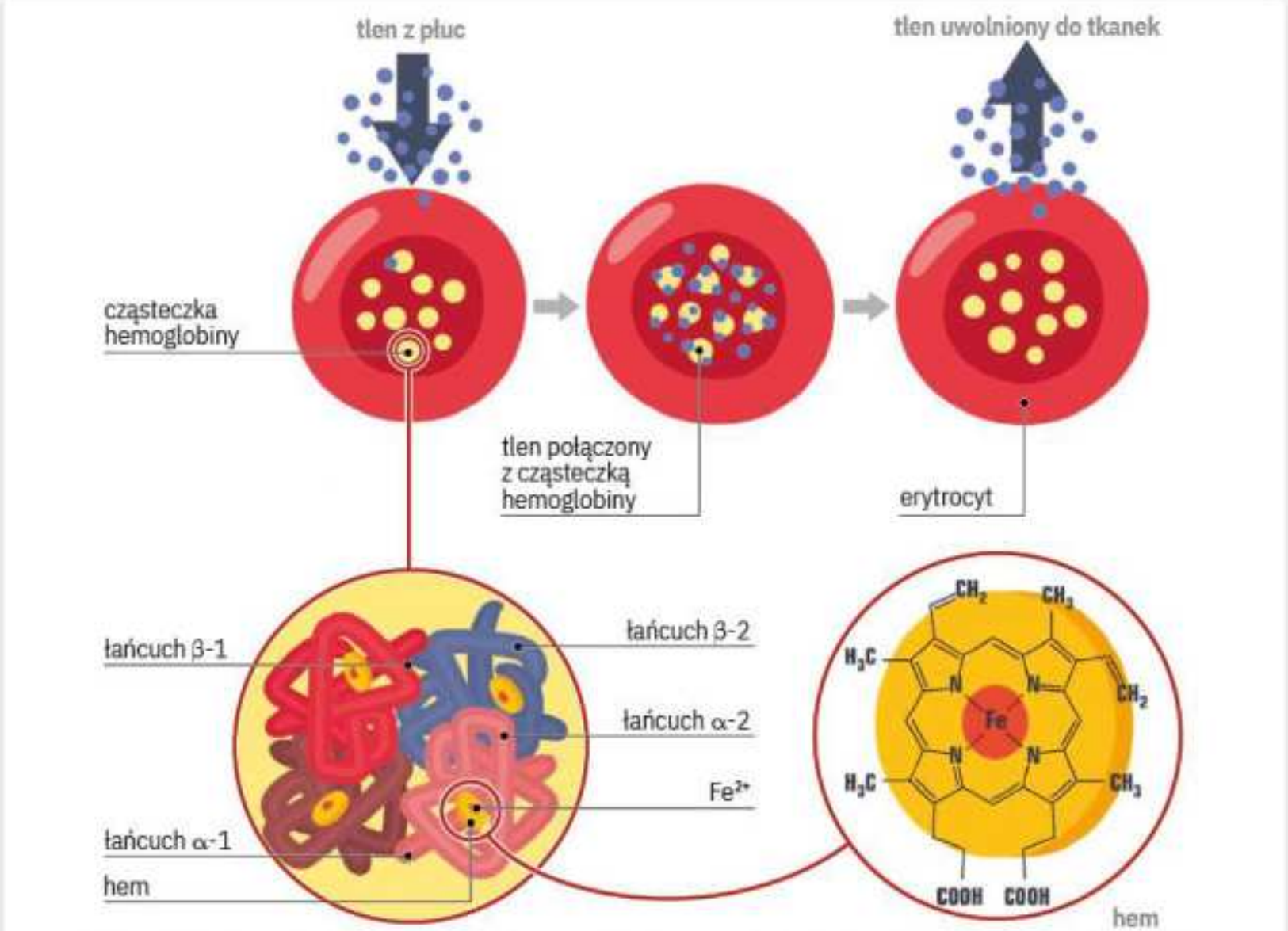
Wymiana gazowa jest wynikiem różnicy ciśnień cząstkowych (parcjalnych) gazów oddechowych i zachodzi ze środowiska o wyższym ciśnieniu parcjalnym do środowiska o niższym ciśnieniu parcjalnym w celu wyrównania ciśnień.

Wymiana gazowa zewnętrzna zachodzi między pęcherzykami płucnymi a krwią. Tlen z powietrza wypełniającego pęcherzyki płucne dyfunduje do krwi płynącej

w naczyniach włosowatych oplatających pęcherzyki płucne, a dwutlenek węgla – w kierunku przeciwnym.

wymiana gazowa wewnętrzna

Wymiana gazowa wewnętrzna przebiega między komórkami a krwią. Krew z płuc po wysyceniu tlenem zostaje odprowadzona do lewej komory serca, skąd jest kierowana do tkanek ciała, gdzie oddaje tlen niezbędny do oddychania komórkowego, a pobiera powstający podczas tego procesu dwutlenek węgla. Ciśnienie parcjalne (cząstkowe) tlenu jest większe w pęcherzyku płucnym niż we krwi naczyń włosowatych. W związku z tym cząsteczki tlenu łatwiej przenikają przez ścianę pęcherzyka płucnego, rozpuszczając się w osoczu i dyfundując do erytrocytów. W erytrocytach czerwony barwnik – **hemoglobina** – nietrwale łączy się z tlenem w procesie zwanym **utlenowaniem** (dla odróżnienia od trwałego utleniania ze zmianą wartościowości żelaza zawartego w centrum aktywnym hemoglobiny) (**ryc. II.14.1.**).

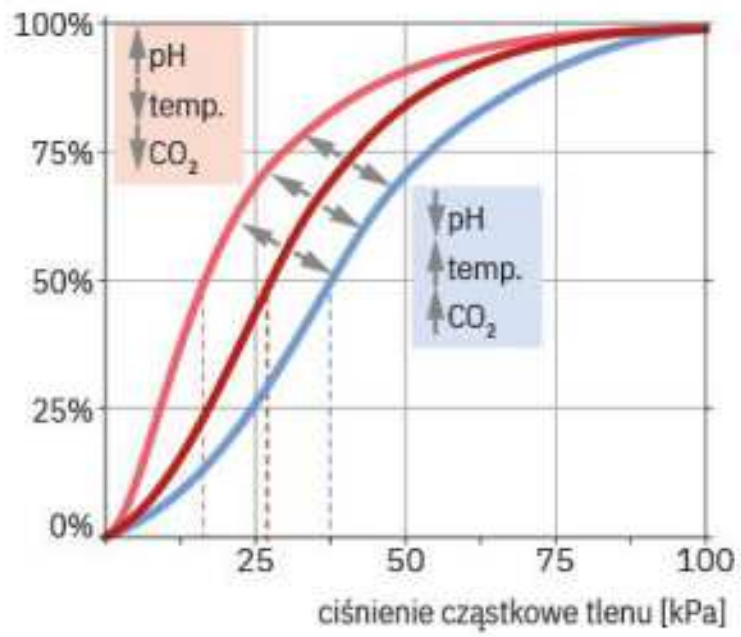


Ryc. II.14.1. Cząsteczka hemoglobiny (Hb) jest zbudowana z dwóch par białkowych podjednostek 1. Każda z nich zawiera niebiałkową grupę hem, w centrum której znajduje się jon żelaza (Fe^{2+}) umożliwiający wiązanie cząsteczki tlenu. Cząsteczka hemoglobiny może przyłączyć od 1 do 4 cząsteczek tlenu.

Połączenie hemoglobiny z tlenem nazywamy **oksyhemoglobiną** (HbO_2).

Hb	+	$4O_2$	→	$Hb(O_2)_4$
hemoglobina		tlen		oksyhemoglobina

Oksyhemoglobina wiąże 97% tlenu. Krew z tlenem (tętnicza) ma zabarwienie jasnoczerwone.



Ryc. II.14.2. Porównanie tempa uwalniania tlenu z hemoglobiny w zależności od pH, temperatury i stężenia dwutlenku węgla. Dwutlenek węgla łączy się w osoczu krwi z wodą, tworząc kwas węglowy, który powoduje zakwaszenie krwi (spadek pH). W takim środowisku hemoglobina łatwiej oddaje tlen. Prawa strona wykresu przedstawia czynniki sprzyjające wiązaniu tlenu, a lewa strona – czynniki sprzyjające oddawaniu tlenu przez hemoglobinę (↑ – wzrost, ↓– spadek). Zależność między poziomem pH krwi a zdolnością hemoglobiny do dysocjacji nazywamy efektem Bohra.

Zdolność wiązania hemoglobiny z tlenem zależy od pH, temperatury i stężenia dwutlenku węgla (**ryc. II.14.2.**). Najlepsze warunki do przyłączania tlenu do hemoglobiny panują w płucach – to wysokie pH i dość niska temperatura. W tkankach, w których pH jest niskie, a temperatura wysoka, cząsteczka tlenu odrywa się od hemoglobiny i dyfunduje bezpośrednio do komórek, gdzie jest wykorzystywana do oddychania komórkowego.

Cząsteczki dwutlenku węgla dyfundują odwrotnie: z komórek ciała do krwi, a następnie z osocza krwi do pęcherzyka płucnego, skąd są usuwane z powietrzem wydychanym. Większe ciśnienie parcjalne dwutlenku węgla w tkankach niż w osoczu krwi sprawia, że dwutlenek węgla przenika do krwi. Dwutlenek węgla jest transportowany w różnych postaciach:

1. Około 20% dwutlenku węgla przechodzi do erytrocytów, w których łączy się z hemoglobiną i tworzy **karbaminohemoglobinę** ($HbCO_3$).

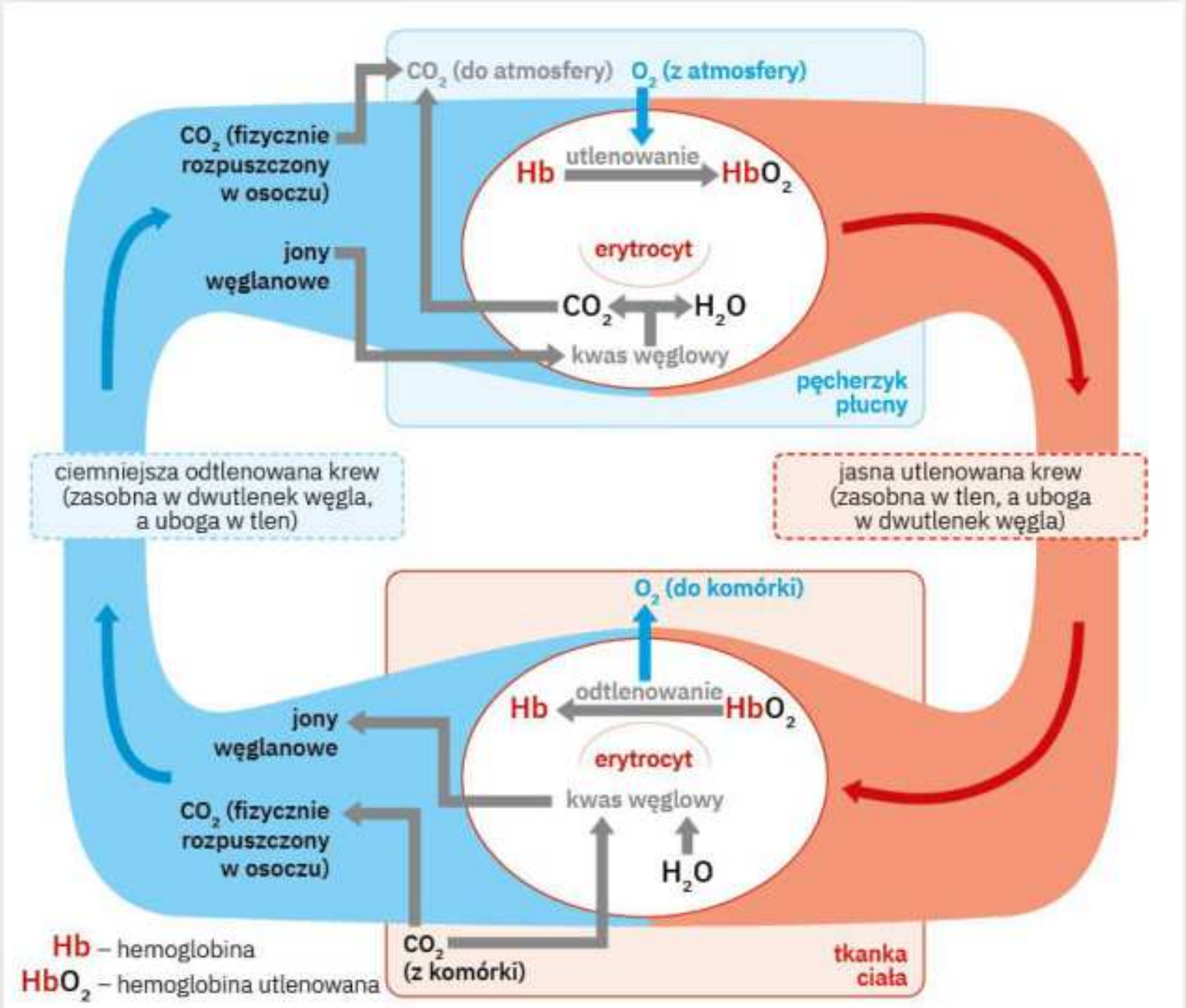
Hb	+	CO_2	→	$HbCO_2$
hemoglobina		dwutlenek węgla		karbaminohemoglobina

2. Około 70% dwutlenku węgla gromadzi się w postaci **jonów wodorowęglanowych**, które są efektem dysocjacji kwasu węglowego. Kwas węglowy powstaje po wniknięciu dwutlenku węgla do erytrocytu i połączeniu z wodą, a powstałe aniony wodorowęglanowe przenikają do osocza. Reakcja syntezy kwasu węglowego zachodzi dzięki enzymowi – **anhydrazie węglanowej** – zawartemu w cytoplazmie erytrocytów.

CO_2 + H_2O → HCO_3^- + H^+
dwutlenek węgla, woda, jon wodorowęglanowy, proton wodorowy

W płucach z jonów wodorowęglanowych i protonów wodorowych powstaje nietrwały kwas węglowy, który natychmiast się rozpada, uwalniając dwutlenek węgla i wodę, a z cząsteczki karbaminohemoglobiny są uwalniane dwutlenek węgla i woda. W wyniku tych reakcji dwutlenek węgla wydostaje się z powietrzem wydychanym z płuc na zewnątrz.

3. Około 10% dwutlenku węgla jest rozpuszczone fizycznie w osoczu krwi (**ryc. II.14.3.**).



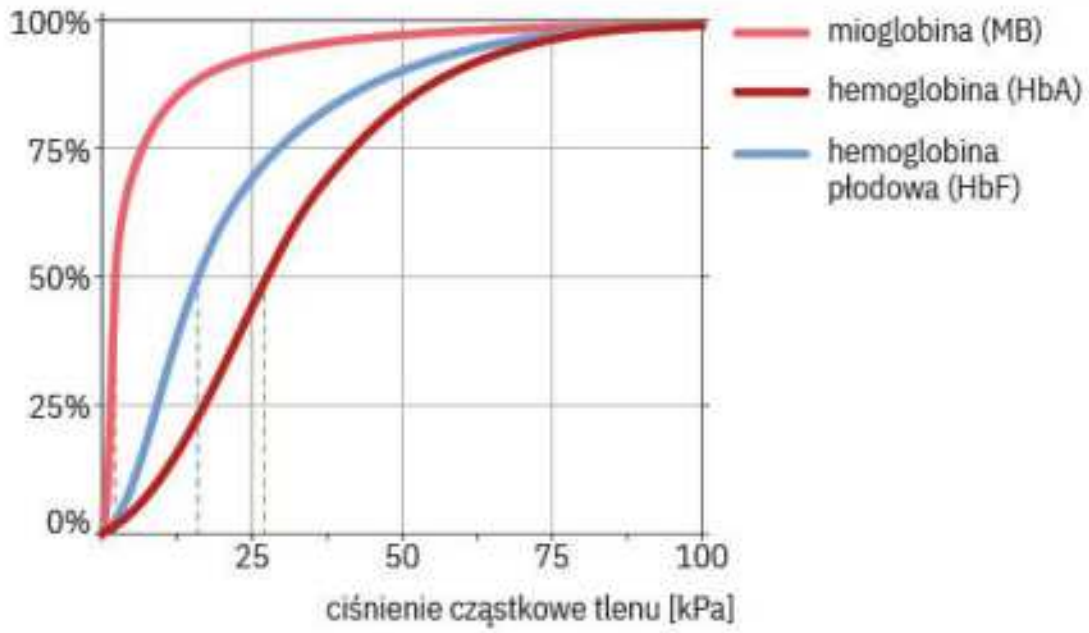
Ryc. II.14.3. Transport gazów oddechowych w tkankach ciała i płucach.

W komórkach mięśni występuje **mioglobina**, która wiąże się odwracalnie z tlenem i stanowi jego zapas przy intensywnej pracy mięśni. Mioglobina ma większe powinowactwo do tlenu niż hemoglobina. Kiedy krew z tlenem przepływa przez mięśnie,

◀ mioglobina

następuje odłączenie tlenu od hemoglobiny i wiązanie z mioglobiną. Odwrotna reakcja jest możliwa w warunkach niskiego ciśnienia cząstkowego tlenu w mięśniach.

Hemoglobina występująca u płodu (HbF) ma większe powinowactwo do tlenu w stosunku do hemoglobiny osoby dorosłej (HbA). Dzięki temu przez łożysko z krwi matki do krwi dziecka jest przekazywany tlen. (**ryc. II.14.4.**).



Ryc. II.14.4. Porównanie wiązania tlenu przez różne rodzaje hemoglobiny. Podczas wzrostu ciśnienia cząstkowego tlenu więcej tlenu wiąże się z hemoglobiną. Hemoglobina występująca u płodu ma duże powinowactwo do tlenu i przenosi go w większej ilości niż hemoglobina matki. Największe powinowactwo do tlenu ma mioglobina.

zmiany ciśnienia atmosferycznego

Zmiana ciśnienia atmosferycznego pociąga za sobą zmianę ciśnień cząstkowych gazów oddechowych. Wraz ze wzrostem wysokości nad poziomem morza obserwuje się spadek ciśnienia poszczególnych gazów w powietrzu. Mieszkańcy nizin mogą bezpiecznie przebywać na terenach do wysokości 2500 m n.p.m. Powyżej tej wysokości organizm człowieka reaguje na takie warunki – zwiększa częstość oddechów w celu poprawienia wentylacji płuc, a także zwiększa się częstość skurczów serca, aby usprawnić transport krwi. Następuje również zwiększona produkcja erytrocytów i hemoglobiny. Gdy wysycenie krwi tętniczej hemoglobiną spada do poziomu 40–50%, człowiek traci świadomość. Występuje to na wysokościach około 7000 m, jeśli człowiek oddycha powietrzem atmosferycznym, lub na wysokościach około 14 500 m, jeśli oddycha czystym tlenem. Dlatego podczas podróży samolotem na dużych wysokościach ludzie przebywają w szczelnych kabinach ciśnieniowych, w których jest zapewnione ciśnienie odpowiadające ciśnieniu atmosferycznemu na wysokości około 2000 m.

Bardzo niebezpieczne dla organizmu człowieka są także zmiany ciśnienia podczas nurkowania na dużych głębokościach, a czasami także podczas lotów wysokościowych. U osoby schodzącej na dużą głębokość rozpuszczone we krwi i płynach ciała gazy wydzielają się w postaci pęcherzyków. Można to porównać do sytuacji po otwarciu butelki z napojem gazowanym. Ponieważ azot ma słabą rozpuszczalność

we krwi i płynach tkankowych, wydzielające się z płynów jego pęcherzyki powodują uszkodzenia tkanek, a krew w naczyniach krwionośnych przepływa przez tworzące się zatory gazowe – to tzw. **choroba dekompresyjna** lub kesonowa. Zatory mogą uszkodzić naczynia krwionośne i zaburzać krążenie krwi. Choroba dekompresyjna objawia się bólem i zawrotami głowy, utratą świadomości, paraliżem ciała, a nawet może zakończyć się śmiercią. Aby przeciwdziałać tej chorobie nurkowie korzystają z aparatów ze sprężonym powietrzem (**ryc. II.14.5.**).

choroba dekompresyjna

Niektóre zwierzęta oddychające powietrzem, np. delfiny, wieloryby, foki, mogą długo pływać pod wodą bez konieczności stałego wynurzania się nad powierzchnię. Pomagają im w tym przystosowania anatomiczne i fizjologiczne, jak opływowy kształt ciała i kończyny przekształcone w płetwy. Foki w porównaniu do ssaków lądowych mają dwukrotnie większą ilość tlenu w stosunku do powierzchni ciała. Ilość mioglobiny zwierząt nurkujących jest dziesięciokrotnie większa w porównaniu do żyjących na lądzie. Mają one również ogromną śledzionę, która magazynuje erytrocyty. Podczas nurkowania wysokie ciśnienie uciska na śledzionę, a ta uwalnia krwinki czerwone do krwi (**ryc. II.14.6.**).

ssaki wodne

Ryc. II.14.5. Podwodni pływacy przed zanurzeniem wykonują serię głębokich wdechów i wydechów – hiperwentylację – w celu znacznego usunięcia dwutlenku węgla w pęcherzykach płucnych i we krwi. Pozwala im to na dłuższe wstrzymanie oddechu.

Ryc. II.14.6. Foki wykonują wydech przed zanurzeniem się w wodzie, aby zmniejszyć ilość powietrza w płucach. Na głębokości ok. 50–70 m płuca tych zwierząt zapadają się i następnie napełniają w czasie unoszenia ciała ku górze. Taki mechanizm wentylacji zapobiega chorobie kesonowej, ponieważ wraz ze zmniejszaniem ilości powietrza w płucach, zmniejsza się ilość azotu rozpuszczonego we krwi podczas nurkowania.

Podczas nurkowania u zwierząt pojawia się **odruch nurkowania**. W jego wyniku metabolizm maleje o mniej więcej 20%, dzięki czemu zwierzęta oszczędzają tlen. Zwalnia wówczas ich akcja serca, a oddychanie ustaje. Mniejsza ilość krwi przepływa przez takie narządy ciała, jak skóra, mięśnie czy gruczoły trawienne.

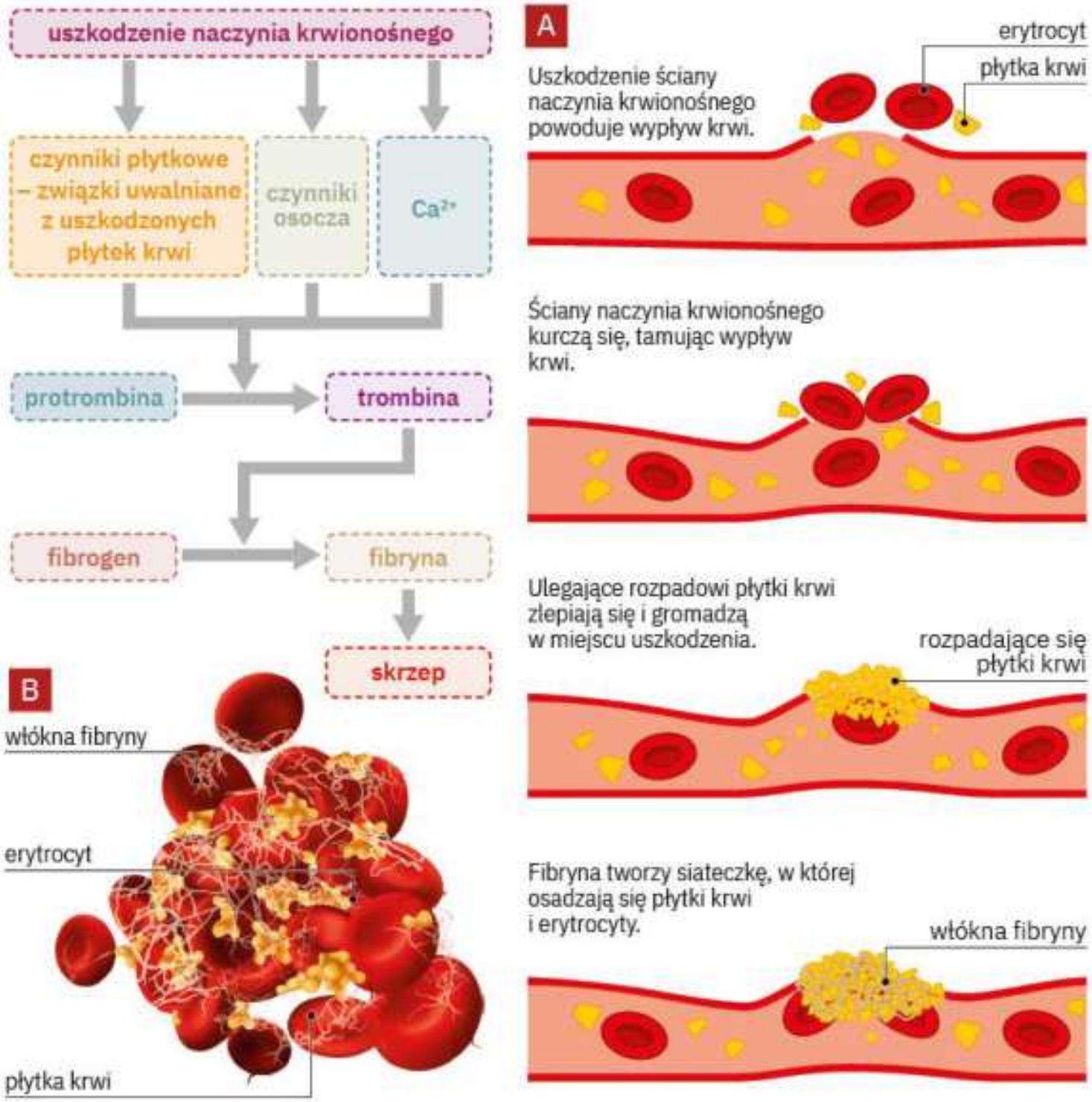
Krzepnięcie krwi

krzepnięcie krwi

Ciągłość ścian naczyń krwionośnych pozwala na utrzymanie równowagi składu i objętości krwi. Uszkodzenie naczynia krwionośnego uruchamia proces krzepnięcia krwi. Proces ten składa się z szeregu reakcji, w których uczestniczą różne czyn-

niki krzepnięcia krwi. W efekcie powstaje układ włókien zasklepiający ranę i zapobiegający wniknięciu drobnoustrojów chorobotwórczych oraz chroniący przed ewentualną infekcją (**ryc. II.14.7.**).

W wyniku przerwania ciągłości naczynia krwionośnego z uszkodzonych płytek krwi uwalniają się liczne białkowe czynniki krzepnięcia krwi, które aktywują nieaktywny enzym – **protrombinę** – w aktywną **trombinę** (**ryc. II.14.7.**). Proces ten zachodzi w obecności jonów wapnia. Aktywna trombina zmienia rozpuszczalny w osoczu **fibrynogen** w nierozpuszczalną **fibrynę**, która przyjmuje postać gęstej sieci. W tę sieć wplatają się erytrocyty i płytki krwi. W efekcie w miejscu zranienia powstaje **skrzep**. Następnie nitki fibryny się skracają i brzegi rany zbliżają się do siebie, po kilku dniach skrzep ulega rozpuszczeniu, a na jego miejscu rozwija się odpowiedni typ tkanki.



Ryc. II.14.7. Reakcje prowadzące do wytworzenia się fibryny: przebieg krzepnięcia krwi (A), tworzenie się skrzepu (B).

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Wyjaśnij znaczenie dla organizmu odwracalnego wiązania tlenu z hemoglobiną.
2. Porównaj powinowactwo do tlenu hemoglobiny i mioglobiny. Przedstaw konsekwencje wskazanych różnic.
3. Przedstaw znaczenie krzepnięcia krwi dla utrzymania homeostazy organizmu.

PODSUMOWANIE LEKCJI

- W płucach zachodzi **wymiana gazowa** między powietrzem a krwią, tlen łączy się nietrwale z hemoglobiną podczas procesu utlenowania, tworząc oksyhemoglobinę. W komórkach ciała oksyhemoglobina oddaje tlen, a pobiera część dwutlenku węgla w postaci karbaminohemoglobiny. Pozostała część dwutlenku węgla jest transportowana przez osocze krwi. ◂ s. 218
- Wraz ze wzrostem wysokości nad poziomem morza **spada ciśnienie atmosferyczne** i mniej tlenu dostaje się do krwi. Może to doprowadzić do niedotlenienia. ◂ s. 222
- Nagły spadek ciśnienia atmosferycznego może spowodować **chorobę dekompresyjną**, która najczęściej występuje u nurków. ◂ s. 223
- **Ssaki wodne** mają mechanizmy fizjologiczne przystosowujące je do nurkowania: dużą ilość mioglobiny, hiperwentylację, odruch nurkowania. ◂ s. 223
- Utrzymanie homeostazy w organizmie zachodzi dzięki procesowi **krzepnięcia krwi**. ◂ s. 223

15. Transport wewnętrzny zwierząt

NA TEJ LEKCJI:

- dowiesz się, jakie płyny występują w ciałach zwierząt;
- poznasz typy i funkcjonowanie układów krążenia;
- przeanalizujesz budowę i funkcję naczyń krwionośnych kręgowców;
- prześledzisz ewolucję układu sercowo-naczyniowego kręgowców.

Płyny ciała

◂ płyny ciała

Wszystkie zwierzęta, zarówno jednokomórkowe, jak i wielokomórkowe, w procesach metabolicznych zużywają substancje pobierane z zewnątrz, a wytwarzają związki, których muszą się pozbyć. Za te procesy odpowiada odpowiedni system transportu. Transport zachodzi wewnątrz komórek, dzięki np. cytoszkieletowi komórki i aparatom Golgiego. Może także zachodzić między komórkami, co pozwala na ich kontakt na duże odległości. U zwierząt, które mają małe rozmiary ciała, jak gąbki, parzydeł-

dyfuzja ▸
układ krążenia ▸

kowce i płazińce, wymiana substancji z otoczeniem może zachodzić bezpośrednio na drodze **dyfuzji**. Natomiast u pozostałych zwierząt odbywa się w **układzie krążenia**. Funkcję nośnika substancji pełnią **płyn pozakomórkowy** – tkankowy – oraz płyn krążący w układzie krążenia. Płyn tkankowy występujący w przestrzeniach między komórkami uczestniczy w wymianie substancji między krwią a tkankami.

W układach krwionośnych zwierząt znajdują się następujące płyny:

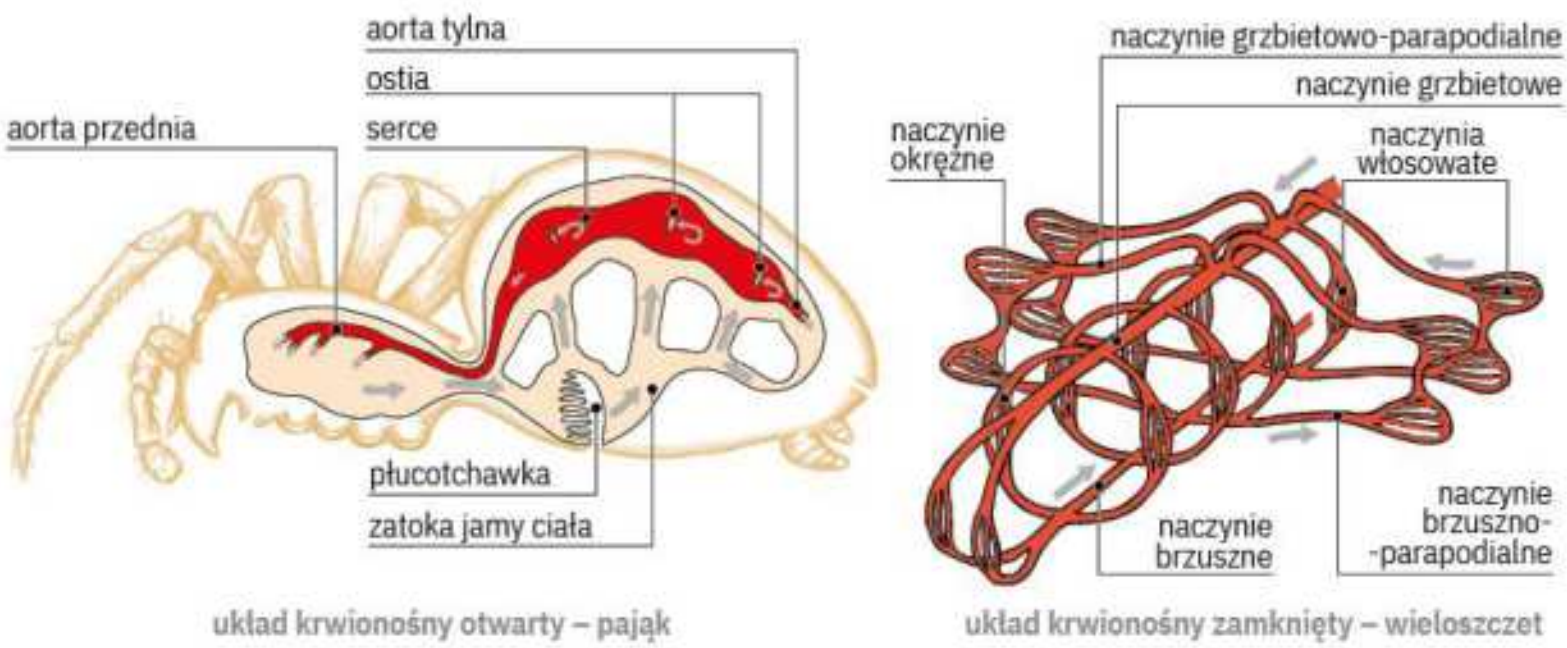
- hemolimfa – krąży w jamach ciała zwierząt bezkręgowych z otwartym układem krążenia;
- krew – występuje u zwierząt kręgowych z zamkniętym układem krążenia;
- limfa – krąży w naczyniach limfatycznych.

W hemolimfie i krwi zwierząt są rozpuszczone barwniki oddechowe transportujące tlen z narządów oddechowych do tkanek oraz dwutlenek węgla z tkanek do narządów oddechowych. Barwniki oddechowe to substancje białkowe zawierające grupy związane z jonami żelaza lub miedzi. Są odpowiedzialne za wiązanie gazów oddechowych. U bezkręgowców (pierścienic, mięczaków i części stawonogów) występują w osoczu, a u kręgowców – w krwinkach czerwonych. Do barwników oddechowych zwierząt należą:

- hemocyjanina (niebieska) – zawiera miedź, występuje u mięczaków i skorupiaków;
- hemoerytryna (różowa) – zawiera żelazo, występuje u wieloszczetów;
- chlorokruoryna (zielona) – zawiera żelazo, występuje u niektórych wieloszczetów;
- hemoglobina (czerwona) – zawiera żelazo, występuje u kręgowców i niektórych bezkręgowców (niektóre mięczaki, skorupiaki i szkarłupnie);
- mioglobina (czerwona) – zawiera żelazo, występuje w mięśniach ssaków.

Typy układów krążenia

Układ krążenia składa się z krążącego płynu, systemu naczyń oraz serca. Krążenie płynów w naczyniach jest napędzane działaniem serca. Wyróżniamy dwa typy układu krążenia: otwarty i zamknięty (**ryc. II.15.1.**).



Ryc. II.15.1. Porównanie układu krwionośnego otwartego i zamkniętego.

W układzie otwartym wyróżnia się serce położone zwykle po grzbietowej stronie ciała oraz naczynia otwierające się do jamy ciała. Skurcze serca tłoczą **hemolimfę** – płyn wspólny dla układu krwionośnego – naczyniami krwionośnymi do jamy ciała. Hemolimfa obmywa narządy wewnętrzne, gdzie następuje wymiana substancji między hemolimfą a komórkami. Następnie rozkurcz serca wciąga hemolimfę do serca, a ruchy ciała zwierzęcia uciskają na jamy, co ułatwia krążenie hemolimfy. Taki układ występuje u zwierząt bezkręgowych – stawonogów, mięczaków (wyjątek stanowią głowonogi) i szkarłupni.

otwarty układ krążenia

Układ otwarty odznacza się niższym ciśnieniem hydrostatycznym. Koszty energetyczne związane z jego pracą są dla zwierzęcia mniejsze.

W zamkniętym układzie krwionośnym krew krąży wyłącznie w naczyniach krwionośnych. Różni się ona od płynu tkankowego. Serce pompuje krew do dużych naczyń krwionośnych, które rozgałęziają się na mniejsze w narządach. Między naczyniami występują najmniejsze naczynia pozwalające na wymianę między krwią a komórkami ciała. Układ zamknięty występuje u pierścienic, głowonogów oraz wszystkich kręgowców. W układzie zamkniętym jest zwykle wysokie ciśnienie hydrostatyczne, co zwiększa nakłady energetyczne na jego pracę. Wynika to z konieczności dostarczenia tlenu i substancji odżywczych na znaczne odległości – do komórek zwierząt o dużej aktywności.

zamknięty układ krążenia

Układ krążenia pojawił się pierwszy raz w rozwoju ewolucyjnym u pierścienic.

Układ krążenia u kręgowców

Budowa układu krążenia u wszystkich kręgowców – ryb, płazów, gadów, ptaków i ssaków – jest bardzo podobna. Składają się na niego: serce, naczynia krwionośne, czyli tętnice i żyły, naczynia włosowate oraz naczynia limfatyczne. Tętnicami krew płynie z serca do naczyń włosowatych ciała, żyłami wraca z naczyń włosowatych do serca, a naczyniami włosowatymi najmniejsze tętnice łączą się z najmniejszymi żyłami, tworząc gęstą sieć oplatającą tkanki i narządy ciała. Serce, położone po brzusznej stronie ciała, pompuje krew do zamkniętego układu naczyń krwionośnych. Układ krążenia u kręgowców spełnia następujące funkcje:

- transportuje tlen z narządów oddechowych – płuc i skrzeli do komórek ciała, a dwutlenek węgla – w kierunku przeciwnym;
- transportuje substancje odżywcze z układu pokarmowego do komórek ciała;
- transportuje zbędne produkty przemian metabolicznych do narządów wydalniczych;
- transportuje hormony z gruczołów wydzielniczych do komórek ciała;
- uczestniczy w reakcjach obronnych organizmu przed drobnoustrojami chorobotwórczymi;
- wspomaga utrzymanie równowagi płynów ustrojowych;
- wspomaga rozprowadzanie ciepła po organizmie, co zapewnia zwierzętom stałocieplnym utrzymanie stałej temperatury ciała;
- pomaga w utrzymaniu właściwego pH.

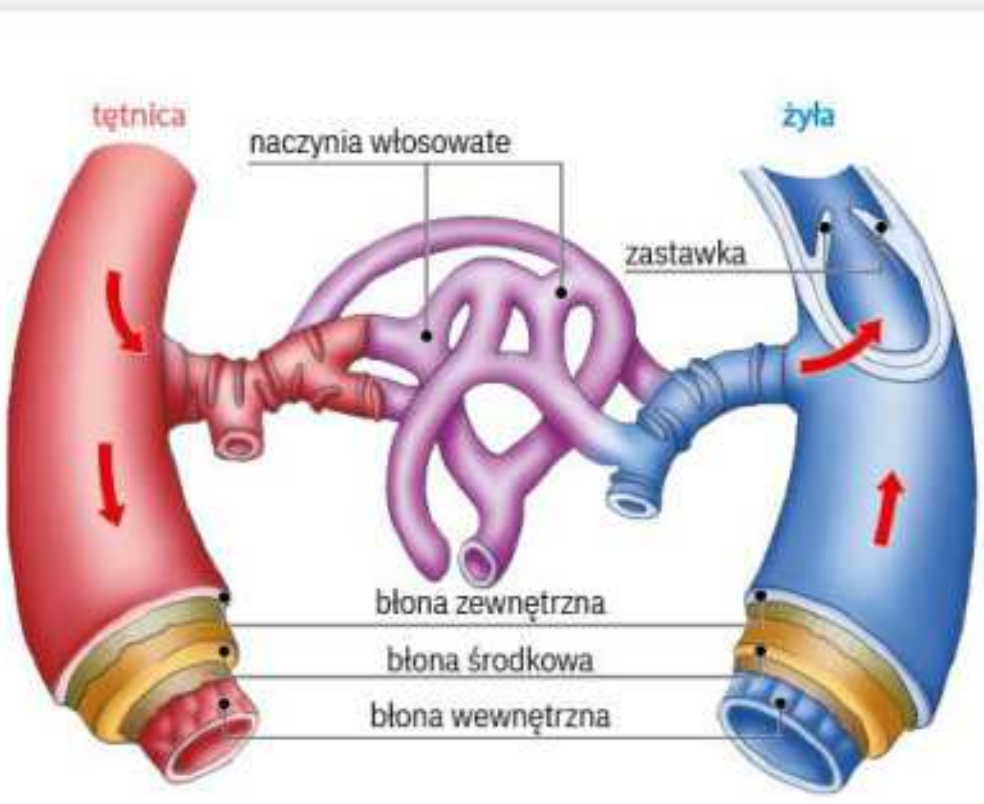
Naczynia krwionośne kręgowców

żyły, tętnice i naczynia włosowate

W układzie krwionośnym kręgowców wyróżnia się trzy rodzaje naczyń krwionośnych: **żyły, tętnice i naczynia włosowate**. Ściany naczyń są zbudowane z trzech warstw: zewnętrznej, środkowej i wewnętrznej. Warstwę zewnętrzną tworzy tkanka łączna, środkową – mięśniowa gładka, a wewnętrzną – nabłonek jednowarstwowy płaski (tzw. śródbłonek). Różnice w wykształceniu tych warstw wynikają z funkcji, jaką pełnią poszczególne naczynia krwionośne. **Tętnice** transportują krew z serca do wszystkich tkanek organizmu. Dwie największe tętnice – tętnica płucna i aorta – wychodzą z serca, a następnie rozgałęziają się na mniejsze tętnice, które wewnątrz tkanek i narządów przechodzą w tętniczki doprowadzające krew do naczyń włosowatych. Ciśnienie krwi w tętnicach głównych ma najwyższą wartość i zmniejsza się w miarę oddalania się od serca. Ruch krwi w tętnicach jest wywołany skurczem serca i dlatego trójwarstwowe ściany tętnic są elastyczne i mocne (zawierają grubą warstwę tkanki łącznej), aby wytrzymać wysokie ciśnienie krwi (**ryc. II.15.2.**).

W warstwie zewnętrznej znajduje się dużo włókien sprężystych, które zabezpieczają tętnice przed zapadaniem się. W środkowej części rozbudowana warstwa mięśni gładkich umożliwia zwężanie i rozszerzanie tętnic.

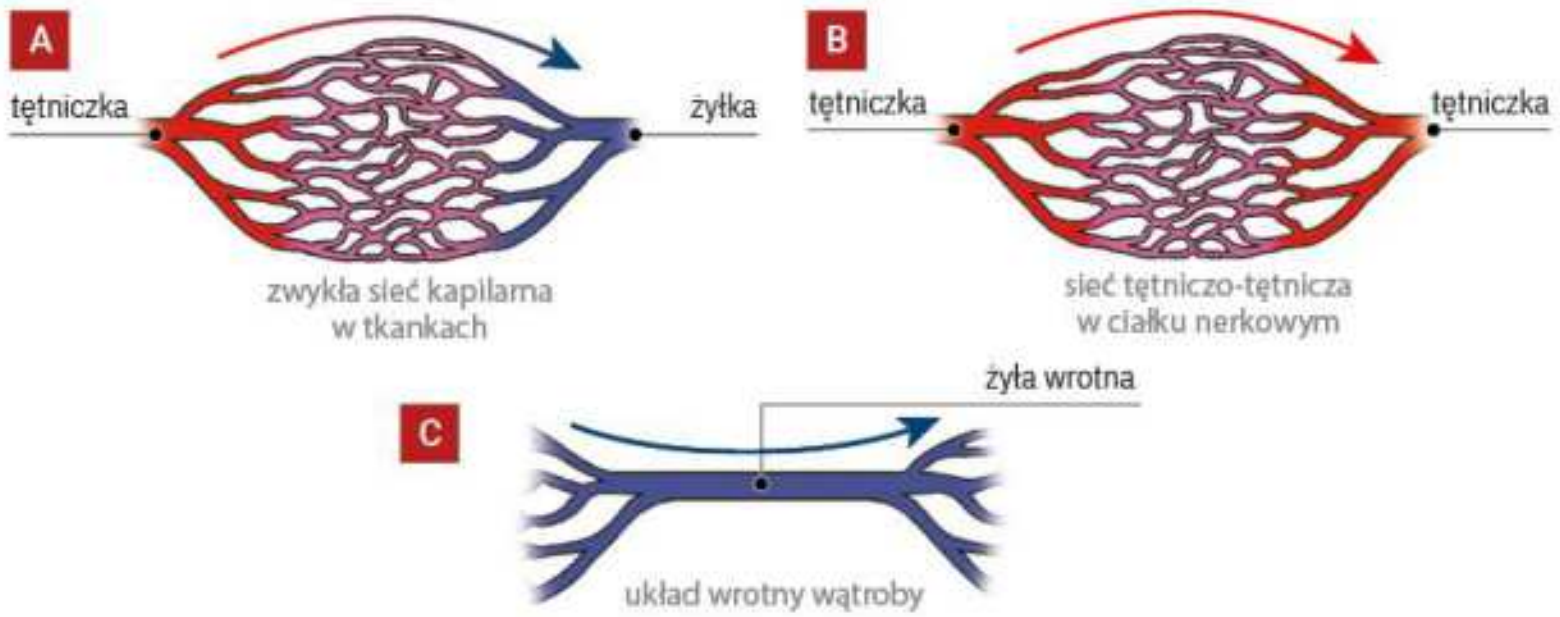
Żyłami krew wraca z tkanek do serca. Ściany żył, podobnie jak ściany tętnic, są trójwarstwowe, ale ze względu na niskie ciśnienie płynącej przez nie krwi są wiotkie i cienkie. Zawierają mniej włókien sprężystych i słabo wykształconą warstwę mięśni gładkich (**ryc. II.15.2.**). Światło żył jest większe od światła tętnic. W celu zapobiegania cofaniu się krwi w warstwie wewnętrznej ścian dużych żył powstały parzyste fałdy – tzw. **zastawki**. Ich obecność jest szczególnie ważna w żyłach kończyn dolnych, gdzie krew płynie ku górze wbrew działaniu siły ciężkości.



Ryc. II.15.2. Porównanie budowy ścian naczyń krwionośnych człowieka.

Naczynia włosowate są najmniejszymi naczyniami układu krwionośnego. Docierają one do wszystkich tkanek ciała i tworzą gęstą sieć (ok. 100 tys. km u człowieka). Największa odległość naczynia od komórki nie przekracza 25 µm, a ich średnica jest niewiele większa od średnicy przepływających w nich erytrocytów. Ściany naczyń włosowatych buduje jedna warstwa płaskich komórek **śródbłonka**. Są one cienkie, a krew przepływa bardzo powoli, co stanowi przystosowanie do pełnionej funkcji.

W niektórych narządach naczynia włosowate mogą tworzyć specyficzne sieci **naczyń włosowatych** (**ryc. II.15.3.**).



Ryc. II.15.3. Rodzaje sieci naczyń włosowatych człowieka: tętniczo-żylne – zaczynają się na końcach tętnic, czyli tętniczek, i łączą się z początkowymi odcinkami żył – żyłkami; są najczęściej występującymi połączeniami naczyniowymi w organizmie (A); tętniczo-tętnicze (tzw. sieci dziwne) – łączą dwie tętniczki w nerkach (B); żylno-żylne (tzw. układy wrotne) – sieć naczyń włosowatych dwóch narządów połączona jednym naczyniem (sieć jelita cienkiego łączy się żyłą wrotną z siecią wątroby, C).

Szybkość przepływu krwi przez naczynia jest odwrotnie proporcjonalna do łącznej powierzchni przekroju poprzecznego przez wszystkie naczynia w danym miejscu. W związku z tym przez aortę i duże tętnice płynie krew szybko, następnie zwalnia w najmniejszych tętniczkach – arteriolach, a najwolniej płynie w naczyniach włosowatych.

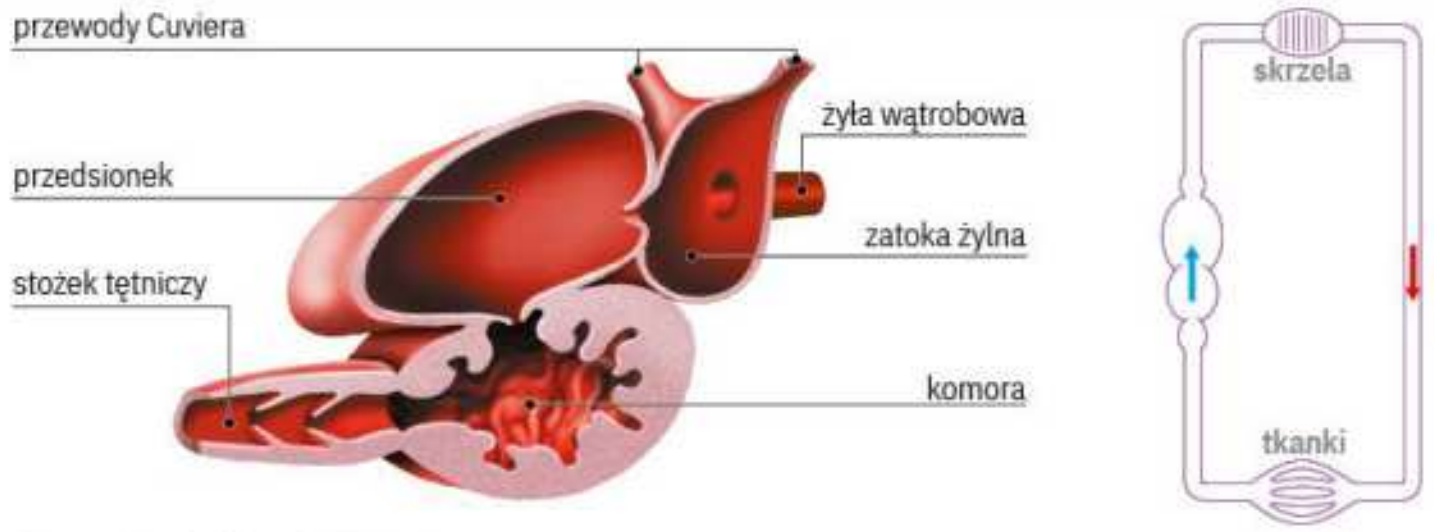
Ewolucja układu sercowo-naczyniowego kręgowców

układ sercowo-naczyniowy

Zamknięty układ krążenia kręgowców i człowieka jest nazywany **układem sercowo-naczyniowym**. Mimo podobnego planu budowy układy krążenia kręgowców uległy ewolucyjnym modyfikacjom. Powstanie płuc i przejście do lądowego trybu życia spowodowało, że niektóre kręgowce stały się aktywnymi stałocieplnymi zwierzętami o szybkim metabolizmie. Serce kręgowców jest zbudowane z jednego przedsionka lub dwóch przedsionków i jednej komory lub dwóch komór. Do przedsionków krew dociera żyłami z tkanek ciała i z płuc, a komory przepompowują krew tętnicami do tkanek ciała i płuc. Serce działa na zasadzie **pompy komorowej**, w której rytmiczne skurcze ścianek wypychają krew w jednym kierunku. Obecność zastawek zapobiega cofaniu się krwi.

serce ryb

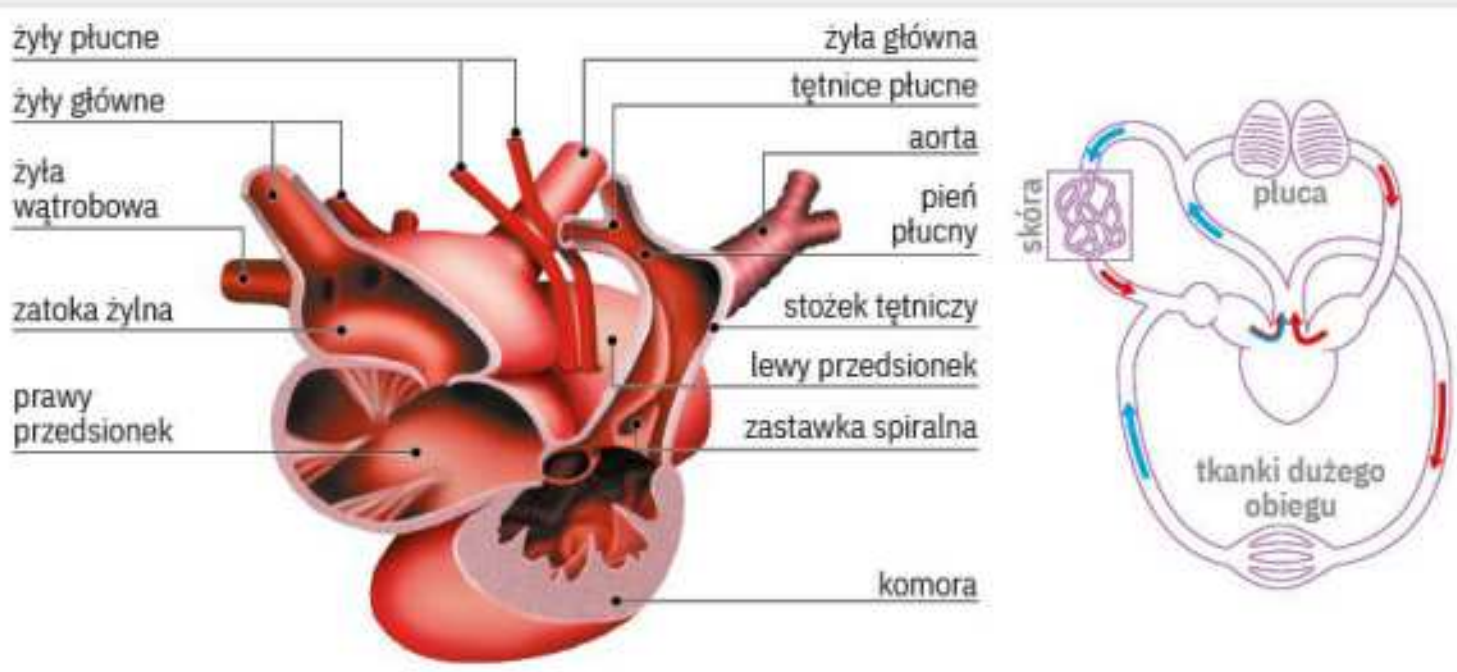
U ryb serce jest zbudowane z jednego przedsionka i jednej komory. Przez serce przepływa krew odtlenowana, tylko raz podczas jednego obiegu. Krew w wyniku skurczu przedsionka przepływa do komory, z której płynie do skrzeli. Tam ulega utlenieniu i następnie przepływa do poszczególnych narządów ryby. Po wymianie gazowej krew powraca do serca do zatoki żylnej, a z niej przepływa do przedsionka serca. Taki obieg krwi nazywa się **obiegiem pojedynczym**.



Ryc. II.15.4. Układ krążenia ryb.

serce płazów

U płazów krew krąży w **dwóch obiegach: płucnym** (małym) i **ustrojowym** (dużym). Krew utlenowana i odtlenowana zostają częściowo rozdzielone. Serce płazów jest zbudowane z dwóch przedsionków i jednej komory. W obiegu płucnym krew z komory serca tętnicą płucną przepływa do płuc, gdzie natlenia się i wraca żyłami płucnymi do lewego przedsionka, a z niego przepływa do komory. W obiegu ustrojowym krew z komory płynie do aorty, która rozgałęzia się na mniejsze naczynia docierające do poszczególnych części ciała. Z ciała po wymianie gazowej krew od-



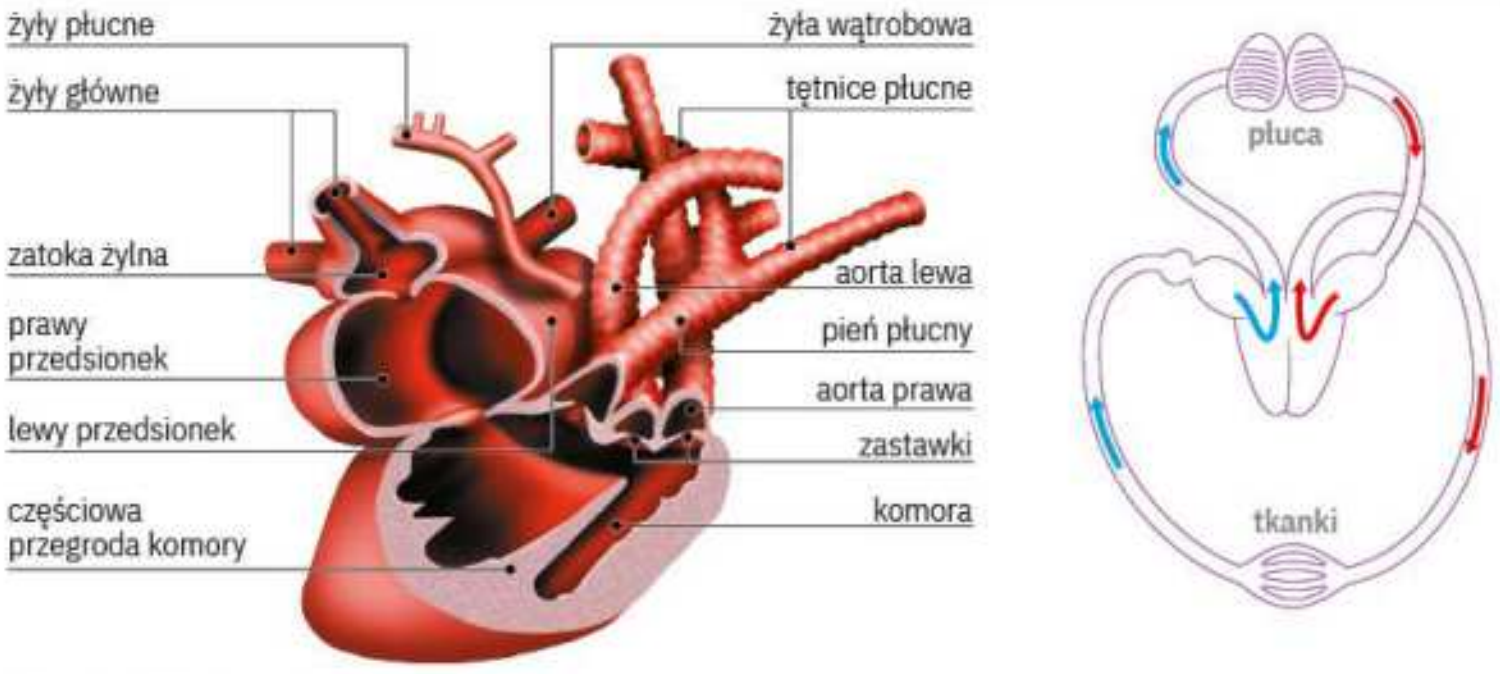
Ryc. II.15.5. Układ krążenia płazów.

tlenowana żyłami wraca do zatoki żylnej, skąd jest prowadzona do prawego przedsionka, a następnie do komory. Krew odtlenowana opuszcza komorę pierwsza i dostaje się do stożka tętniczego, w którym znajduje się zastawka zapobiegająca mieszaniu się krwi. Krew odtlenowana płynie do obiegu płucnego w płucach i w skórze. **Obieg skórny** jest wykorzystywany przez płazy podczas długiego nurkowania. Jeśli nie mogą zaczerpnąć powietrza, zwiększają przepływ krwi w skórze, ograniczając przepływ krwi w płucach. Tak zachowują się płazy w wodzie dobrze natlenionej. Jeżeli w wodzie jest małe stężenie tlenu, płazy za pomocą nozdrzy ze-

wnętrznych pobierają powietrze atmosferyczne dzięki zwiększonemu przepływowi krwi przez płuca.

serce gadów

U gadów krew krąży w dwóch obiegach. Ich działanie jest usprawnione obecnością **niepełnej przegrody** w komorze serca. Zatoka żylna jest bardzo zmniejszona i wpływa do niej krew wracająca z ustrojowego obiegu krwi. Stożek tętniczy rozdzielił się na dwa naczynia: tętnicę płucną i aortę. Aorta dzieli się na łuki prawy i lewy. W łuku prawym płynie krew utlenowana, a w lewym – krew mieszana. U niektórych gadów, np. aligatorów i kajmanów, przegroda w komorze serca jest całkowita, jednak mieszanie krwi utlenowanej i odtlenowanej zachodzi w miejscu, w którym tętnice opuszczają serce. Takie połączenie pozwala krokodylom zanurzonym pod powierzchnią wody regulować przepływ większej części krwi z krążenia płucnego na ustrojowe.

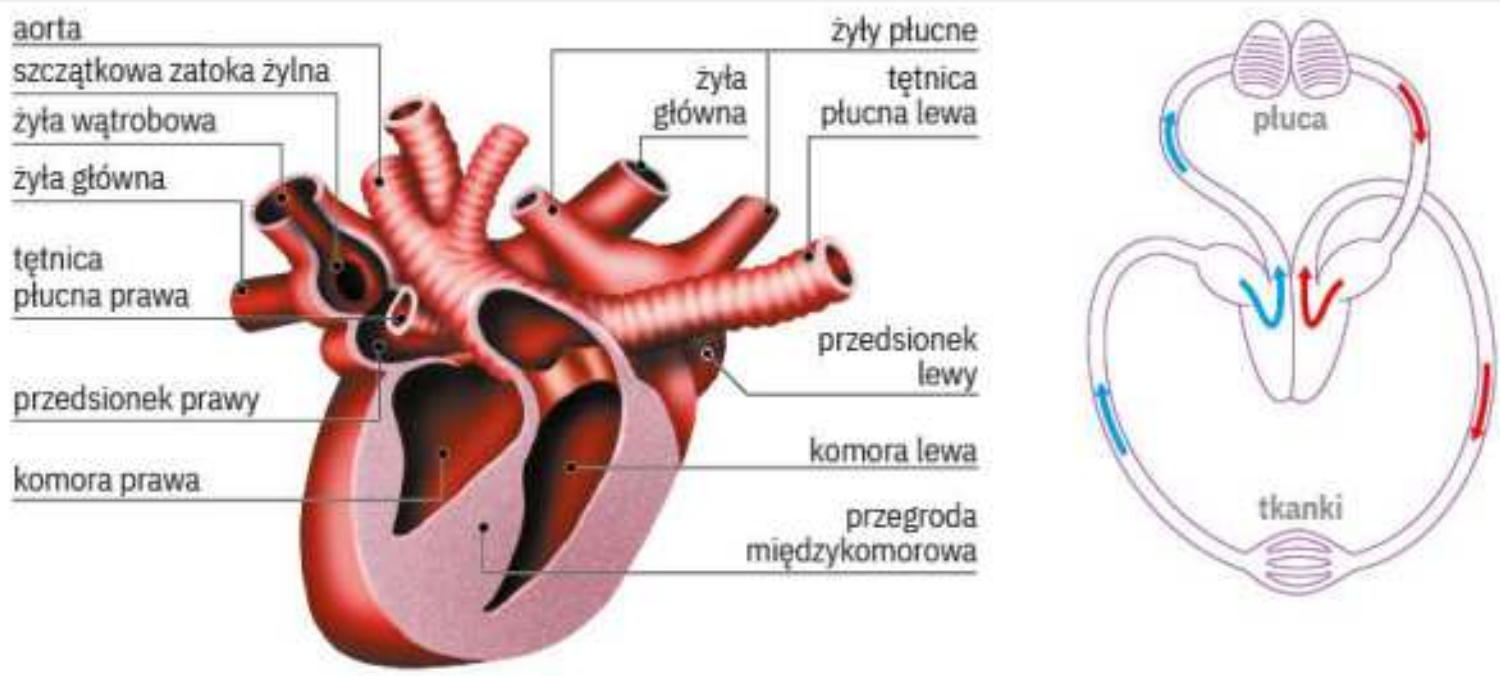


Ryc. II.15.6. Układ krążenia gadów.

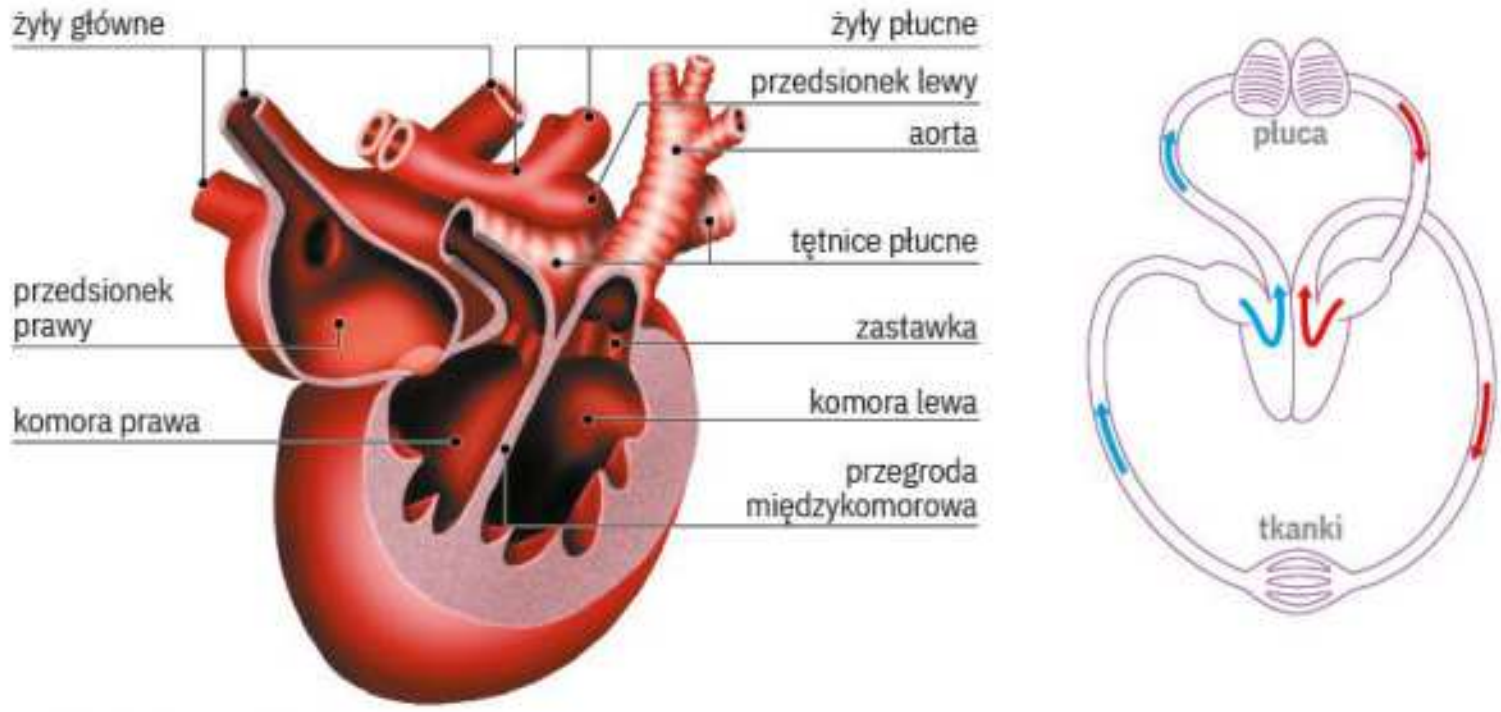
serce ptaków i ssaków

U ptaków i ssaków przegroda w komorze serca jest pełna. Serce składa się z dwóch przedsionków i dwóch komór. Obecność przegrody międzykomorowej zapobiega mieszaniu się krwi tętniczej z krwią żylną. Do lewej strony serca dopływa krew utlenowana i taka krew zostaje tam przepompowana, a prawa strona serca otrzymuje krew odtlenowaną i taką dalej przepompowuje. **Stożek tętniczy** w sercu uległ rozdzieleniu – dał początek największej tętnicy – aorcie – i pniowi płucnemu. Z dwóch łuków aorty występujących w sercu gadów i ptaków pozostał tylko **łuk prawy**, a u ssaków – **lewy**. W sercu ptaków i ssaków zanika zatoka żylna – pozostałością po niej jest węzeł zatokowo-przedsionkowy. U ssaków u nasady aorty i tętnicy płucnej występują zastawki półksiężycowate, w prawej części serca znajduje się zastawka trójdzielna, a w lewej – dwudzielna. Zastawki zapewniają jednostronny ruch krwi w sercu. Duża wydajność układu krążenia ssaków wynika także z małych rozmiarów erytrocytów, które są pozbawione jądra komórkowego, co usprawnia transport tlenu. Dzięki rozdzieleniu serca pełną przegrodą krew dwukrotnie przepływa przez narząd podczas obiegu. Ze względu na taką budowę serca ptaki i ssaki mają wyższe ciśnienie w obiegu ustrojowym niż w płucnym. Usprawnia to transport

gazów oddechowych i substancji odżywczych po całym organizmie. Pozwala to zwierzętom osiągnąć wysokie tempo metabolizmu oraz utrzymać stałocieplność.



Ryc. II.15.7. Układ krążenia ptaków.



Ryc. II.15.8. Układ krążenia ssaków.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Porównaj sprawność transportu wewnętrznego u bezkręgowców i kręgowców.
2. Wyjaśnij różnice między układem krążenia otwartym i zamkniętym.
3. Wytłumacz, jaki związek ma budowa serca z tempem przemian metabolicznych u lądowych kręgowców.
4. Porównaj budowę tętnic, żył i naczyń włosowatych z pełnioną funkcją.

PODSUMOWANIE LEKCJI

- Transport wewnętrzny u niewielkich, prosto zbudowanych zwierząt, takich jak gąbki, parzydełkowce, płazińce, zachodzi na drodze **dyfuzji**. ◂ s. 226
- Większe zwierzęta wykształciły **układy krążenia** zbudowane z serca i systemu naczyń krwionośnych, w których krąży krew. ◂ s. 226
- Większość mięczaków i stawonogi mają **układ krążenia otwarty**, w którym krew wylewa się do jamy ciała i ma bezpośredni kontakt z tkankami. ◂ s. 227
- Niektóre bezkręgowce i wszystkie kręgowce mają **układ krążenia zamknięty**, w którym krew krąży w naczyniach krwionośnych. ◂ s. 227
- **Tętnicami** krew płynie z serca do tkanek, a **żyłami** – odwrotnie. **Naczynia włosowate** mają cienkie ściany i umożliwiają wymianę substancji i gazów oddechowych między krwią a komórkami ciała. ◂ s. 228
- **Serce ryb** składa się z jednej komory i jednego przedsionka. Krew płynie w pojedynczym obiegu. ◂ s. 229
- **Serce płazów** tworzą dwa przedsionki i jedna komora. Krew płynie w podwójnym obiegu i część odtlenowana miesza się częściowo z utlenowaną. ◂ s. 230
- **U gadów** komora serca jest podzielona niepełną przegrodą. ◂ s. 231
- **Serce u ptaków i ssaków** jest podzielone całkowitą przegrodą na cztery części. U tych zwierząt nastąpiło całkowite rozdzielenie krwi utlenowanej z odtlenowaną. ◂ s. 231

16. Serce człowieka i krążenie krwi

NA TEJ LEKCJI:

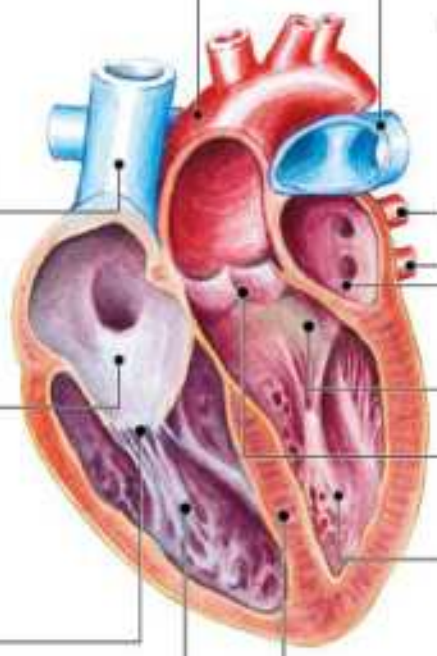
- poznasz budowę serca człowieka;
- zapoznasz się z automatyzmem pracy serca;
- dowiesz się, jaki związek istnieje między stylem życia a chorobami układu krążenia;
- prześledzisz krążenie w obiegu ustrojowym i płucnym;
- przeanalizujesz budowę układu limfatycznego.

Budowa serca

Serce leży w środkowej części klatki piersiowej. U dorosłego człowieka jest narządem o kształcie stożka i wielkości zaciśniętej pięści, o przeciętnej masie 0,5 kg. Serce otacza zbudowane z tkanki łącznej **osierdzie**. Ściana zewnętrzna osierdzia to **nasierdzie**, środkowa, tworząca mięsień serca – **śródsierdzie**, a wewnętrzna – **wsierdzie**. Wnętrze serca składa się z czterech jam: prawego i lewego przedsionka

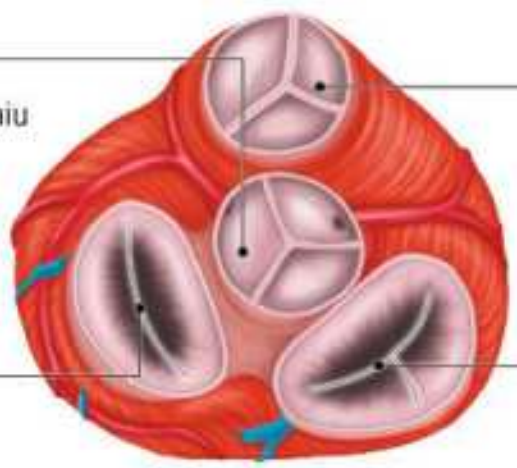
◂ serce

oraz prawej i lewej komory (**ryc. II.16.1.**). Przedsionki oddziela od siebie przegroda międzyprzedsionkowa, a komory – przegroda międzykomorowa. W przegrodach nie ma otworów, co powoduje, że krew przepływająca przez część lewą i prawą serca się nie miesza.



Ryc. II.16.1. Schemat budowy serca.

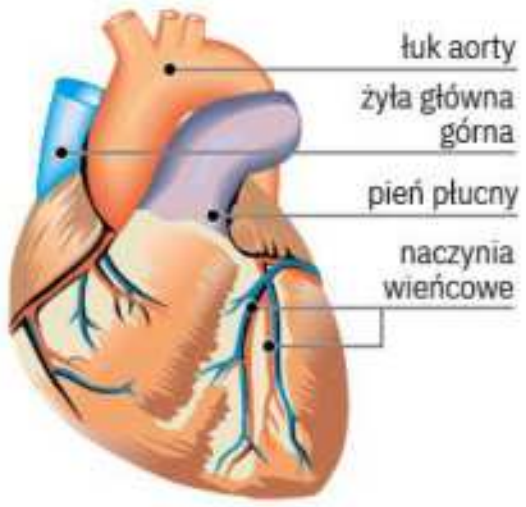
Na granicy między komorami serca a wychodzącymi z nich naczyniami krwionośnymi znajdują się zastawki, które zapobiegają cofaniu się krwi w czasie rozkurczu do komór (**ryc. II.16.2.**).



Ryc. II.16.2. Schemat zastawek serca.

Serce ma własny system naczyń krwionośnych, tzw. system naczyń wieńcowych (**ryc. II.16.3.**).

Zadaniem jest zaopatrzenie serca w krew. Tętnice wieńcowe, odgałęziające się od aorty w postaci drobnych naczyń, doprowadzają krew utlenowaną i substancje odżywcze w głąb mięśnia serca. Natomiast żyły wieńcowe odprowadzają krew odtlenowaną i zbędne produkty przemiany materii do prawego przedsionka serca.



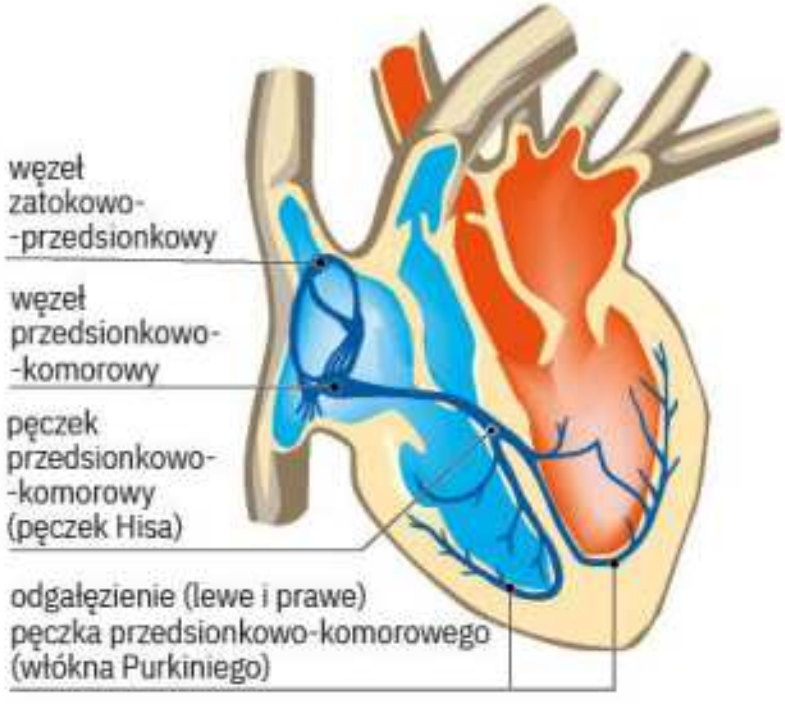
Ryc. II.16.3. Schemat naczyń wieńcowych serca.

Układ przewodzący serca

Swoistą cechą serca jest zdolność do wykonywania samoistnych, rytmicznych skurczów. Są one wynikiem powstających w sercu impulsów niezwiązanych z pobudzeniem nerwowym. Zjawisko to nosi nazwę **automatyzmu serca**. Jest ono możliwe dzięki układowi bodźcoprzewodzącemu serca, który tworzą specjalnie zmodyfikowane włókna mięśniowe. Włókna tworzą ośrodki automatyzmu serca: **węzeł zatokowo-przedsionkowy, węzeł przedsionkowo-komorowy i pęczek przedsionkowo-komorowy** (**ryc. II.16.4.**).

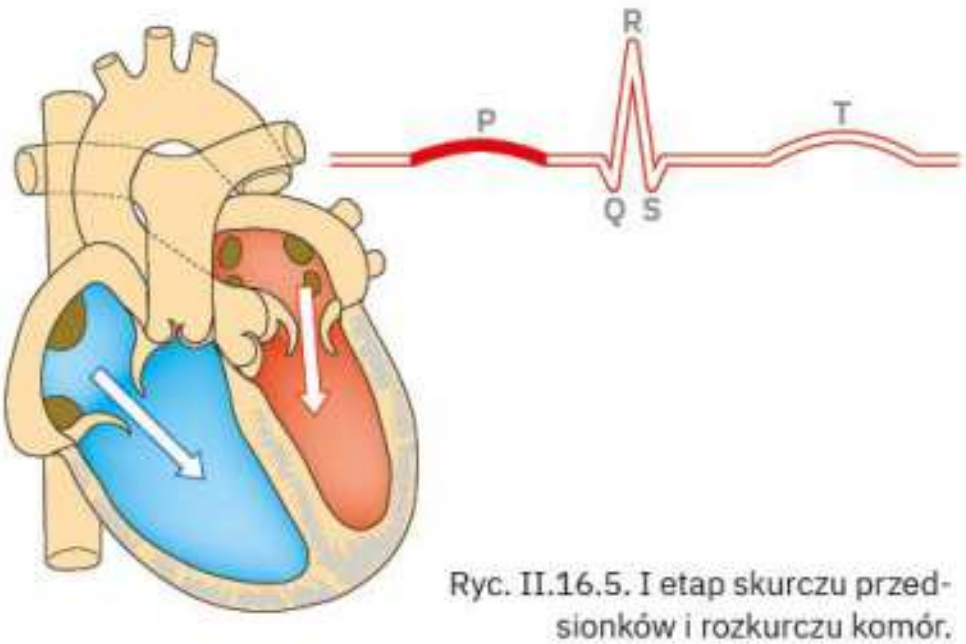
◂ **automatyzm serca**

Ryc. II.16.4. Rozmieszczenie ośrodków bodźco-przewodzących w sercu. Nadrzędną funkcję spełnia węzeł zatokowo-przedsionkowy, który określa rytm serca, w nim znajduje się rozrusznik serca. Wytworzone pobudzenie przechodzi do następnego węzła znajdującego się między prawym przedsionkiem a prawą komorą i dalej rozchodzi się do pęczka przedsionkowo-komorowego rozdzielającego się na prawą i lewą gałąź biegnącą wzdłuż przegrody międzykomórkowej do koniuszka serca. W ścianach komór gałęzie rozdzielają się na drobne włókna, które pobudzają komory do skurczu.

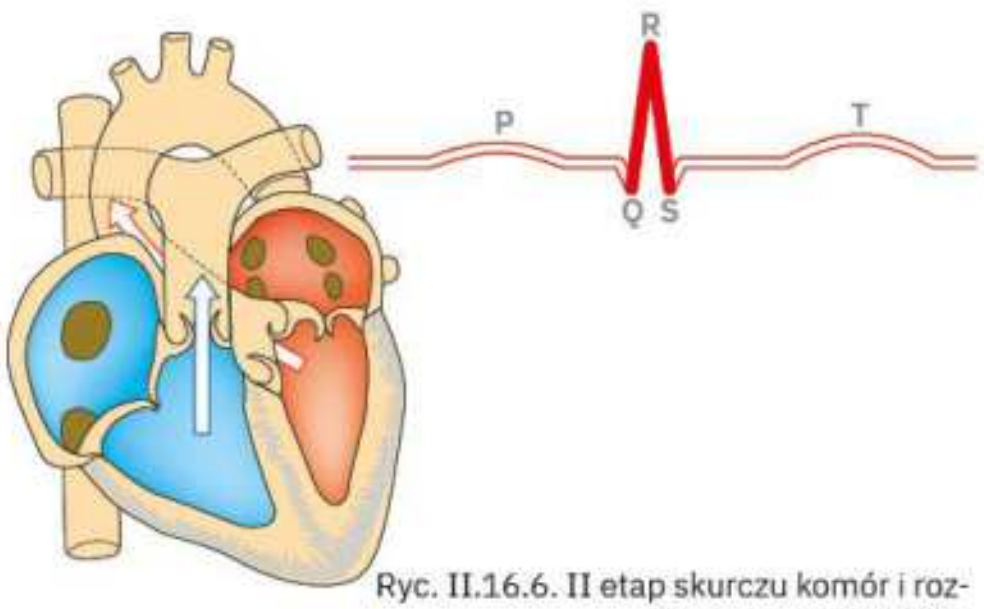


Węzeł zatokowo-przedsionkowy znajduje się pod kontrolą autonomicznego układu nerwowego i układu hormonalnego. W sytuacji stresu, wysiłku fizycznego, wzrostu temperatury ciała czy bardzo silnych emocji tempo pracy serca wzrasta, natomiast podczas snu czy relaksu serce spowalnia swoją pracę. Uszkodzenia ośrodków automatyzmu lub ich zaburzenia można niwelować dzięki wszczepieniu **rozrusznika serca** (elektryczne urządzenie wszczepione pod skórę w klatce piersiowej).

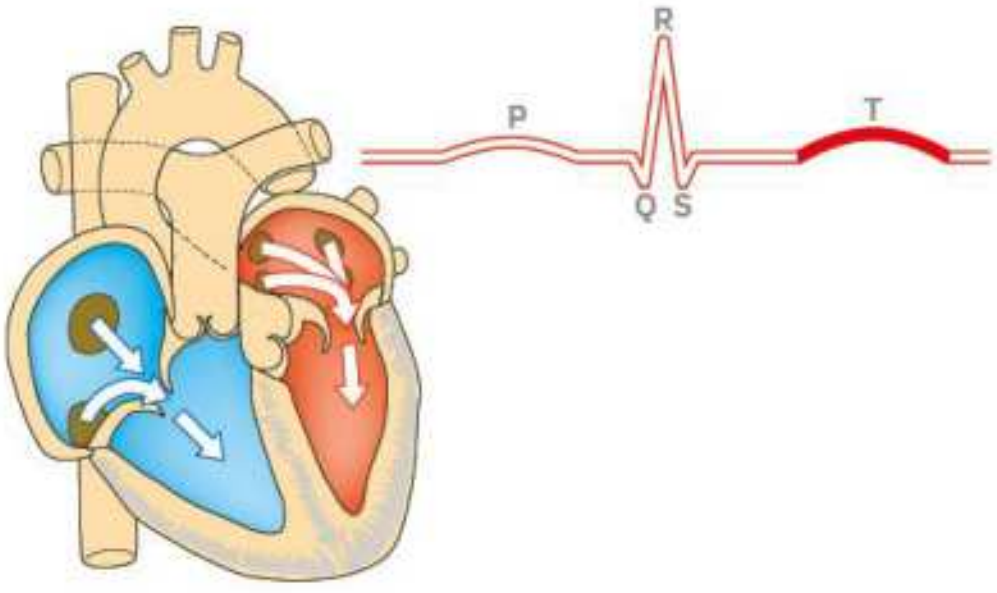
Cykl pracy serca



Ryc. II.16.5. I etap skurczu przedsionków i rozkurczu komór.



Ryc. II.16.6. II etap skurczu komór i rozkurczu przedsionków.



Ryc. II.16.7. III etap rozkurczu serca.

Cykl pracy serca to cyklicznie następujące skurcze i rozkurcze rozdzielone od siebie krótkim okresem spoczynku. U dorosłego człowieka w stanie spoczynku pojedynczy cykl trwa około 0,85 s i składa się z trzech etapów.

I etap skurczu przedsionków i rozkurczu komór (0,15 s) – krew z przedsionków przepływa do komór przez otwarte zastawki przedsionkowo-komorowe.

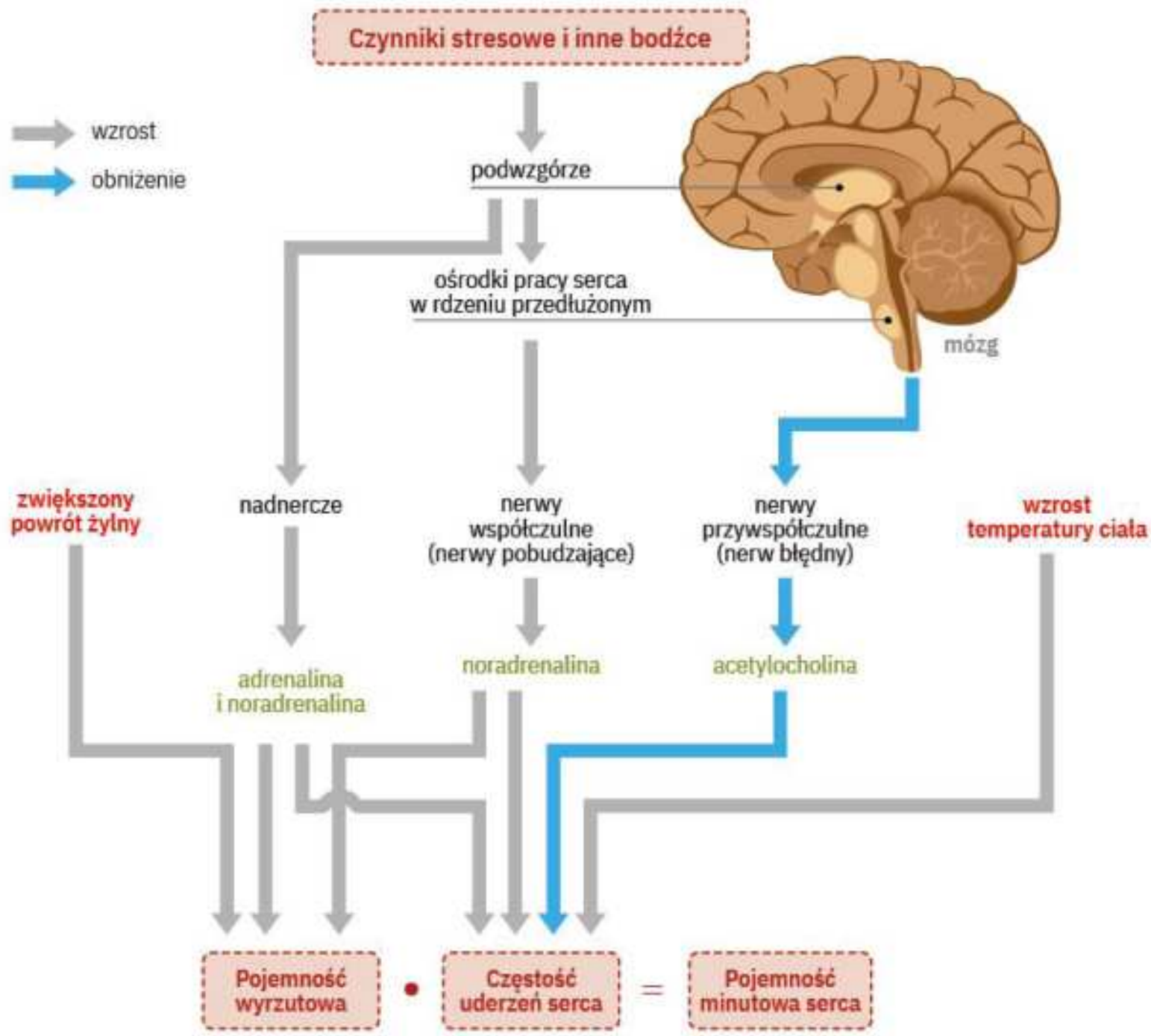
II etap skurczu komór i rozkurczu przedsionków (0,3 s) – wzrasta ciśnienie w komorach i zamykają się zastawki przedsionkowo-komorowe. Wywołuje to odgłos słyszany jako **pierwszy ton serca**. Kiedy ciśnienie krwi w komorach osiągnie większą wartość niż w tętnicach, otwierają się zastawki półksiężycowate i krew opuszcza serce. Komory rozkurczają się, a gdy ciśnienie spadnie poniżej wartości ciśnienia krwi w tętnicach, następuje zamykanie zastawek półksiężycowatych, co słyszymy jako **drugi ton serca**.

III etap rozkurczu serca (0,4 s) pauzy lub spoczynku – rozkurczają się przedsionki i komory. Zastawki przedsionkowo-komorowe otwierają się i krew napływa do przedsionków i komór. Szmer wywoływany napływem krwi do serca nazywamy **trzecim tonem serca** (jest najsłabiej wyczuwalny).

Ilość krwi wyrzucanej z lewej komory w ciągu minuty nosi nazwę **pojemności minutowej**. Jest ona zależna od **pojemności wyrzutowej serca** (ilości krwi wyrzucanej podczas jednego skurczu) oraz **częstości akcji serca** (liczby uderzeń serca w ciągu minuty):

pojemność minutowa serca = pojemność wyrzutowa serca x częstość akcji serca

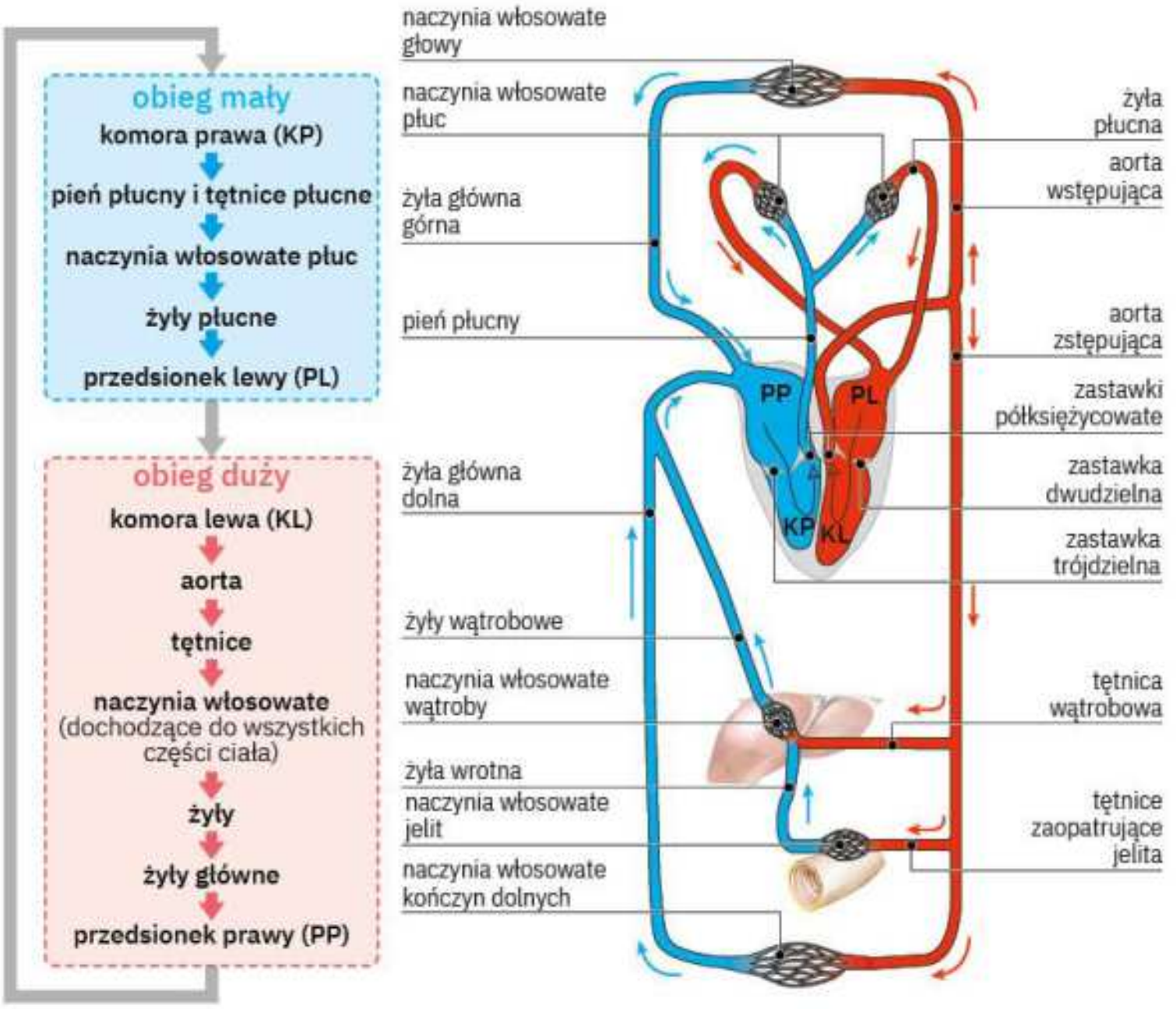
Mimo że serce pracuje niezależnie i samodzielnie jest regulowane przez układ nerwowy i hormonalny (**ryc. II.16.8.**).



Ryc. II.16.8. Regulacja hormonalna i nerwowa pracy serca. Ośrodek regulacji pracy serca w rdzeniu przedłużonym jest pobudzany przez receptory w niektórych ścianach naczyń krwionośnych i serca, odbierające zmiany ciśnienia krwi. Ośrodek steruje pracą układu autonomicznego – części współczulnej i przywspółczulnej. Zakończenia nerwów współczulnych wydzielają acetylocholinę, która spowalnia pracę serca. Zakończenia nerwów współczulnych uwalniają noradrenalinę – ta substancja przyspiesza pracę serca. W sytuacjach stresowych nadnercza uwalniają adrenalinę i noradrenalinę, które przyspieszają akcję serca. Podobnie działa wysoka temperatura.

krążenie krwi ▸ **Krążenie krwi**

W układzie krwionośnym krew krąży w krwiobiegu dużym i małym (**ryc. II.16.9.**).



Ryc. II.16.9. Schemat krążenia krwi w krwiobiegu dużym i małym.

krwiobieg duży ▸ **W krwiobiegu dużym** krew utlenowana tętnicami przepływa z serca do wszystkich komórek organizmu, a z powrotem odtlenowana wraca żyłami z tkanek do serca. Krwiobieg rozpoczyna się w lewej komorze serca, z której krew jest wtłaczana do aorty, przepływa przez wszystkie narządy i po wymianie gazowej (oddaje tlen, a pobiera dwutlenek węgla) w tkankach wraca do prawego przedsionka serca. Krwiobieg ten umożliwia dostarczenie tlenu do wszystkich komórek oraz usunięcie z nich

krwiobieg mały ▸ dwutlenku węgla i produktów przemiany materii. **W krwiobiegu małym** krew odtlenowana dociera systemem tętnic płucnych do płuc i po wymianie gazowej – utlenowana – wraca żyłami płucnymi z płuc do serca. Krwiobieg rozpoczyna się w prawej komorze serca, z której krew płynie do płuc, gdzie oddaje dwutlenek węgla, pobiera tlen i po wymianie gazowej wraca do lewego przedsionka serca. Krwiobieg mały umożliwia wymianę gazową w płucach i utlenowanie krwi.

Styl życia a choroby układu krążenia

choroby układu krążenia

Chorobom układu krążenia sprzyjają m.in. nieprawidłowa dieta bogata w nasycone kwasy tłuszczowe i cukry proste (potrawy smażone, słodycze, fast foody, czerwone mięso), palenie papierosów, niedostateczne spożycie aminokwasów i soli mineralnych, cukrzyca, otyłość, nadciśnienie tętnicze, długotrwałe napięcie nerwowe oraz brak aktywności fizycznej.

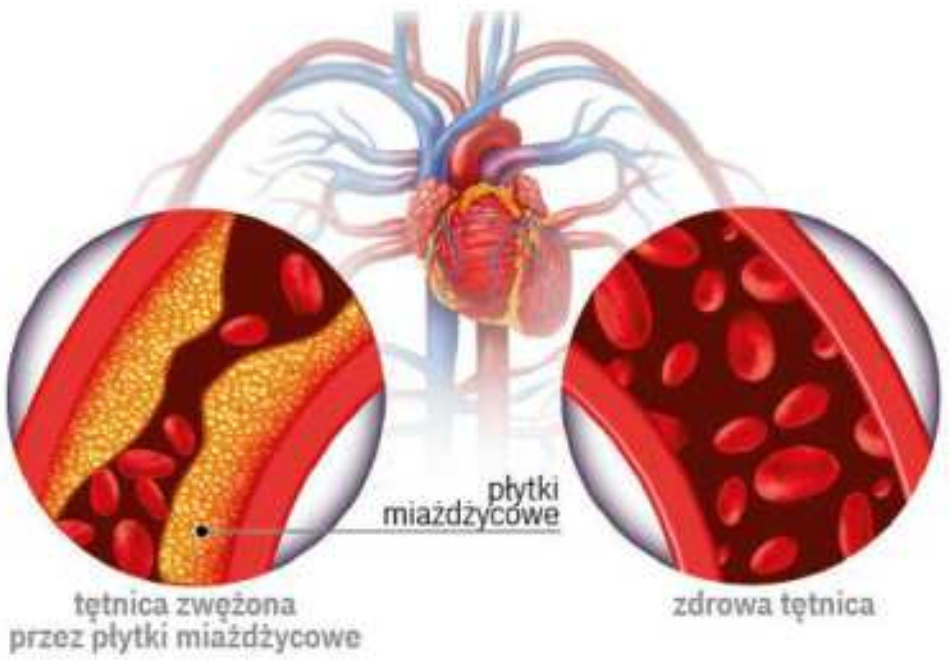
Jeśli przez dłuższy czas ciśnienie skurczowe utrzymuje się na poziomie około **140 mm Hg** i wyższym, a rozkurczowe przekracza 80 mm Hg, to może to świadczyć o **nadciśnieniu tętniczym.** Ciśnienie tętnicze krwi wzrasta wraz z wiekiem. U osób starszych ściany dużych naczyń krwionośnych stają się mniej elastyczne, co może spowodować fizjologiczną wyższą wartość ciśnienia. Nadciśnienie tętnicze zwiększa ryzyko wystąpienia zawału serca, udaru mózgu, zaburzeń pracy nerek, nieodwracalnych zmian wzroku prowadzących do ślepoty. W związku z tak poważnymi konsekwencjami nadciśnienia tętniczego należy regularnie wykonywać ćwiczenia fizyczne, nie palić papierosów, stosować dietę ubogą w sól i unikać stresu. Pomiar ciśnienia krwi i tętna wykonujemy za pomocą **ciśnieniomierza** (**ryc. II.16.10.**).

nadciśnienie tętnicze

Ryc. II.16.10. Pomiar ciśnienia krwi i tętna aparatem elektronicznym.

Miażdżyca tętnic (**arterioskleroza**) jest spowodowana powstawaniem pokładów lipidów (zwłaszcza cholesterolu) i wapnia na wewnętrznych ścianach tętnic. Szczególnie niebezpieczny jest **cholesterol** – związek tłuszczowy produkowany przez organizm (wątroba produkuje go ok. 2 g na dobę), ale w dużej ilości dostarczany także z pokarmem. Jeśli stężenie cholesterolu we krwi jest wysokie (zwłaszcza tego o niskiej gęstości, czyli LDL), to odkłada się on w ścianach tętnic w postaci tzw. złogów, inaczej nazywanych **blaszkami miażdżycowymi.** Blaszki zwężają i usztywniają ściany tętnic, najczęściej wieńcowych serca, szyjnych zaopatrujących mózg w krew oraz doprowadzających krew do nóg. Proces ten jest nazywany miażdżycą (**ryc. II.16.11.**). Prowadzi ona do powikłań – zawału mięśnia serca i udaru mózgu.

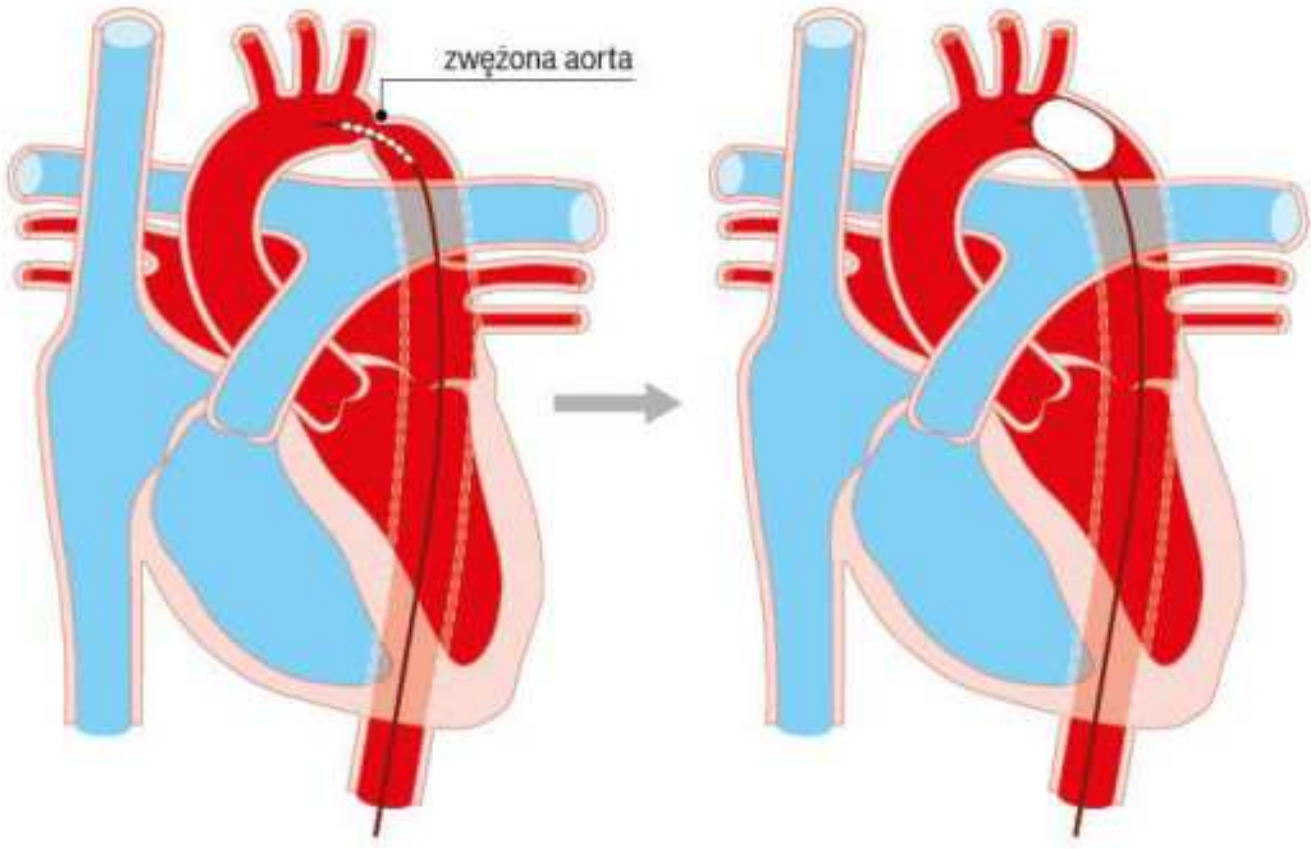
cholesterol



Ryc. II.16.11. Porównanie światła zdrowej tętnicy i tętnicy zmienionej na skutek miażdżycy.

Czynnikami zwiększającymi ryzyko wystąpienia miażdżycy oprócz predyspozycji genetycznych są: dieta bogata w nasycone kwasy tłuszczowe i cukry, palenie tytoniu, starszy wiek, płeć męska, stres i niektóre choroby, takie jak: cukrzyca, nadciśnienie tętnicze, otyłość. Do najczęściej stosowanej diagnostyki miażdżycy należy badanie stężenia trójglicerydów i cholesterolu we krwi. Ponadto wykonuje się **tomografię komputerową serca, USG tętnic, koronarografię** (działanie kontrastu, który pozwala oglądać zmienione tętnice wieńcowe za pomocą promieniowania rentgenowskiego) oraz **scyntygrafię** (badanie z wykorzystaniem izotopu, który przepływając z krwią przez tętnice wieńcowe, jest wychwytywany przez serce, a miejsca jego braku wskazują na upośledzenia).

Leczenie miażdżycy polega przede wszystkim na stosowaniu leków obniżających ciśnienie i krzepliwość krwi oraz poziom cholesterolu we krwi. Przeprowadza się także w ramach leczenia zabiegi chirurgiczne, w tym **angioplastykę** (balonikowanie – rozpychanie i kruszenie złogów cholesterolu balonikiem), **stenty** (umieszczanie we wnętrzu tętnicy krótkiej protezy naczyniowej w kształcie walca zapobiegającej odkładaniu się blaszki miażdżycowej) oraz **by-passy** (czytaj: bajpasy; pomostowanie, wszczepienie fragmentu zdrowej żyły, np. z nogi pacjenta, aby omijała zmianę miażdżycową) (**ryc. II.16.12.**).



Ryc. II.16.12. Angioplastyka aorty przez balonikowanie.

W zwalczaniu miażdżycy bardzo ważna jest profilaktyka. Do najważniejszych zaleceń profilaktycznych należą: prowadzenie aktywnego trybu życia, ograniczenie spożywania nasyconych kwasów tłuszczowych i cukrów prostych (czerwone mięso, fast foody, słodycze, smażone potrawy), zrównoważona dieta bogata w sole mineralne, aminokwasy i witaminy, niepalenie papierosów. Jeśli przez zwężone

tętnice wieńcowe nie dopływa odpowiednia ilość krwi do serca, następuje jego niedotlenienie i niedokrwienie. Prowadzi to do choroby niedokrwiennej serca, zwanej także **dusznicą bolesną** ze względu na silny ból w klatce piersiowej (za mostkiem) i duszności pojawiające się podczas wysiłku czy w sytuacji stresowej. Do mięśnia serca nie dopływa krew z tlenem i substancjami odżywczymi, przez co dochodzi do martwicy tkanek, czyli zawału. Jeśli martwica jest rozległa, to może skończyć się zgonem chorego. Inną przyczyną zawału serca jest oderwanie się blaszki miażdżycowej i przemieszczanie się jej fragmentu do naczynia wieńcowego. Powoduje to zamknięcie naczynia i pojawienie się niedokrwienia mięśnia serca. Objawami zawału są: piekący lub kłujący ból w klatce piersiowej za mostkiem, czasami promieniujący do jednej z kończyn górnych lub żuchwy, nasilający się przy oddychaniu i trwający ponad 20 minut (nieustępujący po odpoczynku czy podaniu nitrogliceryny), kołatanie serca, duszności.

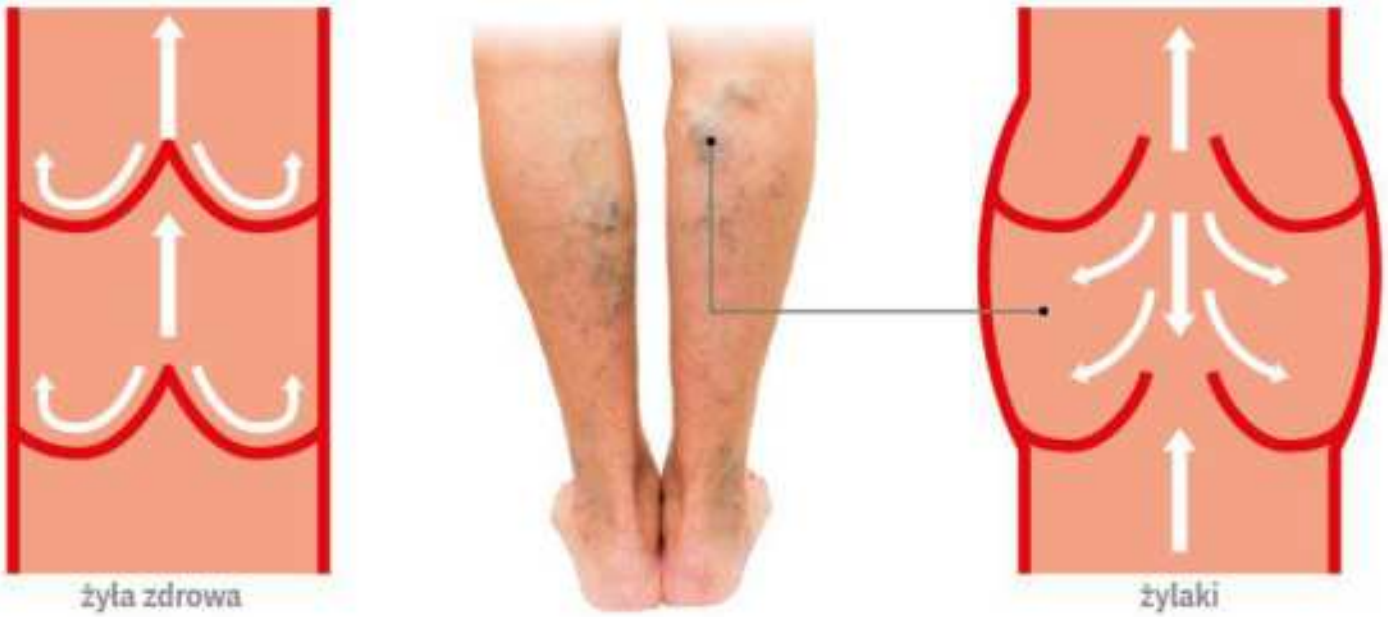
U kobiet nie zawsze występują powyższe objawy zawału. Zawał u kobiet mogą poprzedzać: objawy sugerujące grypę lub przeziębienie, bóle brzucha z wymiotami, ból ramienia lub karku promieniujący do pleców lub żuchwy, nagłe poczucie osłabienia, duszności oraz nadmierna potliwość. Bardzo często zawałowi serca towarzyszy nieuzasadniony niepokój i lęk przed śmiercią.

Wszystkie wymienione objawy powinny być wskazaniem do wezwania pomocy lekarskiej. Im wcześniej zostanie rozpoznany zawał i rozpoczęte leczenie, tym większe prawdopodobieństwo uratowania chorego. Największe szanse mają pacjenci, u których rozpoczęto leczenie w ciągu pierwszej godziny od stwierdzenia objawów.

Miażdżyca, nadciśnienie tętnicze, zator jednej z tętnic mózgu (udar niedokrwienny, zawał mózgu) czy wylew krwi z pękniętego naczynia krwionośnego (udar krwotoczny) mogą być przyczyną **udaru mózgu**. Objawami udaru są: nagłe, silne bóle głowy połączone z zaburzeniami równowagi, czucia i ruchu po jednej stronie ciała, zaburzenia mowy, wykrzywieniem twarzy po jednej stronie, widoczne opadanie kącika ust. Po stwierdzeniu tych objawów należy wezwać pomoc lekarską. Szybkie udzielenie pomocy pozwala na zahamowanie obumierania komórek mózgu, które – niedokrwione – obumierają w tempie 1,8 mln na minutę. Czynnikami zwiększającymi ryzyko wystąpienia udaru jest wiek powyżej 55 lat, płeć (częściej udar występuje u kobiet), cukrzyca, palenie papierosów, otyłość, nadużywanie alkoholu oraz czynniki genetyczne. Przyczyną chorób serca i naczyń krwionośnych mogą być zakażenia bakteryjne i wirusowe przenoszone z innych części ciała, np. stany zapalne zębów czy migdałków, infekcje dróg oddechowych, które prowadzą do stanów zapalnych mięśnia serca, jak również do uszkodzenia zastawek. Diagnostyka w przypadku udaru mózgu to wykonanie rezonansu magnetycznego, tomografii komputerowej lub angiografii tętnic mózgowych.

◂ udar mózgu

Podczas długotrwałego przebywania w pozycji stojącej, u osób z nadwagą, kobiet w ciąży czy pracujących w zawodach wymagających ciągłego przebywania w pozycji stojącej, np. sprzedawcy, nauczyciele, następuje upośledzenie odpływu krwi. W wyniku zastoju żylnego ściany żył stają się wiotkie i ulegają odkształceniu, co prowadzi do powstania **żylaków** – wyczuwalnych i widocznych pod powierzchnią skóry rozszerzeń żył w postaci balonowatych nabrzmień (**ryc. II.16.13.**).



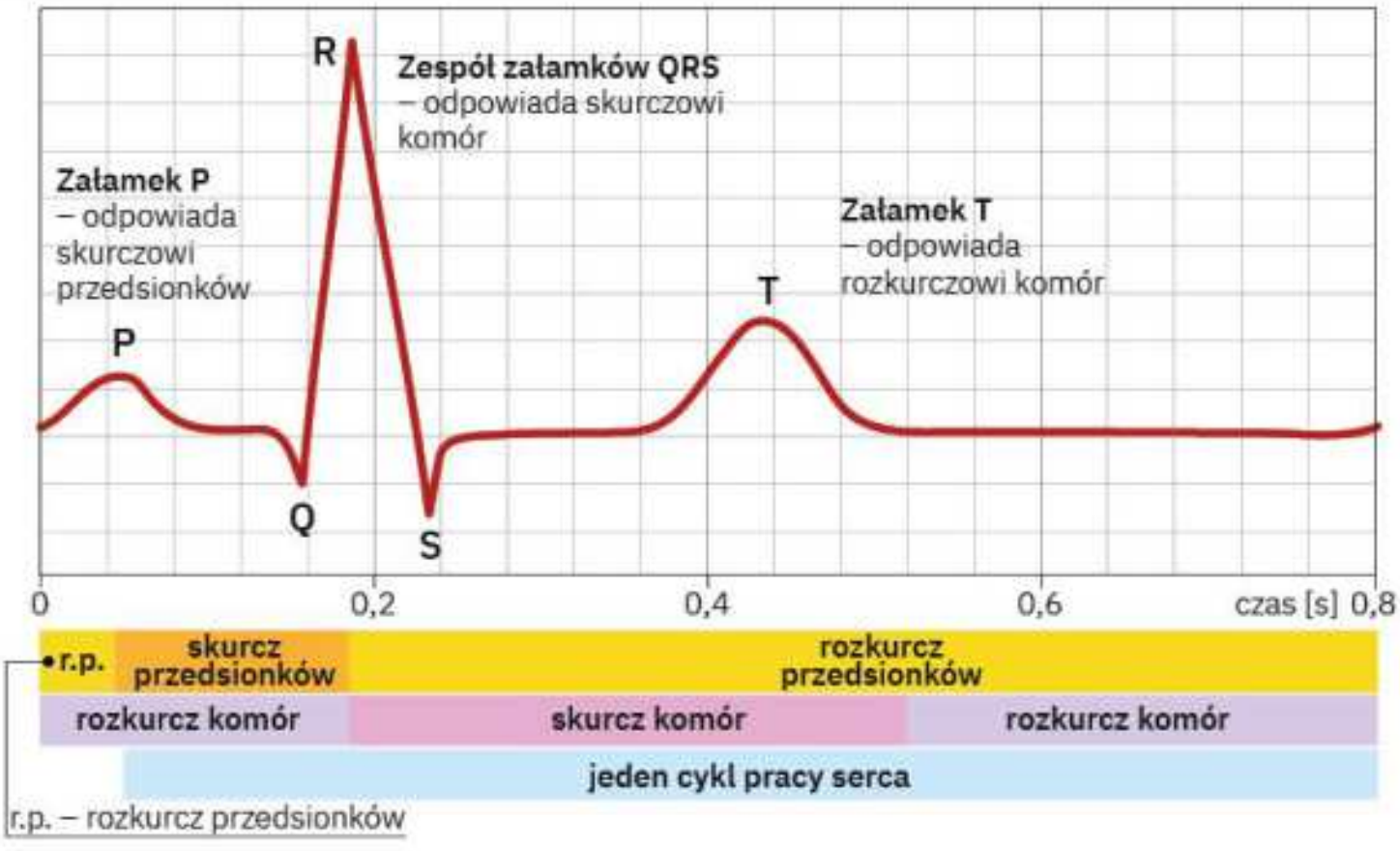
Ryc. II.16.13. Przepływ krwi w żyłach kończyn dolnych – powstawanie żylaków.

Ryzyko powstania żylaków zmniejszają czynny wypoczynek, aktywność fizyczna, stosowanie zasad zdrowego żywienia, utrzymanie prawidłowej masy ciała, a także regularne masaże nóg odprowadzające krew w stronę serca. Żylaki wykrywamy dzięki badaniu dopplerowskiemu naczyń krwionośnych czy angiografii.

Diagnostyka chorób układu krążenia

EKG – elektrokardiografia

Podczas pracy serca zachodzą zmiany potencjałów elektrycznych, które możemy wykryć w czasie badania **elektrokardiografem**. Otrzymany graficzny zapis nazywa



Ryc. II.16.14. Graficzny obraz elektrycznej aktywności mięśnia serca.

się elektrokardiogramem (EKG). Badanie jest nieinwazyjne – za pomocą elektrod przypiętych do ciała pacjenta określa się aktywność elektryczną serca. Wynik badania odczytuje się z wykresu, który pozwala na ocenę prawidłowości rytmu serca, wykrycie wad i uszkodzeń mięśnia serca u osób, które przeszły lub przechodzą zawał serca (**ryc. II.16.14.**).

Pomiar tętna

pomiar tętna

Bardzo prostym i niewymagającym aparatury badaniem pracy serca jest pomiar tętna (puls) (**ryc. II.16.15.**).

Przeciętna częstotliwość tętna:

- niemowlęta **139** uderzeń/min
- dzieci **100** uderzeń/min
- młodzież **85** uderzeń/min
- dorośli **75** uderzeń/min
- osoby starsze **60** uderzeń/min

Ryc. II.16.15. Badania tętna dokonuje się poprzez ucisk czubkami dwóch palców (bez udziału kciuka) tętnicy i liczy się liczbę uderzeń przez 1 minutę.

Tętno powstaje przez rozciąganie ścian tętnic podczas ich wypełniania krwią wyrzucaną z serca w czasie skurczu jego komór. Badamy je na wszystkich wyczuwalnych tętnicach biegnących pod powierzchnią skóry – najczęściej na tętnicy promieniowej (po wewnętrznej stronie nadgarstka). Na wzrost wartości tętna mają wpływ wysiłek lub stres. Wartość tego parametru zależy także od wieku, stylu życia czy obciążenia chorobami. Siłę, z jaką krew uderza w naczynie krwionośne, przez które płynie, nazywamy **ciśnieniem krwi**. Wartość ciśnienia wyrażamy w milimetrach słupa rtęci (mm Hg). Ciśnienie aortalne uzyskuje średnią wartość **około 120 mm Hg** w czasie skurczu lewej komory (**ciśnienie skurczowe**), a następnie spada stopniowo do **około 80 mm Hg** podczas rozkurczu komory (**ciśnienie rozkurczowe**).

ciśnienie krwi

Echo serca (USG serca)

Obok EKG podstawowym badaniem serca jest **echokardiografia** (**echo serca**). Jest to metoda nieinwazyjna badania serca wykorzystująca zjawisko echa ultradźwięków (USG). Umożliwia ona ocenę struktury anatomicznej serca, kurczliwości mięśnia sercowego, budowy i pracy zastawek, przepływu krwi w obrębie przedsionków i komór serca oraz dużych naczyń krwionośnych. Echo serca pozwala na wykrycie przebytego zawału, obecności skrzepliny czy płynu w osierdziu. Często

jest przeprowadzane u osób z podejrzeniem tętniczego nadciśnienia płucnego (**ryc. II.16.16.**).

Ryc. II.16.16. Podstawowym narzędziem diagnostycznym kardiologa jest echo serca.

W badaniach naczyń krwionośnych jest stosowane **USG dopplerowskie**. Ta metoda opiera się na rejestracji zmian częstotliwości fali dźwiękowej odbitej od przepływającej krwi. Uzyskany obraz pozwala na ocenę przepływu krwi przez naczynie oraz stopień ukrwienia narządu.

Ryc. II.16.17. Monitorowanie pracy serca metodą Holtera.

Badanie Holtera

Aby zarejestrować pracę serca przez całą dobę, stosuje się **metodę Holtera**. Pozwala ona wykryć zaburzenia, których nie pokaże ani jednorazowo wykonany elektrokardiogram, ani echo serca. Aparat do badania przypomina wyglądem walkmana (czytaj: łokmena). Umieszcza się go na pasku w talii, a pięć odchodzących od niego elektrod przykleja się wokół serca na lewej piersi. Wskazaniem do badania metodą Holtera są zaburzenia rytmu serca (kołatania, szybkie lub nierówne bicie), choroba niedokrwienna serca, omdlenia i zasłabnięcia, a także sprawdzenie pracy wszczepionego rozrusznika serca (**ryc. II.16.17.**).

Angiokardiografia

Badaniem inwazyjnym serca jest **angiokardiografia**. W tym badaniu wykorzystuje się promienie rentgenowskie i środek kontrastowy pochłaniający promienie RTG. Uzyskany obraz pozwala na ocenę kurczliwości mięśnia sercowego, zmian w tętnicach wieńcowych oraz stopień zaawansowania choroby niedokrwiennej serca. Dzięki temu badaniu można chorego skierować na zabieg **angioplastyki**, czyli poszerzania zwężonych przez blaszkę miażdżycową tętnic wieńcowych.

Morfologia krwi

Bardzo istotne dla wczesnego wykrycia wielu chorób organizmu jest wykonanie **morfologii krwi**. Na morfologię składa się ocena m.in. liczby erytrocytów (krwinek czerwonych), leukocytów (krwinek białych), krwinek płytkowych w mm^3 krwi i hematokryt (czyli procentowy udział elementów upostaciowionych – poszczególnych rodzajów krwinek – w ogólnej masie krwi), stężenie hemoglobiny i procentowy udział poszczególnych rodzajów leukocytów na podstawie ogólnej ich liczby. Analiza krwi pozwala też określić poziom cholesterolu, zawartość makroelementów i mikroelementów, a także hormonów czy enzymów. Uzyskane wyniki są porównywane z normami, a ich interpretacja powala na ocenę stanu zdrowia pacjenta przez lekarza. Wartości poszczególnych parametrów zależą m.in. od wieku, płci czy przyjmowanych leków.

Układ limfatyczny

układ limfatyczny

Układ limfatyczny pełni trzy ważne funkcje w organizmie: transportowe oraz odpornościowe, a także uczestniczy w utrzymaniu równowagi płynów ustrojowych ciała, gromadząc i zwracając do krwi płyn tkankowy w postaci limfy. Limfa, krążąc w układzie limfatycznym, rozprowadza po organizmie substancje organiczne i mineralne oraz krwinki białe i białka osocza. Odgrywa także istotną rolę w transporcie tłuszczów, które są wchłaniane z jelita cienkiego do limfy i za jej pośrednictwem transportowane do krwi. Układ limfatyczny (chłonny) jest zbudowany z **narządów limfatycznych** i **naczyń limfatycznych**, w których płynie limfa. Do narządów limfatycznych należą: **grasica, śledziona, czerwony szpik kostny, migdałki i węzły chłonne**. Ich funkcję i rozmieszczenie w organizmie omówiono w rozdziale dotyczącym układu odpornościowego (patrz rozdz. II.10.). Sieć naczyń limfatycznych rozpoczyna się w przestrzeniach międzykomórkowych narządów i tkanek ciała. Następnie naczynia łączą się, tworząc żyły limfatyczne uchodzące do dwóch przewodów limfatycznych którymi limfa wraca do obiegu krwi. Źródłem limfy jest przesącz osocza krwi – płyn tkankowy, wydzielina komórek i przewodu pokarmowego. W naczyniach limfatycznych występują zastawki, które są gęściej rozmieszczone w porównaniu z zastawkami żył. Dzięki zastawkom limfa płynie tylko w jednym kierunku – od przestrzeni międzykomórkowej, przez włosowate naczynia limfatyczne, węzły chłonne, przewody limfatyczne do żył. Szczegółowy opis funkcji narządów limfatycznych znajdziesz w rozdziale II.10.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Przedstaw podobieństwa oraz różnice w budowie i funkcjach naczyń krwionośnych: żył, tętnic i naczyń włosowatych.
2. Omów znaczenie zastawek w cyklu pracy serca.
3. Wyjaśnij znaczenie krążenia wieńcowego dla pracy serca.
4. Porównaj funkcje krwiobiegu małego i dużego w krążeniu krwi w organizmie.
5. Wskaż podobieństwa i różnice w budowie i funkcjach układu krwionośnego i limfatycznego.
6. Wyjaśnij znaczenie nowoczesnej diagnostyki w wykrywaniu chorób serca.

7. Zaproponuj zasady, które należy stosować, aby zmniejszyć ryzyko wystąpienia nadciśnienia tętniczego.

8. Wytłumacz związek między miażdżycą a ryzykiem wystąpienia zawału serca.

PODSUMOWANIE LEKCJI

s. 233
- Układ krwionośny jest układem zamkniętym, zbudowanym z **serca** i naczyń krwionośnych. Tętnicami krew płynie z serca do tkanek, a żyłami odwrotnie. Naczynia włosowate mają cienkie ściany i umożliwiają wymianę substancji i gazów oddechowych między krwią a komórkami ciała.

s. 233
- **Serce** jest narządem mięśniowym zaopatrywanym w tlen i substancje odżywcze przez układ wieńcowy. Składa się z dwóch przedsionków i dwóch komór oddzielonych całkowitą przegrodą. Przepływ krwi w sercu jest jednokierunkowy – od przedsionków do komór. Przed cofaniem się krwi zabezpieczają zastawki przedsionkowo-komorowe i półksiężycowate.

s. 235
- Serce ma zdolność do samodzielnego kurczenia się dzięki **ośrodkom automatyzmu**. Rozrusznikiem serca jest węzeł zatokowy, który generuje impulsy nerwowe.

s. 236
- Serce pracuje według schematu zwanego **cyklem pracy serca**, któremu towarzyszą zjawiska akustyczne – tzw. tony serca. Zapis elektrycznej pracy serca i ciśnienia krwi to EKG.

s. 238
- **Krew krąży w dwóch krwiobiegach**: dużym (natlenowana krew jest transportowana do wszystkich komórek ciała) i małym (natlenowanie krwi w płucach).

s. 245
- **Układ limfatyczny** to układ otwarty połączony z układem krwionośnym. Jest zbudowany z naczyń i narządów limfatycznych. W naczyniach płynie limfa, która pełni funkcje transportowe oraz odpornościowe.

s. 239
- **Najczęstsze choroby układu krążenia** to: nadciśnienie tętnicze krwi, miażdżyca, zawał i udar. W celu ich wykrycia stosuje się odpowiednią diagnostykę.

s. 239
- Podwyższony poziom **cholesterolu** we krwi może prowadzić do miażdżycy.

s. 239
- Czynnikami sprzyjającymi wystąpieniu **nadciśnienia tętniczego** są: spożywanie nadmiernej ilości soli, siedzący tryb życia, palenie tytoniu, nadużywanie alkoholu, zbyt tłuste i obfite posiłki.

17. Bilans wodny zwierząt

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz znaczenie wody;
- dowiesz się, jakie są źródła i drogi utraty wody;
- zrozumiesz znaczenie wody w życiu zwierząt.

woda Woda jest wyjątkowym związkiem chemicznym. Pełni wiele funkcji – jest rozpuszczalnikiem, w którym zachodzi większość procesów metabolicznych, a także substratem lub produktem różnych reakcji chemicznych. Duża pojemność ciepła i duże

ciepło parowania zapewniają utrzymanie właściwej temperatury całego ciała zwierzęcia lub jego części, m.in. kończyn czy małżowin usznych. Woda na powierzchni narządów wymiany gazowej, np. płuc ssaków czy skórze płazów, rozpuszcza gazy oddechowe, co ułatwia ich dyfuzję. Zwilżając powierzchnię narządów, np. gałkę oczną, chroni je przed zanieczyszczeniem. Ponadto ułatwia obieranie smaków w jamie ustnej czy przemieszczanie się gamet męskich w drogach rodnych samic. Woda jest też środowiskiem życia wielu zwierząt.

Źródła wody i drogi jej utraty

źródła wody

Największym źródłem wody dla zwierząt jest pokarm. Dużą zawartość wody zawierają zielone części roślin (80–90% świeżej masy) oraz wodne bezkręgowce, np. meduzy (do 99%). Drugim źródłem jest woda do picia. W obu wypadkach woda dostaje się do wnętrza organizmu w procesie wchłaniania w całym przewodzie pokarmowym. Zwierzęta żyjące w klimacie pustynnym ubogim w wodę korzystają w okresach suszy z wody metabolicznej, która powstaje podczas spalania tłuszczów w organizmie, np. wielbłądy gromadzące tłuszcz w garbach czy szczuroskoczki pustynne zjadające nasiona roślin oleistych. Innym źródłem wody jest zawarta w powietrzu para wodna (rosa) czy woda deszczowa, którą zwierzęta mogą pobierać przez dobrze przepuszczalną dla wody skórę, np. płazy.

Utrata wody z organizmu zwierząt odbywa się przez narządy osmoregulacyjne i wydalanie w postaci moczu. Zwierzęta usuwają wodę na drodze parowania z powierzchni narządów wymiany gazowej, z błony śluzowej przewodu pokarmowego, a także z niektórych powłok ciała. Nieznaczne ilości wody są usuwane u zwierząt także przez przewód pokarmowy z kałem, a u człowieka – w czasie stanów chorobowych, jak torsje czy biegunka (**tab. II.17.1.**).

Tab. II.17.1. Źródła uzyskiwania i utraty wody

Źródła wody	Drogi utraty wody
– pokarm – woda pitna – woda metaboliczna – z zagęszczonego moczu i kału – pobierana przez całą powierzchnię ciała – osmotycznie napływająca przez skrzela	– z moczem – parowanie z powierzchni ciała (pocenie się, zianie) – parowanie z powierzchni narządów wymiany gazowej – osmotycznie wypływająca przez skrzela – z mlekiem u samic ssaków

Osmoregulacja

osmoregulacja

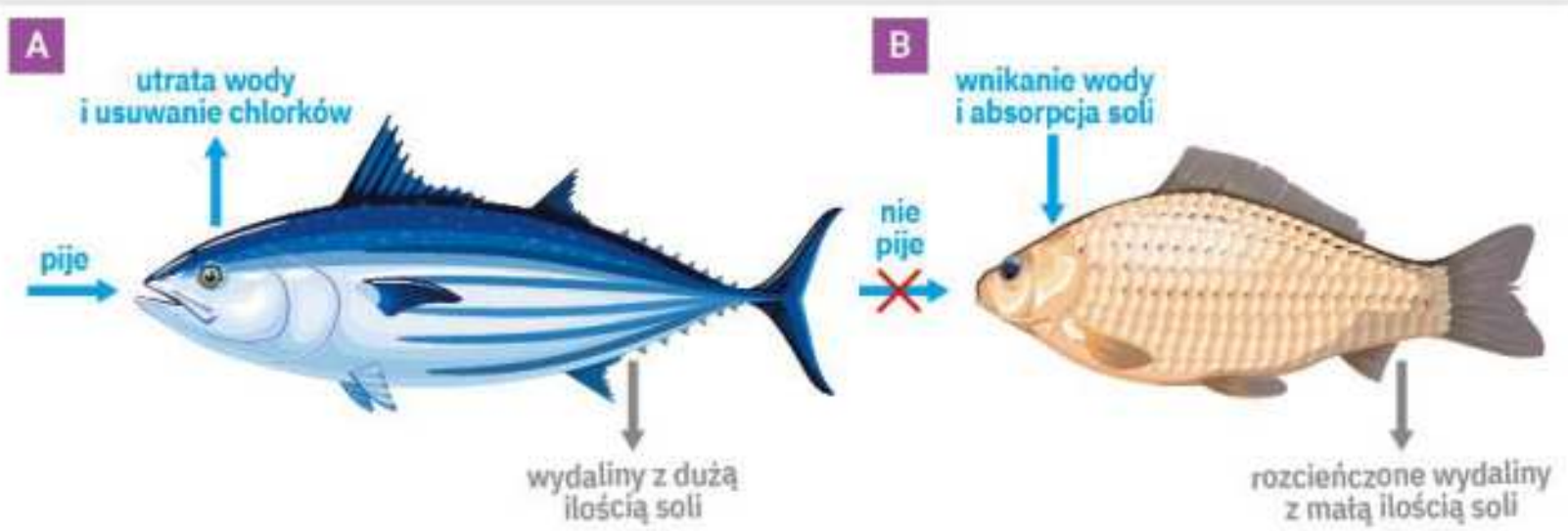
Aby zwierzęta prawidłowo funkcjonowały, muszą utrzymać stały skład środowiska wewnętrznego organizmu – homeostazę. Procesami, które utrzymują równowagę płynów ciała zwierząt, są **osmoregulacja** i **wydalanie** końcowych produktów metabolizmu.

Osmoregulacja reguluje stężenie związków rozpuszczonych w płynach ustrojowych zwierząt i utrzymuje równowagę wodną organizmu. Płyny ustrojowe dzielimy na

wewnątrzkomórkowe i pozakomórkowe, do których zaliczamy płyn tkankowy (międzykomórkowy) oraz osocze i limfę. Oba płyny muszą występować w równowadze osmotycznej. Są oddzielone od siebie błoną komórkową. Wysokość ciśnienia osmotycznego płynów ustrojowych zależy od zawartości wody i rozpuszczonych w niej substancji, przede wszystkim soli mineralnych. Do najważniejszych należą jony sodowe, potasowe, wapniowe, chlorkowe.

gradient osmotyczny

Cząsteczki wody przechodzą przez błony komórkowe, które działają półprzepuszczalnie zgodnie z gradientem osmotycznym. W związku z tym zwierzęta żyjące w wodach słodkich, których płyny ustrojowe mają znacznie wyższe ciśnienie osmotyczne (hiperosmotyczne) niż otaczające je środowisko, są narażone na stały napływ wody do wnętrza ciała. Aby temu zapobiec, wytworzyły nieprzepuszczalne dla wody powłoki ciała, np. łuski i śluz pokrywający ciało ryb. Ryby i wiele innych zwierząt słodkowodnych ograniczają picie wody i wydalają duże ilości zagęszczonego moczu. Sole tracone z moczem zwierzęta uzupełniają poprzez pobieranie ich z pożywieniem lub wychwytywanie przez skrzela (**ryc. II.17.1.**).



Ryc. II.17.1. Osmoregulacja u ryb morskich (A) i słodkowodnych (B).

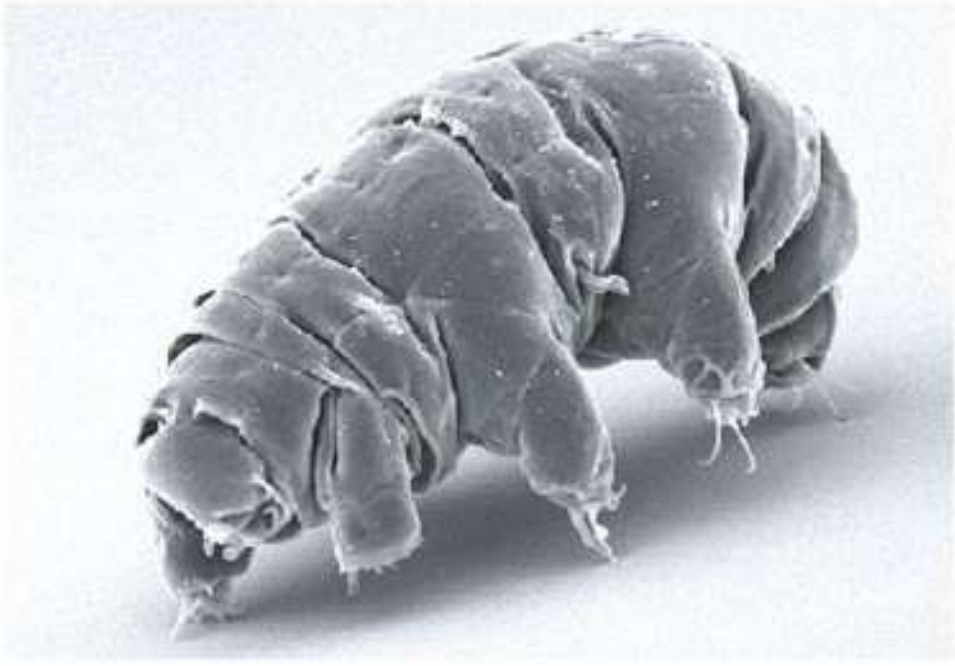
Natomiast kręgowce żyjące w wodach słonych ze względu na niższe ciśnienie osmotyczne płynów ustrojowych niż ciśnienie otaczającego środowiska stale tracą wodę z ciała. Uzupełniają ją, pijąc duże ilości wody morskiej. Nadmiar jonów chlorkowych usuwają przez specjalne komórki chlorkowe w skrzelach, a nadwyżkę jonów wapnia, magnezu i siarczanów wydalają w nerkach.

U ptaków morskich, np. albatrosów czy mew, równowagę osmotyczną pozwalają utrzymać wyspecjalizowane gruczoły nosowe. Przez gruczoły nosowe ptaki morskie usuwają nadmiar soli z organizmu. Podobną funkcję pełnią gruczoły solne u żółwi i legwanów morskich. Natomiast ryby chrzęstnoszkieletowe, np. rekiny morskie, utrzymują wysokie stężenie mocznika w tkankach, przez co ich płyny ustrojowe pozostają w równowadze z wodą morską. Ryby, które migrują między wodą morską a słodką, np. łososie, zmieniają swoją osmotyczność i przystosowują się do środowiska życia. W wodzie słonej funkcjonują jak ryby morskie – piją wodę morską i usuwają nadmiar soli przez skrzela. Natomiast w wodzie słodkiej nie piją wody i produkują duże ilości rozcieńczonego moczu.

Większość bezkręgowców morskich pozostaje w równowadze osmotycznej ze środowiskiem życia. Jednak ponieważ w płynach ustrojowych bezkręgowców znajdują się substancje różniące się od wody morskiej, zwierzęta te są zmuszone do dostarczania tych substancji do organizmu, aby utrzymać równowagę.

Wody okresowe

W okresowo wysychających zbiornikach niektóre bezkręgowce przechodzą w stan anhydrobiozy – odwodnienia, podczas którego tracą wodę. W takim nieaktywnym stanie mogą przetrwać nawet kilka lat (**ryc. II.17.2.**).



Ryc. II.17.2. Niesporczaki to mikroskopijne bezkręgowce zasiedlające środowiska wilgotne. Mają silnie uwodnione ciało – woda stanowi 85% ich ciężaru. W niekorzystnych warunkach środowiska tracą wodę, a wówczas woda może stanowić tylko 2% ciężaru ich ciała. W stanie odwodnienia mogą przetrwać nawet 10 lat. W wilgotnym mchu znaleziono osobnika, który przetrwał w stanie anhydrobiozy aż 120 lat.

Zwierzęta lądowe

Dla zwierząt lądowych zagrożeniem równowagi osmotycznej jest utrata wody. Dlatego wytworzyły one następujące przystosowania chroniące ciało przed odwodnieniem:

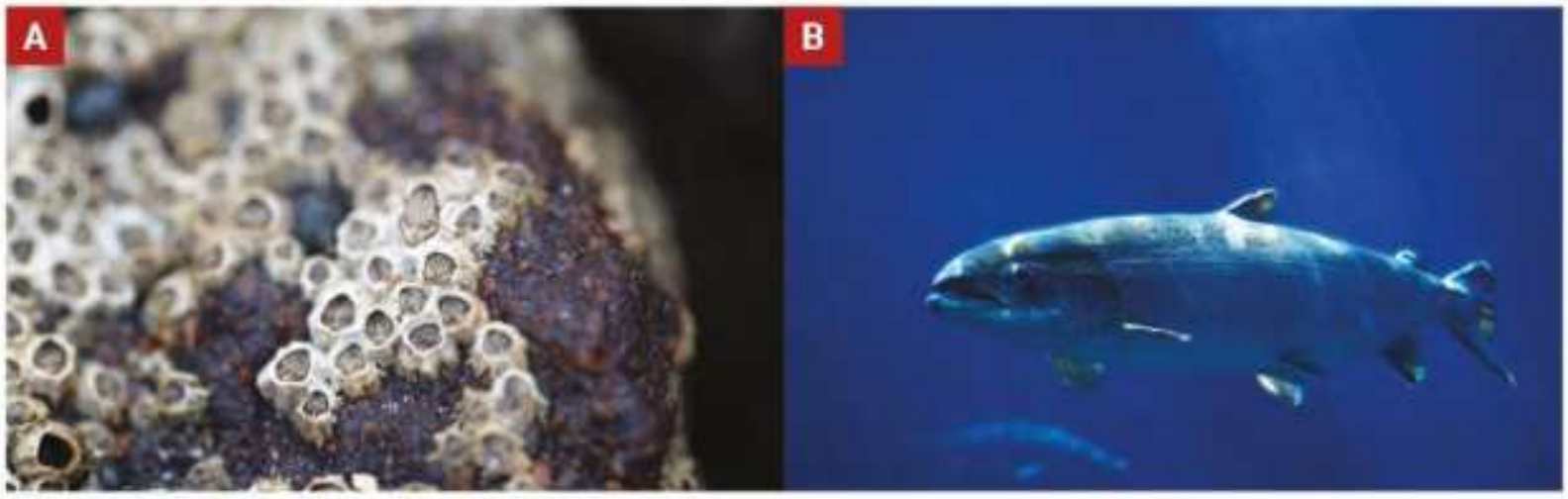
- warstwy wosku pokrywające zewnętrzne szkielety owadów i muszle ślimaków lądowych;
- warstwy martwego naskórka pokrywającego ciało kręgowców lądowych;
- aktywność nocą, kiedy temperatura i wilgotność powietrza są niższe od wartości w ciągu dnia.

Ponieważ zwierzęta tracą wodę z kałem i moczem, uzupełniają jej niedobory, jedząc pokarmy wilgotne, pijąc wodę i produkując wodę metaboliczną.

Zwierzęta żyjące w wodzie ze względu na sposoby utrzymania równowagi osmotycznej organizmu można podzielić na:

- **osmokonformery** (osmokonformisty) – są izotoniczne z otoczeniem, żyją w środowiskach o stałym składzie, zaliczają się do nich wszystkie zwierzęta morskie;
- **osomoregulatory** – kontrolują osmotyczność płynów własnego ciała niezależnie od zmian w środowisku, są nimi słodkowodne bezkręgowce.

Wśród osmokonformerów i osmoregulatorów są zwierzęta tolerujące niewielkie zmiany stężenia soli w środowisku – określa się je jako **stenohaliczne** (gr. *stenos* – wąski, *halos* – sól), a także zwierzęta tolerujące duży zakres zmian stężenia soli – nazwane **euryhalicznymi** (gr. *eurys* – szeroki) (**ryc. II.17.3.**).



Ryc. II.17.3. Pąkle (A) i łososie (B) są euryhalicznymi osmokonformerami – tolerują duże zmiany stężenia soli w środowisku, a stężenie ich płynów ciała jest w równowadze ze środowiskiem.

produkty przemiany materii

Produkty przemiany materii

wydalanie

W czasie wydalania z organizmu są usuwane zbędne lub szkodliwe produkty przemiany materii. Należą do nich woda z solami mineralnymi, dwutlenek węgla i produkty przemian azotowych – amoniak, mocznik i kwas moczowy.

Woda i dwutlenek węgla powstają jako produkty uboczne przemian węglowodanów i tłuszczów podczas oddychania komórkowego. Woda, jako substancja niezbędna do życia, jest przez organizm zatrzymywana. Nieznaczna jej ilość zostaje usunięta przez układ oddechowy, przez układ wydalniczy jako składnik moczu, a także z potem lub kałem. Nadwyżki dwutlenku węgla organizm pozbywa się przez układ oddechowy i w niewielkim stopniu przez skórę.

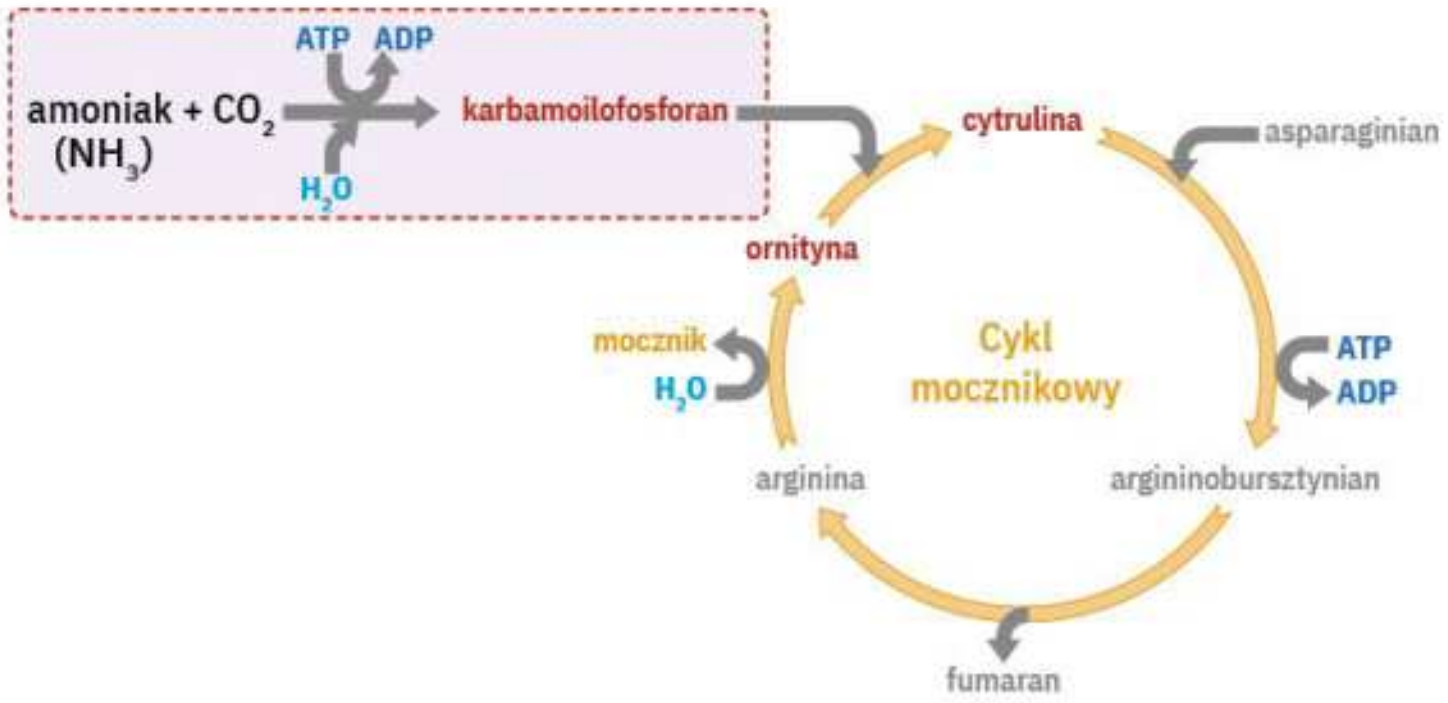
Sole mineralne powstają podczas przemian mineralnych w komórkach, a ich nadwyżki organizm pozbywa się z moczem przez nerki oraz z potem przez skórę. **Produkty przemian azotowych** powstają w procesie degradacji aminokwasów i kwasów nukleinowych. Są usuwane przez układ wydalniczy. Rodzaj azotowych produktów przemiany materii oraz ich sposób wydalania zależy od środowiska, w którym zwierzę żyje.

amoniak

Podczas przemian metabolicznych aminokwasów zostaje odłączona grupa aminowa, która przekształca się w toksyczny związek – **amoniak**. Związek ten łatwo ulega dyfuzji w środowisku wodnym i przy dużej dostępności wody jest usuwany przez powłoki ciała lub skrzela, jak u ryb. Zwierzęta wydalające amoniak nazywamy **amoniotelicznymi**. Zaliczamy do nich bezkręgowce wodne, a wśród kręgowców ryby kostne i larwy płazów. Kiedy ilość wody jest w środowisku ograniczona, zwierzęta muszą prowadzić oszczędną gospodarkę wodną. Dlatego nie mogą wydalać amoniaku w postaci mocno rozcieńczonego roztworu. Wówczas zwierzęta przekształcają toksyczny amoniak w mniej toksyczny mocznik i kwas moczowy.

Mocznik powstaje w wątrobie kręgowców z amoniaku i dwutlenku węgla w szlaku reakcji zwanych **cyklem mocznikowym** (**ryc. II.17.4.**).

◂ **mocznik**
◂ **cykl mocznikowy**



Ryc. II.17.4. Schemat przebiegu cyklu mocznikowego.

Cykl mocznikowy to cykl przemian trzech aminokwasów, podczas którego po przyłączeniu toksycznego amoniaku powstaje związek mniej toksyczny – mocznik. W cyklu bierze udział karbamoilofosforan, powstający z amoniaku i dwutlenku węgla. Do tej reakcji jest potrzebna energia w postaci dwóch cząsteczek ATP. Grupa karbamoilowa zostaje przeniesiona na ornitynę, co prowadzi do powstania cytruliny. Cytrulina reaguje z kwasem asparaginowym i powstaje związek przejściowy – kwas argininobursztynowy. Do zajścia tej reakcji jest niezbędna energia cząsteczki ATP. Kwas zostaje rozłożony do kwasu fumarowego i argininy. W wyniku reakcji grupa aminowa zostaje przeniesiona na argininę. W wyniku hydrolizy argininy powstają mocznik i ornityna.

Synteza mocznika zachodzi w mitochondriach, w których jest łatwy dostęp do dwutlenku węgla i energii niezbędnej do wiązania amoniaku. U zwierząt, które nie mają wątroby, np. u bezkręgowców, cykl zachodzi w mitochondriach komórek całego ciała.

Mimo iż synteza mocznika wymaga udziału specyficznych enzymów i wydatkowania energii, mocznik jest mniej toksyczny. W związku z tym może się gromadzić w większym stężeniu i do jego wydalenia potrzeba mniej wody. Zwierzęta wydalające mocznik nazywamy **ureotelicznymi**. Należy do nich większość zwierząt lądowych: ssaki, zwierzęta prowadzące ziemno-wodny tryb życia, jak większość dorosłych płazów i krokodyli. Mocznik wydalają także niektóre kręgowce słonowodne mające płyny ustrojowe hipotoniczne w stosunku do wody morskiej. Są one narażone na stały osmotyczny wypływ wody z ciała.

◂ zwierzęta ureoteliczne

U zwierząt lądowych prowadzących oszczędną gospodarkę wodną końcowym produktem przemian azotowych jest **kwas moczowy**. Powstaje podczas prze-

mian zasad purynowych (składników budulcowych kwasów nukleinowych). Jest związkiem mało toksycznym, słabo rozpuszczalnym w wodzie. Jest wydalany w postaci kryształów zawierających mało wody. Stanowi to ważną adaptację dla zwierząt do życia w środowisku lądowym. Mała toksyczność kwasu moczowego sprawia, że może być gromadzony, co jest istotne dla zwierząt, których młode rozwijają się wewnątrz jaj. Przykładem są zarodki gadów, które gromadzą niezatruwający organizmu kwas moczowy pod skorupą jaja i nie muszą tracić wody na jego wydalanie. Wydalanie kwasu moczowego u ptaków prowadzi do zmniejszenia masy ciała, co jest niezwykle istotne podczas lotu. Wadą kwasu moczowego są wysokie koszty energetyczne jego wytworzenia w porównaniu z mocznikiem. Zwierzęta wydalające kwas moczowy nazywamy **urykotelicznymi**. Zaliczamy do nich z bezkręgowców owady i ślimaki lądowe, a z kręgowców większość gadów i ptaki.

zwierzęta urykoteliczne

Zwierzęta, które żyją w dwóch środowiskach, jak płazy, mogą zmieniać wydalanie związków azotowych w trakcie cyklu życiowego. Dla przykładu: dorosłe płazy wydalają mocznik, a ich formy larwalne żyjące w wodzie – amoniak.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Porównaj przystosowania do osmoregulacji zwierząt słodkowodnych i morskich.

2. Wyjaśnij, dlaczego zwierzęta żyjące w wodach słodkich nie są zaliczane do osmokonformerów.

3. Uzasadnij konieczność wydalania kwasu moczowego przez zwierzęta lądowe.

PODSUMOWANIE LEKCJI

s. 246 • **Woda** jest środowiskiem życia, w którym zachodzą wszystkie procesy życiowe zwierząt.

s. 247 • Zwierzęta **pozyskują wodę** głównie podczas picia, jedzenia i procesów metabolicznych, a tracą z moczem, potem, kałem oraz końcowymi produktami metabolizmu.

s. 248 • Ruch wody między komórkami ciała a organizmem zwierzęcia odbywa się zgodnie z **gradientem osmotycznym** aż do wyrównania różnicy stężeń.

s. 247 • **Osmoregulacja** jest procesem regulowania ciśnienia osmotycznego płynów ustrojowych w celu uzyskania równowagi.

s. 250 • **Wydalanie** to usuwanie zbędnych produktów przemiany materii.

s. 250 • Głównymi **produktami przemiany materii** są woda, dwutlenek węgla, sole mineralne oraz produkty przemian azotowych: amoniak, mocznik, kwas moczowy.

s. 250 • Najbardziej toksycznym związkiem azotowym jest **amoniak**, wydalany głównie przez zwierzęta wodne.

s. 251 • Mniej toksyczne są **mocznik** i kwas moczowy, ale ich produkcja wymaga większych nakładów energii.

s. 251 • **Wydalanie mocznika** wymaga zużycia wody, a kwas moczowy jest wydalany w postaci półpłynnej. Stanowi to przystosowanie do prowadzenia oszczędnej gospodarki wodnej, jaką prowadzą zwierzęta lądowe.

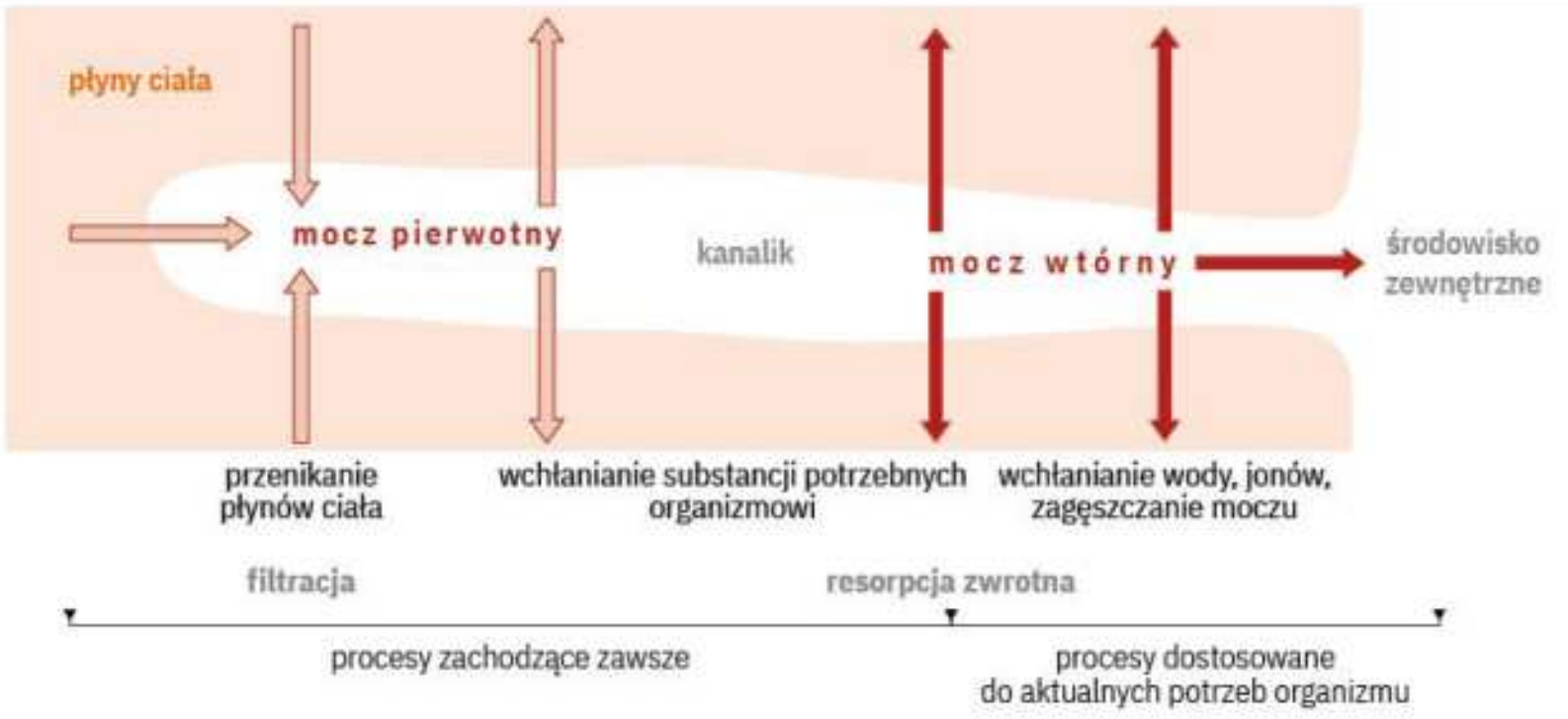
18. Ewolucja narządów wydalniczych zwierząt

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz ewolucję narządów wydalniczych bezkręgowców;
- dowiesz się, jak przebiegał ewolucyjny rozwój nefronu.

U zwierząt występuje bardzo duże zróżnicowanie narządów służących do osmoregulacji i wydalania. Pomimo wielkiej różnorodności w ich budowie i działaniu można zaobserwować podobieństwo. Podstawową jednostkę funkcjonalną jest różnie wykształcony długi i prosty **kanalik** otwarty, np. metanefrydium, lub zamknięty, np. protonerfydium, od strony jamy ciała. Kanalik może wychwytywać produkty przemiany materii z płynów jamy ciała lub oplatających go naczyń krwionośnych. Działa według zasady przedstawionej na **rycinie II.18.1**.

◂ **kanalik**



Ryc. II.18.1. Schemat działania kanalika nerkowego.

Przenikają do niego substancje z płynów ciała. Następnie przez ścianę kanalika zachodzi wchłanianie zwrotne substancji niezbędnych organizmowi, np. glukozy, aminokwasów, jonów sodu, potasu, chlorkowych oraz wody. W dalszej części kanalika następuje wchłanianie dodatkowo tych substancji, których jest za mało w organizmie, oraz wchłanianie wody zależne od uwodnienia organizmu. W ten sposób płyn wpływający do kanalika – mocz pierwotny – po przejściu przez kanalik ulega modyfikacji i staje się moczem wtórnym, w którym produkty przemiany materii zostają usunięte do środowiska zewnętrznego. Kanalik reguluje skład płynów ustrojowych, gdyż jest narządem zarówno osmoregulacyjnym, jak i wydalniczym.

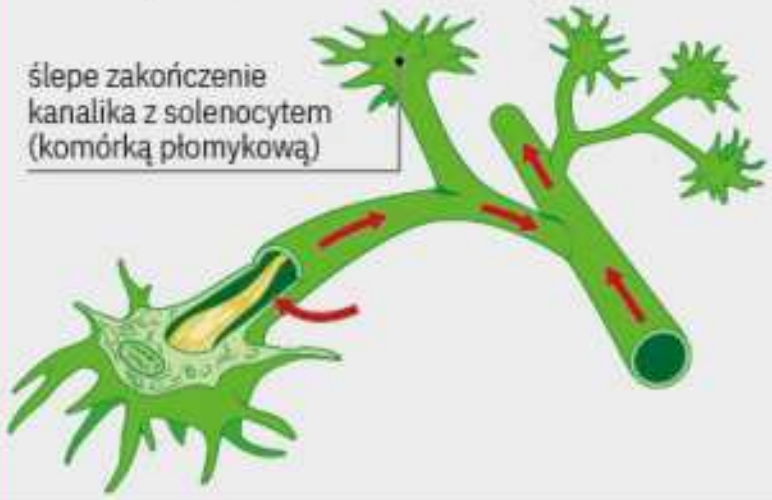
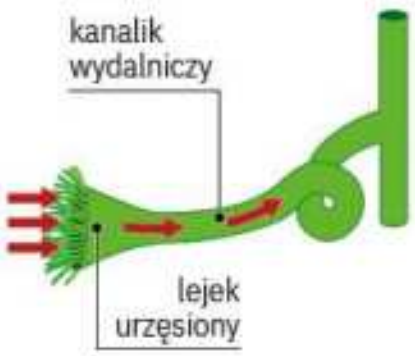
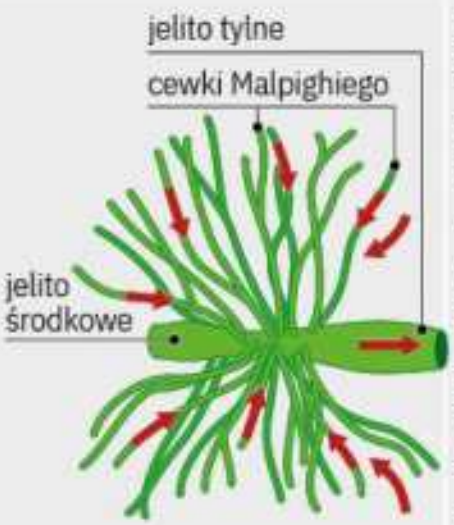
Narządy wydalnicze bezkręgowców

gąbki, parzydełkowce, szkarłupnie

U prosto zbudowanych bezkręgowców – gąbek, parzydełkowców i szkarłupni – usuwanie produktów przemiany materii odbywa się bezpośrednio przez błonę komórkową. U zwierząt o bardziej skomplikowanej budowie, a tym samym większym tempie przemian metabolicznych, wyodrębniły się narządy wydalnicze. Najważniejsze z nich to **protonefrydia, metanefrydia i cewki Malpighiego** (**tab. II.18.1.**).

protonefrydia, metanefrydia, cewki Malpighiego

Tab. II.18.1. Narządy wydalnicze bezkręgowców

Narząd	Funkcjonowanie	Występowanie
Protenefrydia – układ rozgałęziających się kanalików zanurzonych w płynie tkankowym, zakończonych komórkami płomykowymi z rzęskami. 	Płyn tkankowy wnika do kanalika i jest przesuwany ruchem rzęsek. Wewnątrz kanalika ulega modyfikacjom i następnie zostaje usunięty na zewnątrz.	płazińce, niektóre pierścienice, larwy mięczaków
Metanefrydia – para w każdym segmencie nierozgałęzionych kanalików otwartych na obu końcach – jednym do wnętrza ciała zakończonym orzęsionym lejkiem, a drugim otworem wydalniczym w następnym segmencie. 	Płyn z jamy ciała przepływa do kanalika i podlega modyfikacjom. Potrzebne związki, np. glukoza i woda, są resorbowane przez naczynia krwionośne oplatające kanaliki. Produkty zbędne są usuwane na zewnątrz.	pierścienice
Cewki Malpighiego – kanaliki powstałe jako uwypuklenia jelita na pograniczu jelita środkowego i tylnego, ślepe końce leżą w jamie ciała, a ujścia otwierają się do wnętrza jelita. 	Brak w nich filtracji. Do cewek z hemolimfy na drodze transportu aktywnego przechodzą kwas moczowy i jony potasu. Woda i inne rozpuszczone substancje są transportowane na drodze dyfuzji. Płyn przechodzi do jelita tylnego, gdzie następuje resorpcja wody i wytracanie kryształków kwasu moczowego.	owady, wije, niektóre pajęczaki

Metanefrydia u stawonogów uległy modyfikacjom. Przekształcone metanefrydia zwane **gruczołami czułkowymi i szczękowymi** występują u skorupiaków, a u pajęczaków noszą nazwę **gruczołów biodrowych**. U mięczaków skupienia metanefrydiów tworzą nerki. **Nerka mięczaków** jest zbudowana z orzęsionych lejków zakończonych kanalikiem oplecionym naczyniami krwionośnymi. Z naczyń następuje przesączanie produktów przemiany materii do wnętrza kanalików, których ujście znajduje się w jamie płaszczowej.

Narządy wydalnicze kręgowców

U kręgowców podstawową jednostką morfologiczną i funkcjonalną jest ślepo zakończony kanalik – **nefron**. Zespoły nerfonów tworzą narząd wydalniczy – nerkę. U kręgowców obserwuje się w ewolucji nefronu stopniowe zanikanie orzęsionych lejków i rozwój kłębuszków nerkowych.

◂ nefron

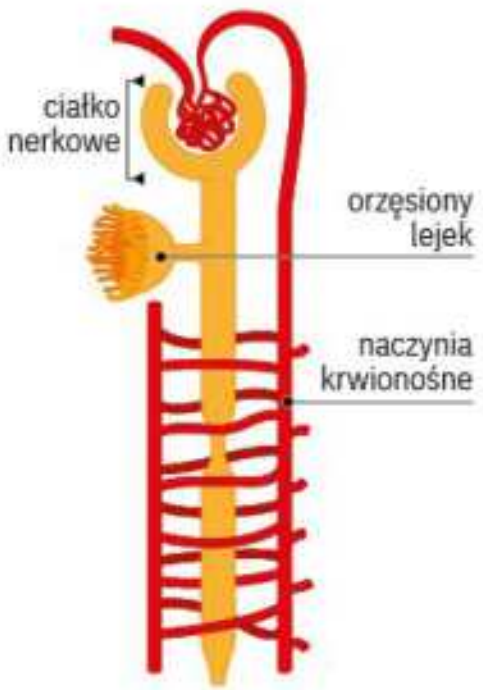
U pierwotnych kręgowców kanaliki nerkowe były otwarte i przypominały metanefrydia. Do jamy ciała otwierały się orzęsionymi lejkami. Lejki wychwytywały z jamy ciała szkodliwe lub zbędne produkty przemiany materii. Taki typ nerki nazywamy **przednerczem** (**przednerką**). Funkcjonuje on u zarodków kręgowców oraz niektórych dorosłych krągłoustych (**ryc. II.18.2.**).

Ryc. II.18.2. Schemat budowy przednercza.

◂ przednercze

W dalszym rozwoju ewolucyjnym w otwartym kanaliku powstało wgłębienie otaczające kłębuszek włosowatych naczyń krwionośnych, które nazywamy **ciałkiem nerkowym**. Odbywa się w nim filtracja krwi dzięki wysokiemu ciśnieniu krwi w naczyniach krwionośnych, co prowadzi do powstania przesączu (moczu pierwotnego). Mechanizm filtracji w ciałku nerkowym wymusił kierunek przepływu przesączu do wnętrza kanalika, a nie do jamy ciała. Oprócz ciałek nerkowych występują, podobnie jak w przednerczu, orzęsione lejki otwierające się do jamy ciała. Taki typ nerki nazywamy **pranerczem** (**śródnerczem**). Występuje on u dorosłych krągłoustych, ryb i płazów oraz u zarodków gadów, ptaków i ssaków (**ryc. II.18.3.**).

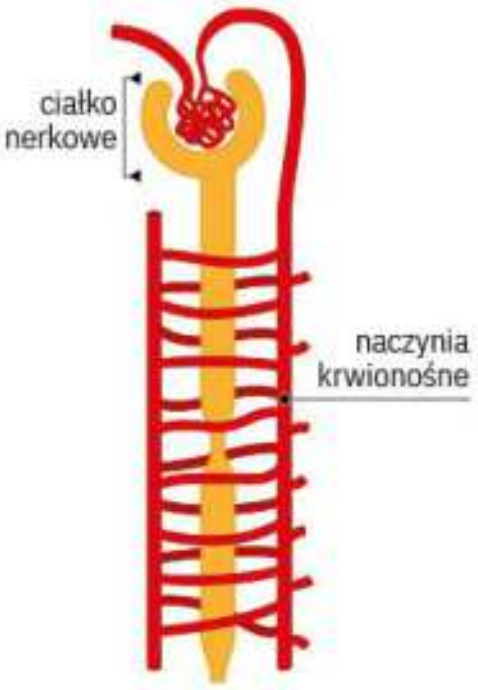
◂ ciałko nerkowe



Ryc. II.18.3. Schemat budowy pranercza.

Pranercze w dalszym rozwoju ewolucyjnym ulega znacznym modyfikacjom. Następuje zanik orzęsionych lejków, wydłużenie nefronów oraz rozbudowanie sieci naczyń krwio-

◂ zanik orzęsionych lejków



Ryc. II.18.4. Schemat budowy zanercza.

nośnych otaczających nefrony. Takie modyfikacje doprowadziły do wykształcenia **nerki ostatecznej**, zwanej **zanerczem**. Ten typ nerki występuje u dorosłych gadów, ptaków i ssaków (**ryc. II.18.4.**).

Mocz ostateczny, powstały w nerkach, spływa przez moczowód do pęcherza moczowego, którego cewką moczową dostaje się do kloaki u gadów i ptaków lub bezpośrednio na zewnątrz u pozostałych kręgowców. Brak pęcherza moczowego obniża ciężar ptaka. Ich silnie zagęszczony mocz spływa bezpośrednio do kloaki i razem z kałem zostaje usunięty na zewnątrz. U kręgowców układ wydalniczy jest połączony z układem rozrodczym i tworzy układ moczowo-płciowy.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Przedstaw podobieństwa i różnice w budowie i funkcjonowaniu układu protonefrydialnego i metanefrydialnego u bezkręgowców.
2. Porównaj układy wydalnicze zwierząt bezkręgowych i kręgowców. Narysuj w tym celu tabelę w zeszycie. Uwzględnij następujące elementy: typ zwierząt, nazwa układu, środowisko życia, produkty przemiany materii.

PODSUMOWANIE LEKCJI

s. 253
- Podstawową jednostką strukturalną i funkcjonalną układu wydalniczego i osmoregulacyjnego jest otwarty lub ślepo zakończony **kanalik**.

s. 254
- **Gąbki, parzydełkowce i szkarłupnie** nie mają narządów wydalniczych i osmoregulacyjnych.

s. 254
- Pierwotnymi narządami wydalniczymi są **protonefrydia** – kanaliki zakończone komórkami płomykowymi. Występują głównie u płazińców.

s. 254
- **Metanefrydia** to kanaliki otwarte na obu końcach – jeden orzęsionym lejkiem w jamie ciała, a drugi w następnym segmencie ciała. Występują u pierścienic.

s. 254
- **Zmodyfikowane metanefrydia** u skorupiaków to gruczoły czułkowe i szczękowe, a u pajęczaków – gruczoły biodrowe. U mięczaków skupienia metanefrydiów tworzą nerki.

s. 254
- Narządami wydalniczymi stawonogów lądowych są **cewki Malpighiego** – uchyłki ścian jelita ślepo zakończone w jamie ciała.

s. 255
- U kręgowców jednostką strukturalną i fizjologiczną układu wydalniczego jest **nefron**. Skupienia nefronów składają się na nerki.

s. 255
- U zarodków kręgowców i dorosłych krągłoustych występuje **przednercze** – kanalik zakończony orzęsionym lejkiem.

s. 255
- U dorosłych ryb i płazów oraz u zarodków gadów, ptaków i ssaków występuje pranercze, kanalik z orzęsionym lejkiem i **ciałkiem nerkowym**.

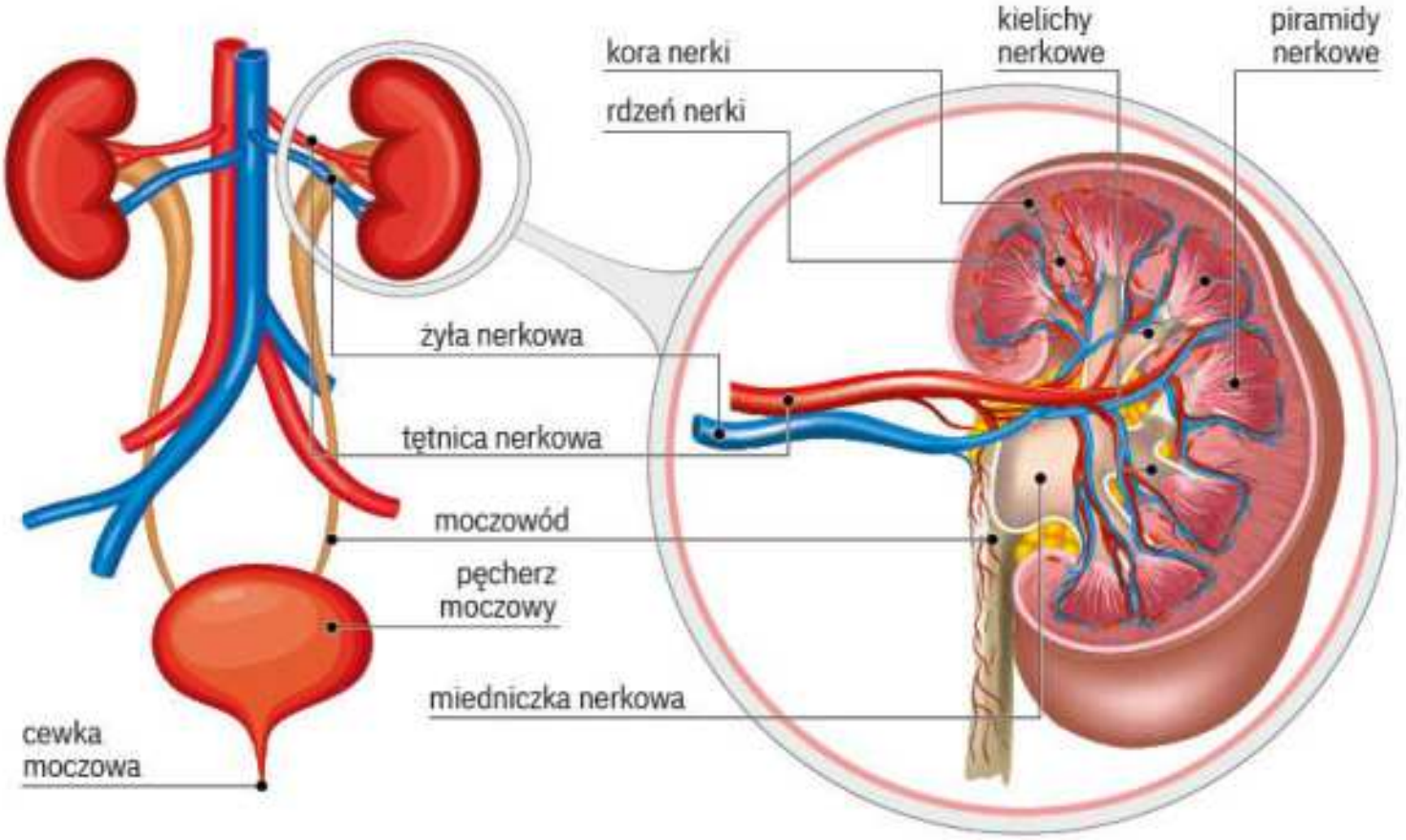
s. 255
- U dorosłych gadów, ptaków i ssaków występuje nerka ostateczna, w której nastąpił **zanik orzęsionych lejków**.

19. Budowa i działanie układu moczowego człowieka

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz związek między budową i funkcją układu moczowego;
- zrozumiesz istotę procesu wydalania;
- dowiesz się, jakie znaczenie mają badania diagnostyczne w profilaktyce chorób układu moczowego.

Układ moczowy człowieka odpowiada za utrzymanie równowagi wodnej, mineralnej (osmoregulacji) i azotowej w organizmie człowieka. W jego skład wchodzą nerki oraz drogi wyprowadzające mocz: moczowody, pęcherz moczowy oraz cewka moczowa (**ryc. II.19.1.**).



Ryc. II.19.1. Budowa układu wydalniczego.

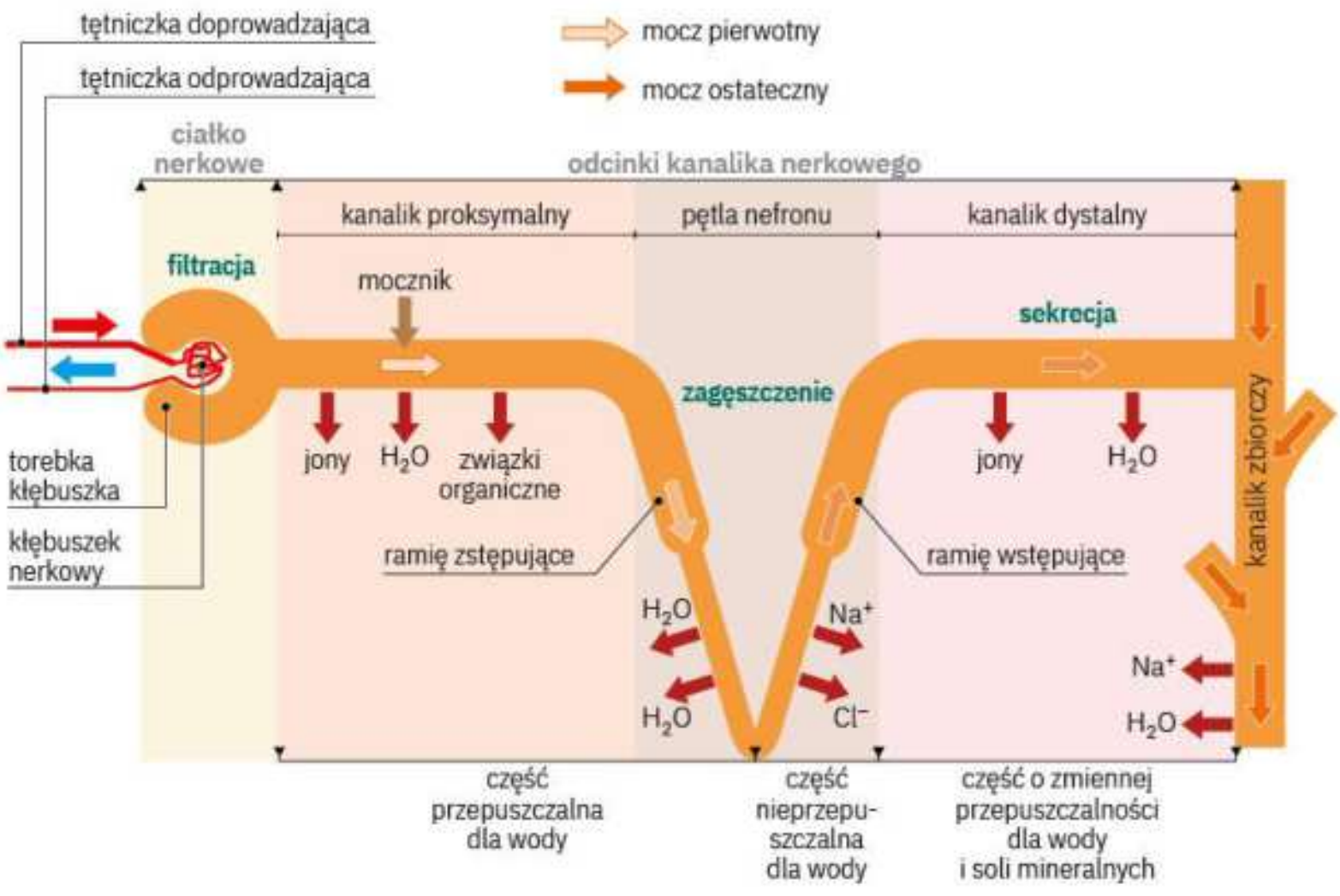
Nerki są parzystymi narządami położonymi w jamie brzusznej po obu stronach kręgosłupa na wysokości odcinka lędźwiowego. Lewa nerka znajduje się nieco wyżej od prawej. Wielkość nerek jest zbliżona do pięści. Otacza je torebka zbudowana z tkanki łącznej. W nerce wyróżniamy dwie warstwy: powierzchniową – **korę nerki** – i położoną wewnątrz – **rdzeń nerki**. Rdzeń tworzą **piramidy nerkowe** o kształcie stożków, które podstawą są skierowane do kory, a wierzchołkami – do warstwy

◂ nerki

rdzenia. Z piramid nerkowych mocz spływa do **kielichów nerkowych** o kształcie lejkowatym, które zbierają się w **miedniczkę nerkową** – rozszerzony początek moczowodu. Od strony zagłębienia nerki (wnęki) miedniczki przechodzą w **moczowód, przewód długości około 20 cm**, którym mocz uchodzi do **pęcherza moczowego**. Ściany pęcherza moczowego zbudowane z mięśni gładkich są elastyczne i pod wpływem napełnienia moczem stopniowo się rozciągają. Pozwala to pomieścić 400–700 cm^3 moczu. Z pęcherza mocz jest usuwany na zewnątrz przez **cewkę moczową**. Cewka moczowa kobiet ma około 5 cm długości, natomiast u mężczyzn – około 20 cm długości, łączy się z nasieniowodem i służy do wyprowadzania moczu i nasienia.

Budowa nefronu

nefron ▸ Podstawową jednostką funkcjonalną i strukturalną nerki jest **nefron**. W jednej nerce znajduje się około 1,5 mln nefronów (**ryc. II.19.2.**).



Ryc. II.19.2. Budowa nefronu i proces powstawania moczu.

Nefron jest zbudowany z **ciałka nerkowego** (ciałka Malpighiego) oraz **kanalików nerkowych**. Ciałko nerkowe to rozbudowana sieć włosowatych naczyń krwionośnych otoczonych **torebką kłębuszka** (torebką Bowmana), której ścianę tworzy nabłonek jednowarstwowy płaski. Do ciałka nerkowego wchodzi **tętniczka nerkowa doprowadzająca**, która rozgałęzia się na sieć naczyń włosowatych, wychodzących **tętniczką nerkową odprowadzającą**. Taki układ nosi nazwę sieci dziwnej.

Po opuszczeniu ciałka nerkowego tętniczka odprowadzająca tworzy zwykłą sieć naczyń włosowatych (tętniczka–żyłka) oplatających kolejne odcinki nefronu. Od torebki nerkowej odchodzi **kanalik kręty bliższy** (**proksymalny, I rzędu**), który przechodzi w tzw. pętlę Henlego (pętlę nefronu), która przechodzi w **kanalik kręty dalszy** (**dystalny, II rzędu**). Kanalik kręty uchodzi do **kanalika zbiorczego**, a ten – do miedniczki nerkowej i ostatecznie do moczowodu.

Powstawanie i wydalanie moczu

powstawanie moczu

Na proces powstania i wydalania moczu składają się trzy etapy: filtracja, resorpcja i sekrecja.

Mocz pierwotny

mocz pierwotny

Filtracja zachodzi w ciałkach nerkowych nefronu. Polega na przenikaniu z naczyń włosowatych kłębuszka do torebki niektórych substancji z osocza krwi. Jest to możliwe dzięki różnicy ciśnień – w kłębuszku ciśnienie ma wyższą wartość niż w torebce kłębuszka. Ponadto ściany naczyń włosowatych kłębuszka odznaczają się dużą przepuszczalnością dzięki obecności perforacji między komórkami. Przez mikroskopijne pory z krwi oprócz wody przedostają się także większe cząsteczki, jak aminokwasy, glukoza, witaminy, mocznik, kwas moczowy. Około 20% objętości osocza krwi przepływającego przez naczynia kłębuszka przechodzi do powstającego moczu pierwotnego (tzw. ultraprzesączu). Pozostała część jest odprowadzana tętniczką odprowadzającą. Skład tego płynu przypomina składem osocze krwi. Zawiera wodę, jony soli mineralnych (np. sodu, potasu, chlorkowe, wodorowęglanowe), a także drobnocząsteczkowe związki organiczne (np. aminokwasy, witaminy, glukozę, mocznik). W moczu pierwotnym brak jest substancji, które nie mogą się przedostać przez błonę kłębuszka, takich jak białka. Podczas doby w nerkach powstaje około **150–180 l moczu pierwotnego**. Tak duża ilość nie mogłaby przez człowieka zostać usunięta, a ponadto naraziłaby organizm na utratę wielu istotnych składników. Dlatego mocz pierwotny jest w kolejnych odcinkach nefronu poddawany obróbce.

Mocz ostateczny

mocz ostateczny

Mocz pierwotny, przechodząc przez kolejne odcinki kanalika nerkowego, zmienia swój skład chemiczny. Na wymianę składników z osoczem krwi znajdującej się w naczyniach krwionośnych otaczających nefron składają się **wchłanianie zwrotne**, czyli **resorpcja**, oraz **sekrecja**. Resorpcja polega na odzyskiwaniu potrzebnych organizmowi substancji w sposób czynny (z wykorzystaniem energii) lub bierny (bez wykorzystania energii). Zachodzi w kanalikach nerkowych. W kanaliku bliższym następuje wchłonięcie około 65% moczu pierwotnego, m.in. glukozy, aminokwasów, witamin, jonów soli mineralnych – tzw. **wchłanianie zwrotne obowiązkowe**. W kanalikach dalszych i kanaliku zbiorczym następuje dalsza **resorpcja zwrotna nieobowiązkowa** wody i jonów sodu, regulowana hormonalnie i zależna od poziomu uwodnienia płynów ustrojowych. W pętli Henlego zachodzi zagęszczanie moczu na drodze mechanizmu przeciwprądowego. Ramię **zstępujące jest przepuszczalne dla wody, a wstępujące – nieprzepuszczalne**

dla wody i zachodzi w nim aktywne wchłanianie jonów sodu. Podczas przepływu przesączu ramieniem zstępującym pętli Henlego woda na drodze osmozy przepływa na zewnątrz, co powoduje zgęszczenie moczu, który jest dalej transportowany do kanalika dalszego. W kanaliku dalszym zachodzi **sekrecja kanalikowa** – stanowi ona proces odwrotny do resorpcji. Polega na wydzielaniu do światła kanalików różnych substancji, np. soli amonowych, jonów wodorowych, jonów potasowych, hormonów steroidowych, kreatyniny oraz leków przyjmowanych podczas choroby, np. penicyliny, sulfonamidów. Przesącz po przejściu resorpcji i sekrecji spływa do kanalika zbiorczego, który otwiera się do kielicha nerkowego. Kielichy nerkowe łączą się w miedniczki nerkowe, którymi **mocz ostateczny** spływa moczowodem do pęcherza moczowego.

sekrecja kanalikowa

Skład moczu

Człowiek zdrowy w ciągu doby wytwarza od **1 do 2 litrów** moczu, składającego się z około 96% wody, 1,5% soli mineralnych i 2,5% związków organicznych.

Wśród związków mineralnych znajduje się głównie **chlorek sodu**, a wśród organicznych – **mocznik**, **kreatynina** (związek azotowy wytwarzany podczas procesów metabolicznych w mięśniach), **kwas moczowy** i **barwniki**, np. urobilinogen (związek powstający w świetle jelita w wyniku działania enzymów bakteryjnych).

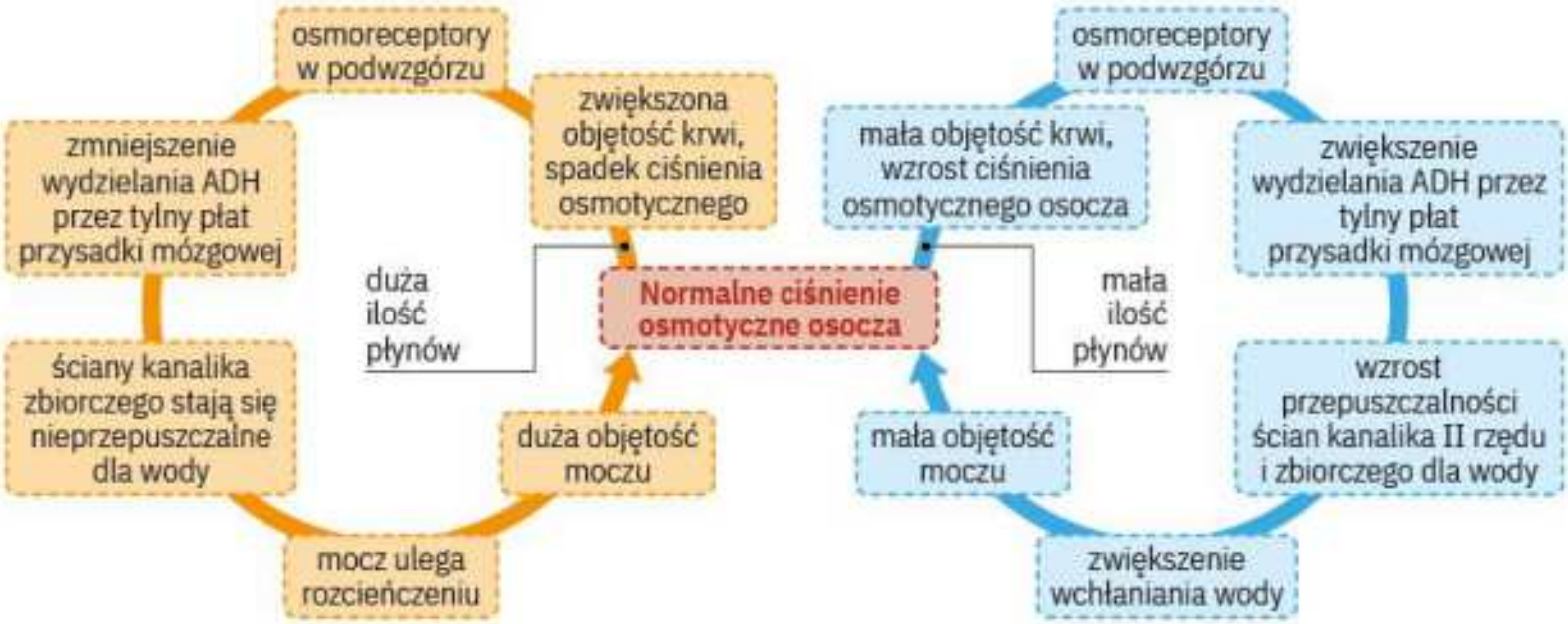
Ilość produkowanego moczu może się zmieniać. Zależy to od ilości pobranych płynów i utraconej wody, np. przez skórę podczas intensywnego wysiłku fizycznego czy choroby, a także od temperatury otoczenia, ciśnienia krwi i wieku.

Mocz po opuszczeniu kanalików zbiorczych dostaje się do miedniczek nerkowych, w których zostaje zgromadzony. Dzięki skurczom mięśni moczowodów małymi porcjami przepływa do pęcherza moczowego. Kiedy pęcherz moczowy jest wypełniony, rozciągnięcie jego ścian pobudza odpowiednie receptory i informacja dostaje się do ośrodka w części krzyżowej rdzenia kręgowego. Cewka moczowa w swojej ścianie zawiera dwa mięśnie zwieracze, które odpowiadają za jej zamykanie. Następuje rozluźnienie mięśnia zwieracza cewki, pęcherz się kurczy i moczy jest wydalany na zewnątrz. Na granicy z pęcherzem praca zwieracza nie zależy od naszej woli, natomiast przy ujściu cewki moczowej może być do pewnego stopnia świadomie kontrolowana. U dzieci do 2.–3. roku życia ten odruch zachodzi bez udziału ośrodków kory mózgowej, która nie jest jeszcze dobrze rozwinięta. U dzieci od mniej więcej 4. roku życia może nastąpić powtarzające się w nocy i w dzień oddawanie moczu – tzw. **moczenie mimowolne**. Podłożem tego mogą być schorzenia układu wydalniczego lub stany nerwicowe.

Kontrola hormonalna pracy nerek

Ilość produkowanego moczu i jego skład są regulowane przez hormony. Wchłanianie wody reguluje **hormon antydiuretyczny** – określany jako ADH i **wazopresyna** (uwalniana przez tylny płat przysadki mózgowej, a produkowana przez podwzgórze) (**ryc. II.19.3.**).

hormony antydiuretyczne



Ryc. II.19.3. Schemat regulacji ilości produkowanego moczu przez hormon antydiuretyczny ADH.

Kiedy organizm przyjmuje małą ilość płynów, następuje zmniejszenie objętości krwi i wzrost rozpuszczonych w niej soli (wzrost ciśnienia osmotycznego). Wówczas receptory w podwzgórzu wrażliwe na zmiany osmotyczne krwi pobudzają tylny płat przysadki do wydzielania ADH. Hormon działa na ściany kanalików nerkowych, zwiększając ich przepuszczalność dla wody. Zwiększone wchłanianie wody w kanalikach powoduje wydzielenie małej objętości stężonego moczu. Niedobór lub brak tego hormonu (przy zaburzeniach czynnościowych przysadki mózgowej) powoduje znaczne ograniczenie resorpcji wody w kanalikach nerkowych – moczówkę prostą. Ta choroba objawia się nadmierną produkcją moczu – **5–20 l** na dobę (najwięcej nocą). Utrata tak dużej ilości wody powoduje wzmożone pragnienie. Pomimo dostarczania dużej ilości płynów chory odczuwa oznaki odwodnienia. Kiedy dostarczamy do organizmu dużo płynów, następuje rozcieńczenie krwi, co skutkuje spadkiem ciśnienia osmotycznego. Wówczas osmoreceptory w podwzgórzu rejestrują te zmiany i tylny płat przysadki wydziela mniejszą ilość ADH. Kanaliki nerkowe wchłaniają mniej wody, a to prowadzi do zwiększenia objętości moczu – mocz staje się bardziej rozcieńczony. Za prawidłowe wchłanianie (resorpcję) jonów sodu odpowiada hormon kory nadnerczy – **aldosteron**. Stymuluje on kanaliki dalsze i zbiorcze do ich wzmożonego wchłania zwrotnego. Wchłanianie jonów wapnia reguluje hormon wydzielany przez przytarczyce – **parathormon**.

W nerce znajduje się także **aparat przykłębuszkowy** będący narządem wydzielniczym i receptorowym nerki. Powstaje w nim enzym – **renina** – który reguluje równowagę jonową w organizmie oraz objętość i ciśnienie krwi. Sygnałem do wy-

funkcja wydzielnicza

dzielenia reniny jest spadek ciśnienia tętniczego krwi, co może spowodować niedokrwienie nerek. Renina rozpoczyna przekształcenie jednego z białek osocza krwi – **angiotensynogenu** – w aktywną postać – angiotensynę II – wywołującą skurcze naczyń krwionośnych. Podnosi to ciśnienie krwi i reguluje wydzielanie wazopresyny i aldosteronu. W nerkach jest produkowany hormon tkankowy – **erytropoetyna** pobudzająca proces wytwarzania krwinek czerwonych oraz dihydroksykalcyferol (pochodna witaminy D_3) regulujący gospodarkę wapniowo-fosforanową.

Przedsionkowy peptyd natriuretyczny (**ANP**) jest hormonem wydzielanym przez komórki przedsionka serca. Wzrost ciśnienia krwi uwalnia ANP do krążenia. Hormon pobudza wydalanie jonów sodu i hamuje wydzielanie aldosteronu. Skutkiem tego jest zwiększone wydalanie moczu i spadek ciśnienia krwi.

Diagnostyka układu moczowego

analiza moczu

Do podstawowych badań laboratoryjnych pozwalających na rozpoznanie wielu chorób należy **analiza moczu**. Podczas badania określa się właściwości fizyczne moczu: barwę, przejrzystość, pH oraz ciężar właściwy, a także obecność niektórych substancji, np.: białek, glukozy, ciał ketonowych, bilirubiny i urobilinogenu (**ryc. II.19.4.**).

Ryc. II.19.4. Prawidłowe wyniki badania moczu.

Mocz zdrowej osoby powinien być **przejrzysty** o barwie od jasnożółtej do słomkowej. **Zmętnienie moczu** jest sygnałem infekcji bakteryjnej. Barwa moczu wynika z obecności barwników. Intensywne zabarwienie wskazuje na duże zagęszczenie

moczu, czyli spożywanie zbyt małej ilości płynów. **Barwa brązowa** może świadczyć o problemach z pęcherzykiem żółciowym lub zapaleniu wątroby, czyli żółtaczce. Dieta pokarmowa także zmienia kolor moczu, często barwniki ze spożywanych pokarmów czy leki przechodzą do moczu, np. po zjedzeniu buraczków mocz staje się różowy. **Odczyn moczu** jest od lekko kwaśnego do lekko zasadowego. Jego zmiana najczęściej wynika z rodzaju spożywanych pokarmów – dieta bogata w białko (pokarmy zwierzęce) podnosi odczyn, a bogata w pokarmy roślinne – go obniża. **Ciężar właściwy moczu** niższy przez dłuższy czas od 1005g/l występuje u osób z przewlekłą niewydolnością nerek. W moczu zdrowej osoby nie stwierdza się występowania białka, glukozy, bilirubiny i ciał ketonowych, ponieważ ich stężenia są bardzo niskie i trudne do wykrycia. Ilość białka u zdrowych ludzi wynosi około **100 mg/dobę**, a wzrost **powyżej 300 mg/dobę** określa się jako białkomocz patologiczny. Wskazuje on na choroby lub uszkodzenia nerek. Białkomocz czasami występuje u osób zdrowych – po wysiłku fizycznym lub u kobiet w ciąży. Wówczas jest nazywany **białkomoczem fizjologicznym** (powyżej 250 mg/dobę).

Prawidłowe stężenie glukozy we krwi wynosi **3,9–6,1 mmol/l**. Jeśli ta wartość zostanie przekroczona powyżej **10–11 mmol/l** (tzw. **próg nerkowy**), wówczas glukoza nie zostanie wchłonięta zwrotnie w kanalikach nerkowych i pojawi się w moczu ostatecznym. Świadczy to o **cukromoczu** (**glikozurii**), który najczęściej towarzyszy cukrzycy. Cukromocz może towarzyszyć nadciśnieniu, wysiłkowi fizycznemu, gorączce. **Bilirubina** powstaje w wyniku rozpadu barwnika krwi – hemu – podczas rozkładu krwinek czerwonych. Jej obecność w moczu ostatecznym jest efektem niedrożności dróg żółciowych (żółtaczka mechaniczna) lub wirusowego uszkodzenia wątroby. Stężenie pochodnej bilirubiny – **urobilinogenu** (powstaje na skutek działania enzymów bakteryjnych w świetle przewodu pokarmowego) – wynosi w moczu zdrowego człowieka **około 0,05–4,0 mg/dobę**. Wzrost wartości powyżej normy wskazuje na uszkodzenie wątroby. **Ciała ketonowe** są związkami chemicznymi powstającymi z przemian tłuszczów w wątrobie. Ich obecność w moczu świadczy o wykorzystaniu do wytworzenia energii tłuszczów zamiast cukrów, co towarzyszy cukrzycy, anoreksji czy bulimii.

Po odwirowaniu moczu w uzyskanym osadzie mogą występować pojedyncze złuszczone komórki nabłonka dróg moczowych, pojedyncze leukocyty lub erytrocyty. **Obecność licznych komórek nabłonka** wskazuje na zakażenia układu moczowego, a **leukocytów** – na stan zapalny dróg moczowych. Jeśli w moczu ostatecznym pojawiają się **świeże erytrocyty**, to świadczy to o **krwiomoczu**, co jest sygnałem uszkodzenia naczyń w obrębie układu moczowego. Osad zawierający **związki mineralne** w postaci kryształów szczawianów lub fosforanów wapnia sygnalizuje wystąpienie **kamicy nerkowej**. Rosnące kamienie mogą osiągać znaczne rozmiary i blokować przepływ moczu z pęcherza moczowego (**ryc. II.19.5.**).

Ryc. II.19.5. Kamienie nerkowe.

USG jamy brzusznej

W diagnostyce nieprawidłowej budowy narządów układu moczowego: nerek, moczowodów, pęcherza moczowego, stosuje się obrazowanie za pomocą fal ultradźwiękowych – USG. Badanie pozwala na wykrycie guzów i torbieli narządów układu moczowego, a także kamieni nerkowych.

Ryc. II.19.6. Urografia jest rodzajem badania radiologicznego z wykorzystaniem promieniowania rentgenowskiego oraz środka kontrastowego.

Urografia

Urografia jest badaniem uzupełniającym pozwalającym na obserwację pracy nerek i przepływu moczu przez moczowody, pęcherz i cewkę moczową (**ryc. II.19.6.**).

Wskazaniem do badania jest podejrzenie wad wrodzonych układu moczowego. To badanie przeprowadza się z użyciem promieni rentgenowskich po wcześniejszym podaniu kontrastu. Kontrast przechodzi przez nerki i zostaje wydalony z moczem. Podczas badania wykonuje się kilka zdjęć rentgenowskich przed podaniem kontrastu, a następne po jego podaniu oraz kolejne w odstępach kilkunastominutowych.

niewydolność nerek

Szczególnie niebezpieczna jest **niewydolność nerek**. Do jej objawów należą: zmiana ilości wydalanego moczu w ciągu doby, osłabienie, brak apetytu, niedokrwistość, skłonność do krwawień z przewodu pokarmowego. Przyczyną tego schorzenia są choroby nerek, a także nadciśnienie tętnicze i cukrzyca. Niewydolność nerek prowadzi do zaburzeń gospodarki wodnej i mineralnej, zatrucia organizmu produktami przemiany materii i w konsekwencji do śmierci. **Ostry stan niewydolności nerki** wymaga interwencji medycznej – **przeszczepu nerki** lub **dializy** (**ryc. II.19.7.**).

Najczęściej stosuje się dwie metody dializy: hemodializę i dializę otrzewnową. **Hemodializa** polega na usuwaniu produktów przemiany materii i wody lub leków oraz toksyn z krwi pacjenta poprzez sztuczną błonę półprzepuszczalną. Krew jest wielokrotnie przepompowywana na zewnątrz ciała do dializatora (tzw. sztucznej nerki). Podczas dializy krew krąży między dializatorem a pacjentem. Zostaje oczyszczona, a następnie wraca do organizmu chorego. W Polsce hemodializa jest wykonywana wyłącznie w warunkach szpitalnych i najczęściej odbywa się raz w tygodniu.

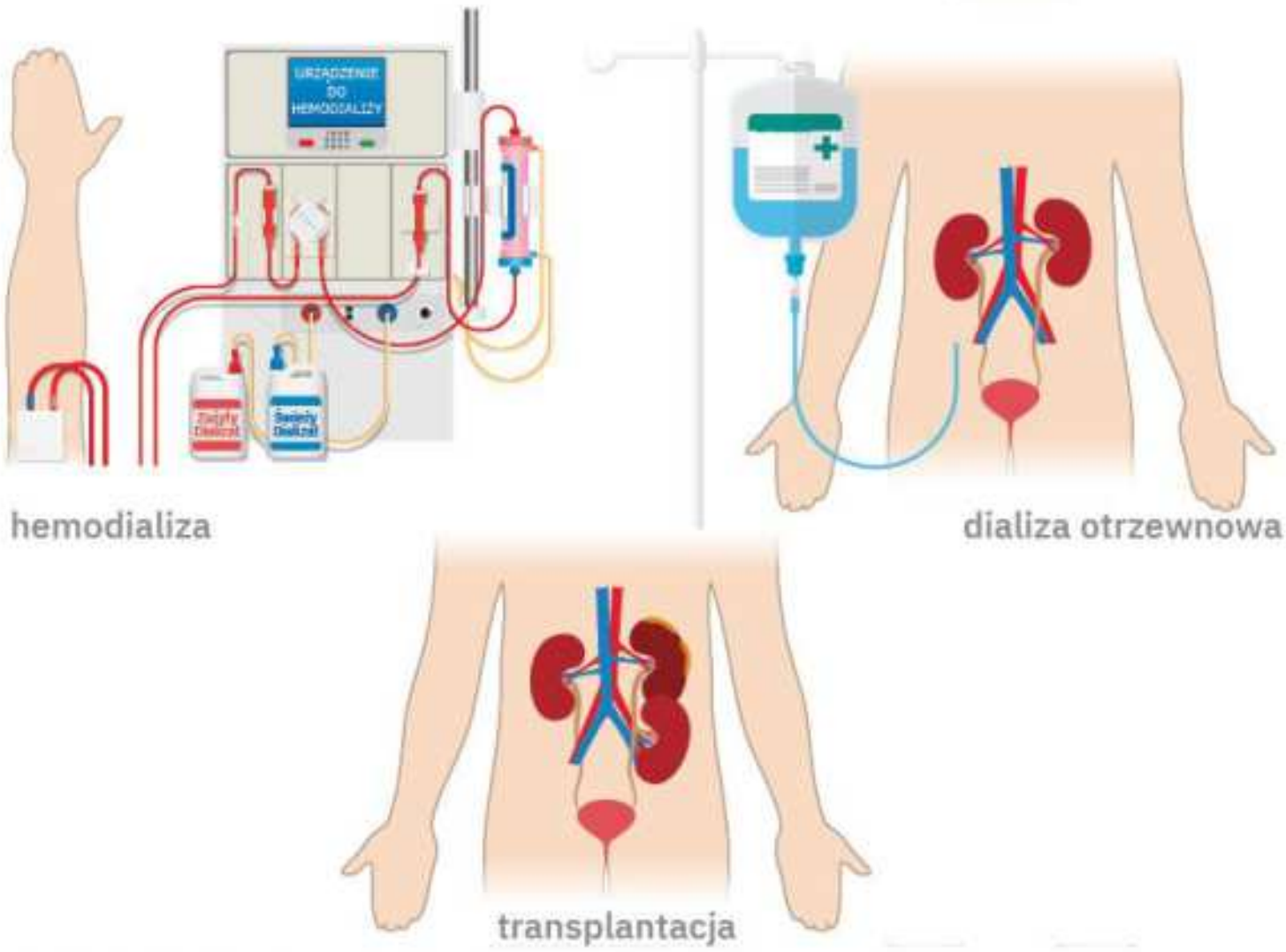
dializa otrzewnowa

Dializa otrzewnowa przypomina hemodializę, jednak funkcję półprzepuszczalnej błony dializacyjnej pełni otrzewna, która wyściela jamę brzuszną i pokrywa znajdujące się w niej narządy. Do jamy brzusznej pacjenta wprowadza się specjalnie przygotowany płyn dializacyjny (zawierający m.in. wodę, glukozę, NaCl, $CaCl_2$, $MgCl_2$, octan sodu) przez cewnik umieszczony na dnie jamy otrzewnej. Ten cewnik pozwala na swobodne wprowadzanie i wyprowadzanie płynu z otrzewnej. Szkodliwe produkty przemiany materii przechodzą z naczyń krwionośnych przez błonę otrzewnej do płynu dializacyjnego. Ten rodzaj dializy można przeprowadzać przez kilka godzin w ciągu doby w domu pacjenta.

Najskuteczniejszą metodą leczenia ostrej niewydolności nerek jest **przeszczep**. Jednak zabieg ten wymaga znalezienia odpowiedniego dawcy o takiej samej grupie krwi i zgodności tkankowej. Czas oczekiwania na taką operację jest dość długi. Pacjent po przeszczepie musi przyjmować leki immunosupresyjne, zapobiegające odrzuceniu przeszczepu. Niekiedy po wielu latach mimo stosowania takiej terapii organizm sam odrzuca przeszczepioną nerkę, a wówczas następuje powrót do dializoterapii.

◀ przeszczep nerek

Do najważniejszych działań profilaktycznych w zapobieganiu chorób układu moczowego należą przestrzeganie higieny osobistej w celu ochrony przed zakażeniami drobnoustrojami, regularne opróżnianie pęcherza moczowego, dieta uboga w sól, gdyż sól w wysokim stężeniu utrudnia wchłanianie wody w nefronach, picie codziennie około 2 litrów płynów, dzięki którym nie tworzy się w nerkach zagęszczony mocz, kontrolne badanie moczu przynajmniej raz w roku i po przebytych infekcjach bakteryjnych migdałków, zapalenia zatok i stanach zapalnych zębów.



Ryc. II.19.7. Metody leczenia ostrej niewydolności nerek.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Przedstaw rolę, którą odgrywają nerki w utrzymaniu procesu homeostazy.
2. Wykaż związek hormonalnej regulacji pracy nerek z utrzymaniem homeostazy organizmu.
3. Wyjaśnij, jakie znaczenie dla pacjentów z ostrą niewydolnością nerki ma przeszczep tego narządu.

PODSUMOWANIE LEKCJI

s. 258
- Jednostką strukturalną i funkcjonalną nerki jest **nefron** zbudowany z ciałka nerkowego i kanalików nerkowych.

s. 259
- **Powstanie moczu** jest złożonym procesem, na który składają się filtracja, resorpcja i sekrecja.

s. 259
- **Mocz ostateczny** to roztwór mocznika, barwników i niektórych soli mineralnych.

s. 261
- Objętość moczu jest regulowana przez **hormon antydiuretyczny** uwalniany przez tylny płat przysadki mózgowej, hormon kory nadnerczy – aldosteron, hormon wydzielany przez przytarczyce – parathormon – oraz przedsionkowy peptyd natriuretyczny.

s. 261
- Nerki oprócz funkcji wydalniczej pełnią **funkcję wydzielniczą**.

s. 262
- **Analiza składu moczu** pozwala na rozpoznanie wielu chorób, które mogą być niebezpieczne dla zdrowia, a nawet dla życia człowieka.

s. 264
- Dializa i przeszczep nerki są metodami leczenia **niewydolności nerki.**

20. Regulacja dokrewna u zwierząt

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz budowę i podział hormonów;
- dowiesz się, jakie rodzaje sygnalizacji hormonalnej występują w organizmach zwierzęcych;
- przeanalizujesz mechanizmy hormonalnej regulacji komórek docelowych.

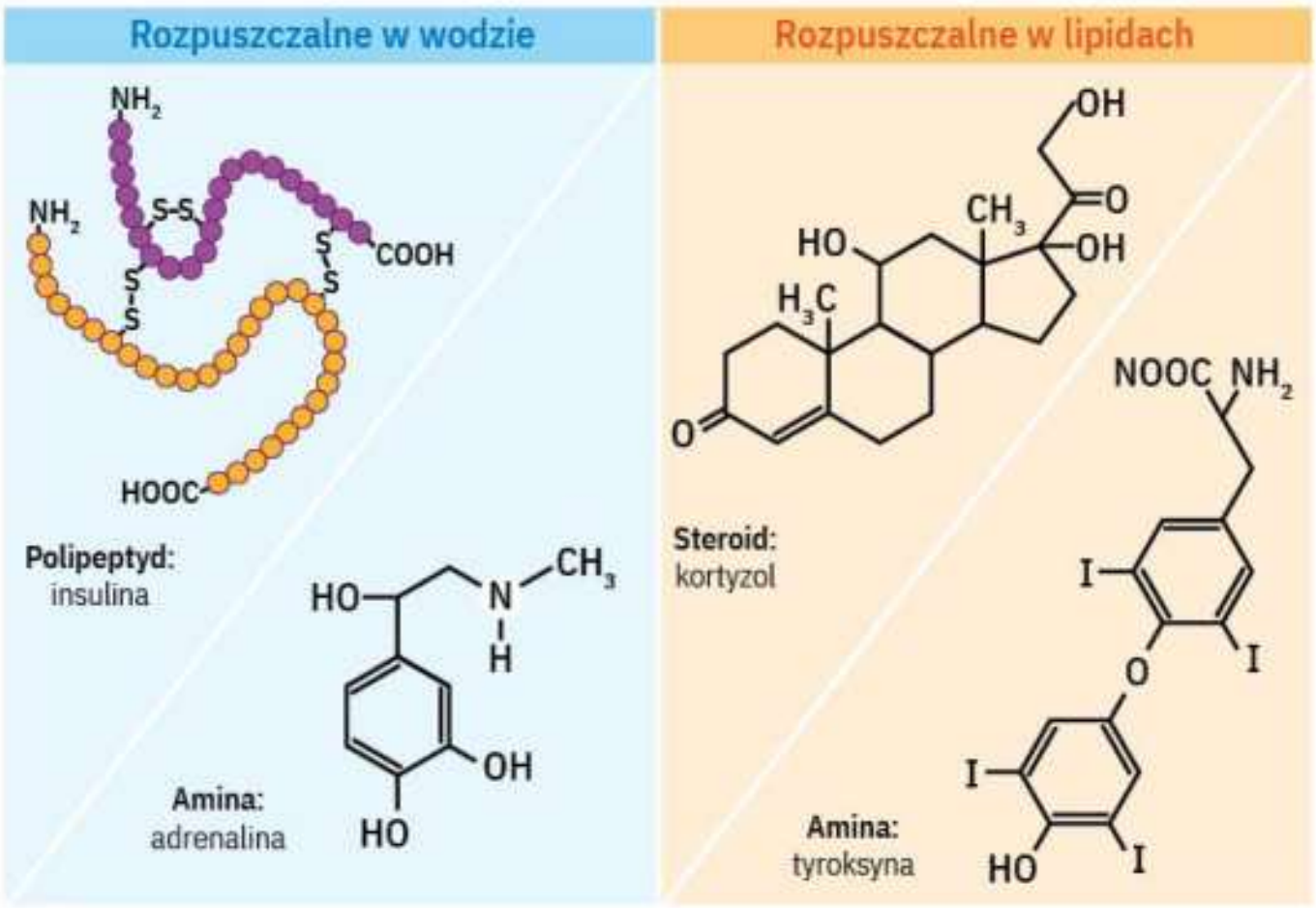
Precyzyjna regulacja i koordynacja działania organizmu jest zapewniona dzięki współpracy układu nerwowego oraz **układu hormonalnego** (**dokrewnego, układu wydzielania wewnętrznego**). Na układ wydzielania wewnętrznego składają się komórki, tkanki i gruczoły dokrewne zlokalizowane w różnych częściach organizmu i fizycznie ze sobą niepowiązane. Układ ten działa za pośrednictwem **hormonów** wydzielanych przez gruczoły bezpośrednio do krwi lub limfy. Hormony są przekaźnikami chemicznymi, które regulują większość procesów fizjologicznych, m.in. wzrost i rozwój, metabolizm, rozmnażanie, odpowiedź na stres. Regulacyjna aktywność hormonów następuje po przyłączeniu się hormonu do specyficznego dla niego receptora znajdującego się na komórce docelowej. Badaniem funkcjonowania hormonów zajmuje się **endokrynologia**.

Budowa i podział hormonów

hormony

Pod względem chemicznym **hormony** są związkami organicznymi. Uwzględniając ich budowę chemiczną, dzielimy je na:

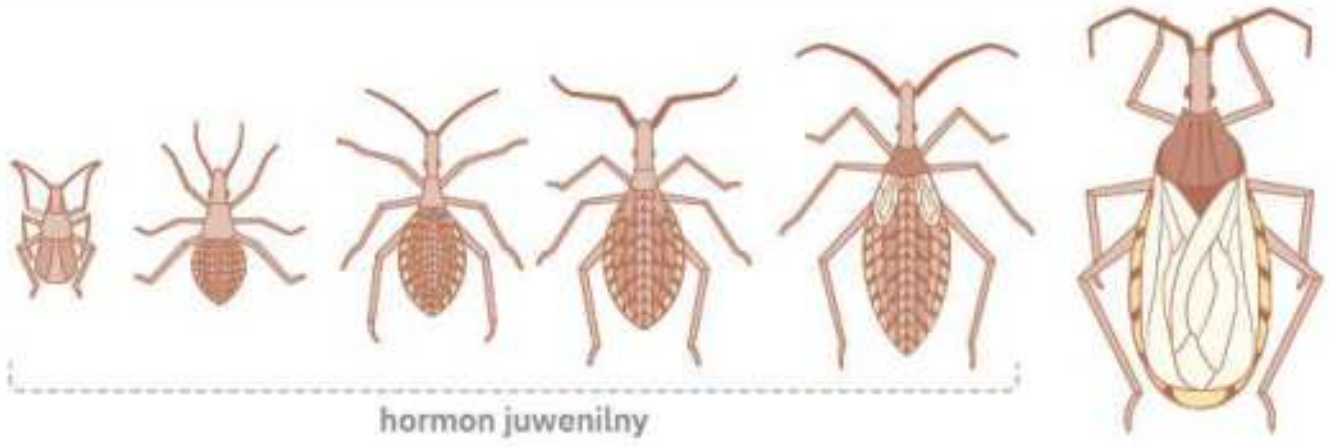
- **hormony pochodne aminokwasów** (np. adrenalina, tyroksyna, melatonina);
- **hormony peptydowe i białkowe** (np. hormon wzrostu, insulina, oksytocyna, wazopresyna, glukagon, kalcytonina);
- **hormony steroidowe** – pochodne cholesterolu; hormony te są rozpuszczalne w tłuszczach i łatwo przenikają przez błony lipidowe; np. hormony kory nadnerczy (kortyzol), gonad (testosteron, progesteron, estradiol) i łożyska.



Ryc. II.20.1. Budowa i rozpuszczalność wybranych hormonów.

U owadów występuje **hormon juwenilny** (**ryc. II.20.2.**), który jest pochodną kwasu tłuszczowego. Hormon ten powstrzymuje metamorfozę owadów na każdym etapie linienia larwalnego. Spadek jego poziomu prowadzi do metamorfozy i przeobrażenia się larwy w poczwarkę.

◂ hormon juwenilny



Ryc. II.20.2. Pluskwiak z rodzaju *Rhodnius* rozwija się do postaci dojrzałej w pięciu linieniach. Brak hormonu juwenilnego w ostatnim linieniu sprawia, że powstaje dorosła postać owada.

Hormony ze względu na zakres i miejsce działania dzielimy na:

- **hormony o działaniu ogólnym** – wpływają na komórki docelowe za pośrednictwem układu krwionośnego (hormony przysadki, nadnerczy, tarczycy, jajników, jąder, przytarczyc, trzustki i łożyska);
- **hormony o działaniu miejscowym** – działają w bezpośrednim sąsiedztwie miejsca ich wytwarzania (np. histamina, serotonina).

hormony tkankowe

Hormony tkankowe są wytwarzane przez komórki lub grupy komórek inne niż gruczoły dokrewne. Wpływają na czynność innych narządów albo w miejscu swojego uwalniania, albo poprzez układ krążenia. Do hormonów tkankowych należą m.in. erytropoetyna, gastryna i histamina (**tab. II.20.1.**).

Tab. II.20.1. Wybrane hormony tkankowe

Hormon tkankowy	Miejsce wytwarzania	Funkcja
Erytropoetyna	nerki i wątroba	namnażanie i dojrzewanie erytrocytów
Gastryna	żołądek i dwunastnica	stymulacja wydzielania kwasu żołądkowego; odpowiada za prawidłowy stan błony śluzowej żołądka
Histamina	płuca, skóra, błona śluzowa nosa i żołądka	udział w procesach zapalnych i w odczynie alergicznym; pobudza wydzielanie kwasu żołądkowego; neuroprzekaźnik

sygnalizacja hormonalna

Rodzaje sygnalizacji hormonalnej i mechanizm ich działania

Realizacja sygnałowej aktywności hormonów odbywa się kilkoma drogami (**ryc. II.20.3.**):

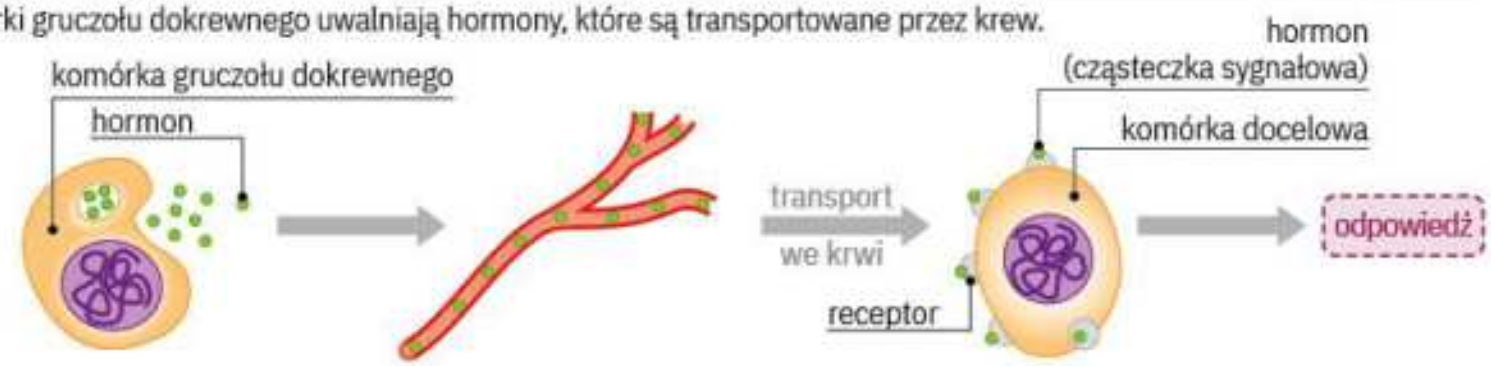
- **klasyczna sygnalizacja endokrynna**, polegająca na tym, że hormony są wydzielane przez gruczoły dokrewne i transportowane przez krew do komórek docelowych;
- **sygnalizacja neuroendokrynna**, w czasie której z niektórych neuronów (tzw. neuronów endokrynnych) są uwalniane neurohormony; neurohormony przechodzą do płynu międzykomórkowego, a następnie do naczyń włosowatych i trafiają do krwi. Układ neuroednokrynny występuje u bezkręgowców i reguluje takie procesy, jak: regeneracja (np. u stułbi, płazińców), zmiana barwy ciała (u skorupiaków), produkcja gamet, zachowania godowe czy metabolizm. U kręgowców neurohormony produkowane przez podwzgórze oddziałują na przysadkę – centralny gruczoł dokrewny;
- **sygnalizacja autokrynna**, w której hormon działa na komórki wytwarzające go;
- **sygnalizacja parakrynna**, w której hormon działa na inne (sąsiednie) komórki docelowe (**ryc. II.20.3.**).

regulacja hormonalna
receptory

Regulacja hormonalna polega na związaniu się hormonu ze swoistym dla niego **białkiem receptorowym** w komórce docelowej. Wzajemne dopasowanie hormonu i receptora jest podstawą specyficzności działania układu dokrewnego. Ilość receptorów komórkowych dla hormonów podlega ścisłej regulacji (wzmocnieniu

A **Klasyczna sygnalizacja endokrynna**

Komórki gruczołu dokrewnego uwalniają hormony, które są transportowane przez krew.



B **Sygnalizacja neuroendokrynna**

Komórki neurosekrecyjne uwalniają neurohormony, które są transportowane przez krew lub przenikają do płynu międzykomórkowego.

C **Sygnalizacja autokrynna**

Hormon działa na komórkę, która go produkuje.

D **Sygnalizacja parakrynna**

Hormon przenika do płynu międzykomórkowego i działa na sąsiednie komórki docelowe.

Ryc. II.20.3. Rodzaje sygnalizacji hormonalnej.

lub obniżeniu). W sytuacji zbyt wysokiego stężenia hormonów dochodzi do spadku liczby specyficznych dla nich receptorów, co skutkuje zmniejszeniem wrażliwości komórek na ten hormon. W przeciwnej sytuacji, czyli przy spadku stężenia hormonów, liczba receptorów wzrasta, co skutkuje wzmocnieniem jego działania.

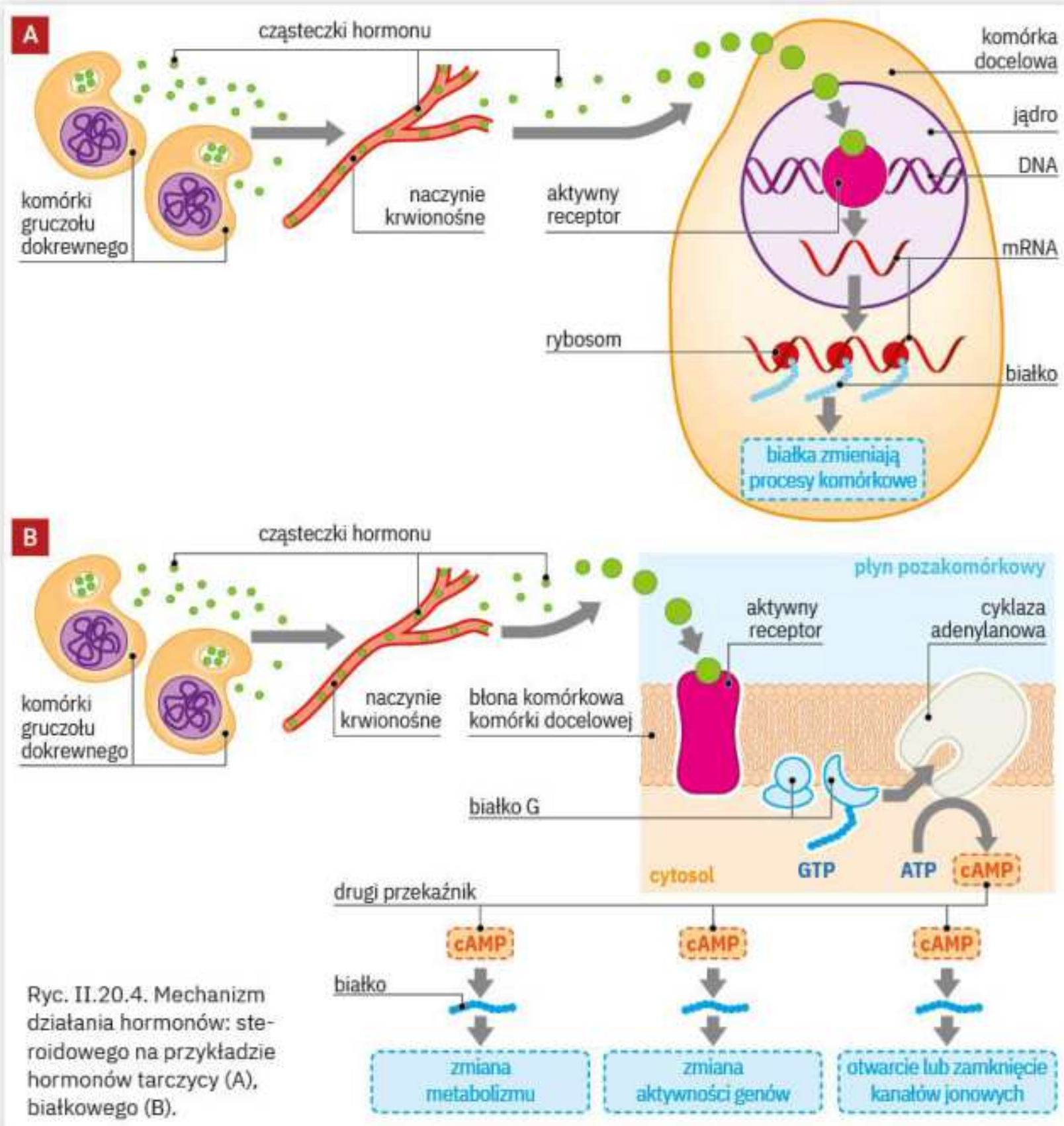
lokalizacja receptorów hormonów

Receptory dla hormonów znajdują się zarówno wewnątrz komórki (w cytoplazmie), jak i w błonie komórkowej. Hormony steroidowe przenikają przez błony komórkowe i łączą się z białkami receptorowymi w cytoplazmie. Na przykład hormony tarczycy przyłączają się do receptorów w jądrze komórkowym i regulują transkrypcję mRNA określonych białek. Z kolei hormony białkowe nie mogą przeniknąć bariery, jaką stanowi błona komórkowa, dlatego łączą się z receptorami na jej powierzchni. Po połączeniu z określonym receptorem zostaje zainicjowany **szlak przekazania sygnału**.

W jego trakcie informacja od pierwotnego bodźca hormonalnego dociera do docelowego miejsca w komórce (**ryc. II.20.4.**). Związanie hormonu z receptorem błonowym skutkuje aktywacją białka regulatorowego, zwanego **białkiem G**, które wiąże i wykorzystuje GTP (guanozynotrójfosforan) jako źródło energii. Powodowana tym procesem zmiana konformacji białka G prowadzi do aktywacji enzymu, tzw. cyklazy adenylowej, znajdującej się po wewnętrznej stronie błony. Cyklaza adenylowa przekształca ATP w **cykliczny AMP** (**cAMP**), który w tym procesie nosi nazwę drugiego przekaźnika. Związek ten aktywuje białka wewnątrz komórek, co prowadzi ostatecznie do zmian aktywności komórki. W opisanym kaskadowym procesie przekazywania sygnału drugim przekaźnikiem aktywowanym przez białko G mogą być także pochodne fosfolipidów (np. trójfosforan inozytolu).

białko G

cykliczny AMP



Ryc. II.20.4. Mechanizm działania hormonów: steroidowego na przykładzie hormonów tarczycy (A), białkowego (B).

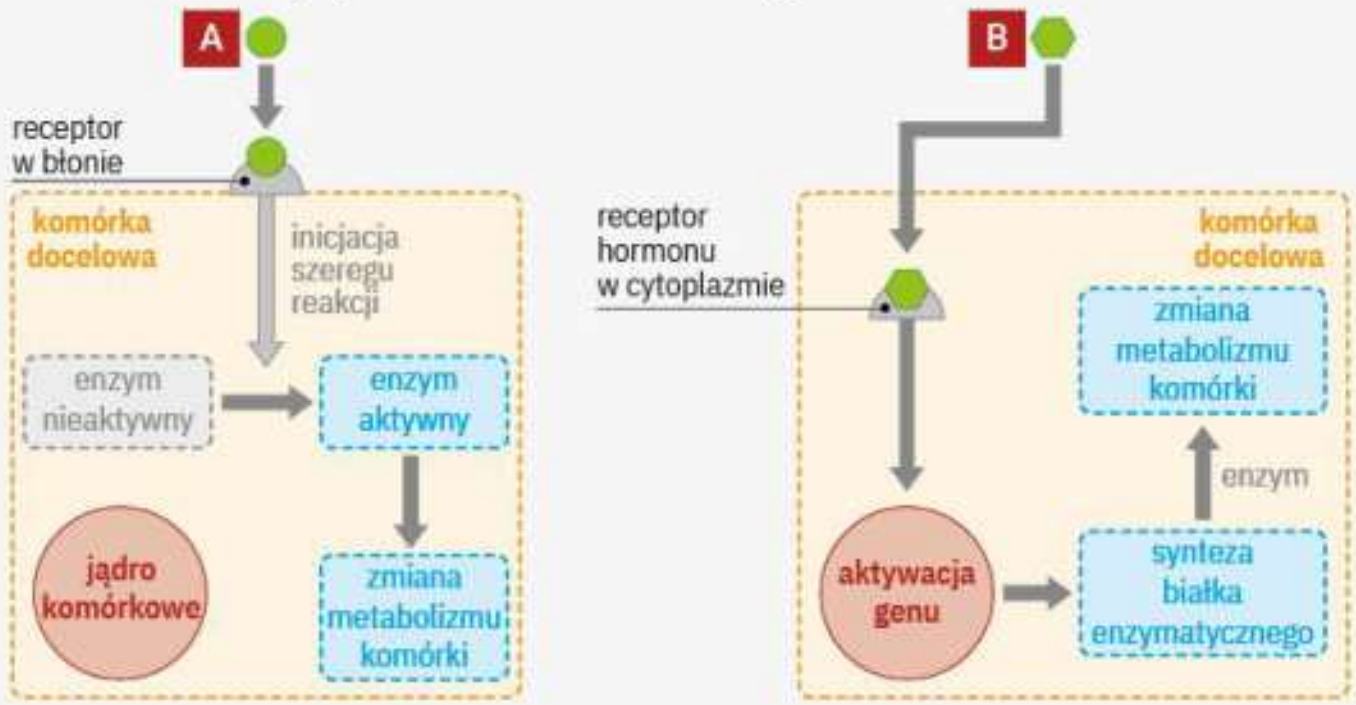
ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Narysuj w zeszycie tabelę dotyczącą rodzajów hormonów, które wyróżnia się na podstawie ich budowy. Następnie przyporządkuj wymienione hormony do jednej z trzech grup.

   adrenalina, melatonina, insulina, kortyzol, testosteron, wzrostu, tyroksyna, progesteron

2. Wyjaśnij, na czym polega różnica między sygnalizacją autokrynną i parakrynną.

3. Zdecyduj, który z rysunków (A czy B) przedstawia mechanizm działania hormonu białkowego. Omów różnice między działaniem hormonów obu typów.



PODSUMOWANIE LEKCJI

- **Hormony** są pochodnymi aminokwasów (np. adrenalina), polipeptydami (np. insulina), steroidami- (kortyzol, testosteron, estrogeny, hormon). s. 266
- **Hormony** mogą działać ogólnoustrojowo (np. hormony tarczycy, przysadki) i lokalnie (np. gastryna). s. 266
- Do **hormonów tkankowych** zaliczamy erytropoetynę, gastrynę czy histaminę. s. 268
- **Sygnalizacja hormonalna** odbywa się klasyczną drogą endokrynną, neuroendokrynną, autokrynną oraz parakryną. s. 268
- Hormony wiążą się z **receptorami** w obrębie komórek docelowych i modyfikują ich aktywność. s. 268
- **Liczba receptorów** dla hormonów jest ściśle regulowana (zwiększana lub zmniejszana). s. 268
- Receptory dla hormonów steroidowych **znajdują się wewnątrz komórek**. Hormony tarczycy wiążą się z receptorami białkowymi w jądrze komórkowym i wpływają na transkrypcję mRNA określonych białek. s. 269
- Hormony białkowe łączą się z receptorami błonowymi i aktywują szlak przekazywania sygnału zależny do **białka G**. s. 270
- **Białko G** po związaniu GTP zmienia konformację i aktywują enzym cyklazę adenylową, która katalizuje wytworzenie cyklicznego AMP. s. 270
- **Cykliczny AMP** jest drugim przekaźnikiem, który aktywuje białka wewnątrz komórki, co prowadzi do zmiany ich aktywności. Drugimi przekaźnikami mogą być także pochodne fosfolipidów. s. 270

21. Budowa i funkcje układu hormonalnego człowieka

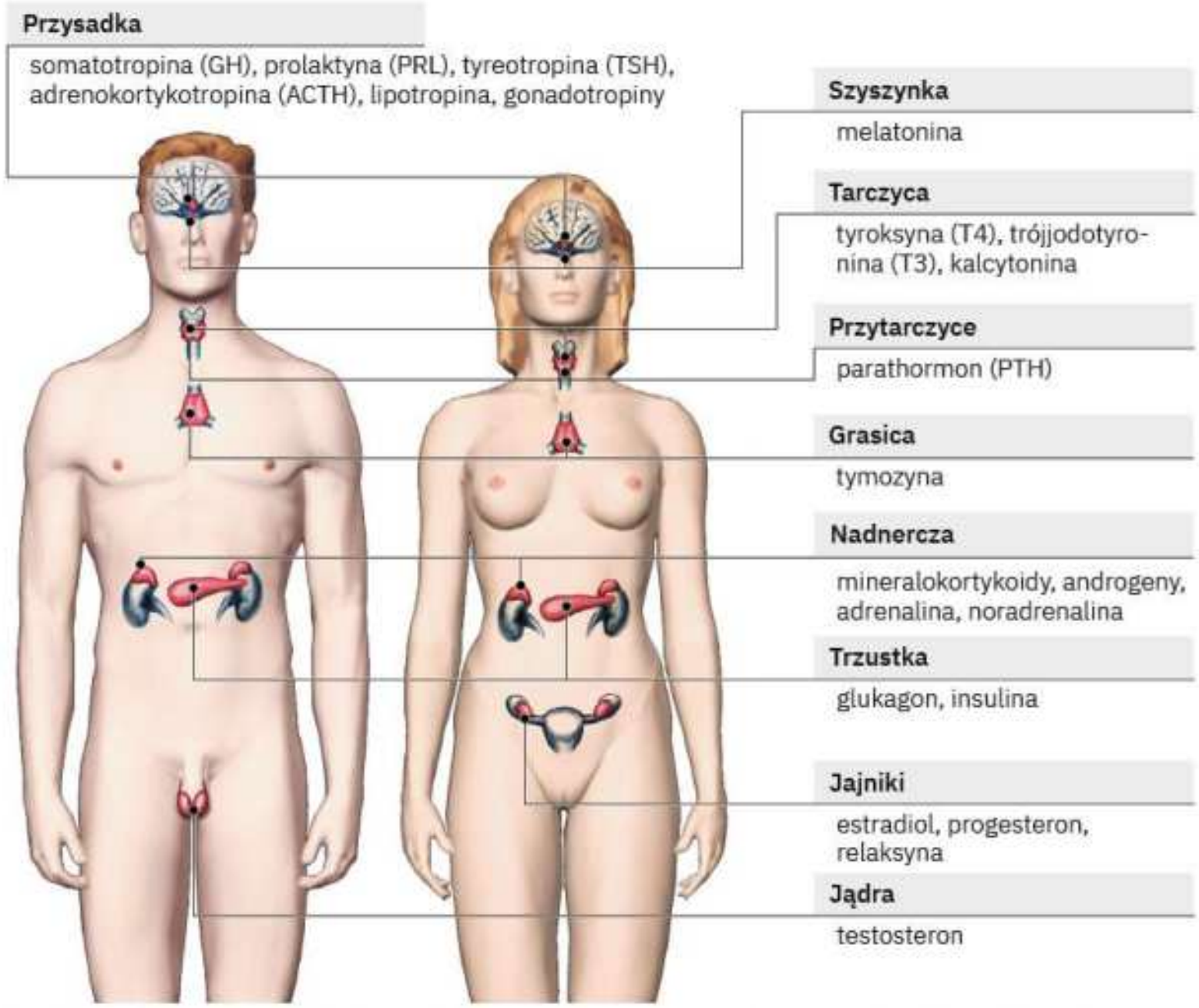
NA TEJ LEKCJI:

- poznasz rodzaje gruczołów dokrewnych i hormonów przez nie wydzielanych;
- dowiesz się, w jaki sposób zachodzi regulacja wydzielania i działania hormonów.

Gruczoły dokrewne i hormony przez nie wydzielane

gruczoły dokrewne

Gruczoły dokrewne są rozrzucone po całym organizmie (**ryc. II.21.1.**).



Ryc. II.21.1. Gruczoły układu hormonalnego są zlokalizowane w różnych częściach organizmu. Każdy z gruczołów wydziela określony typ hormonów.

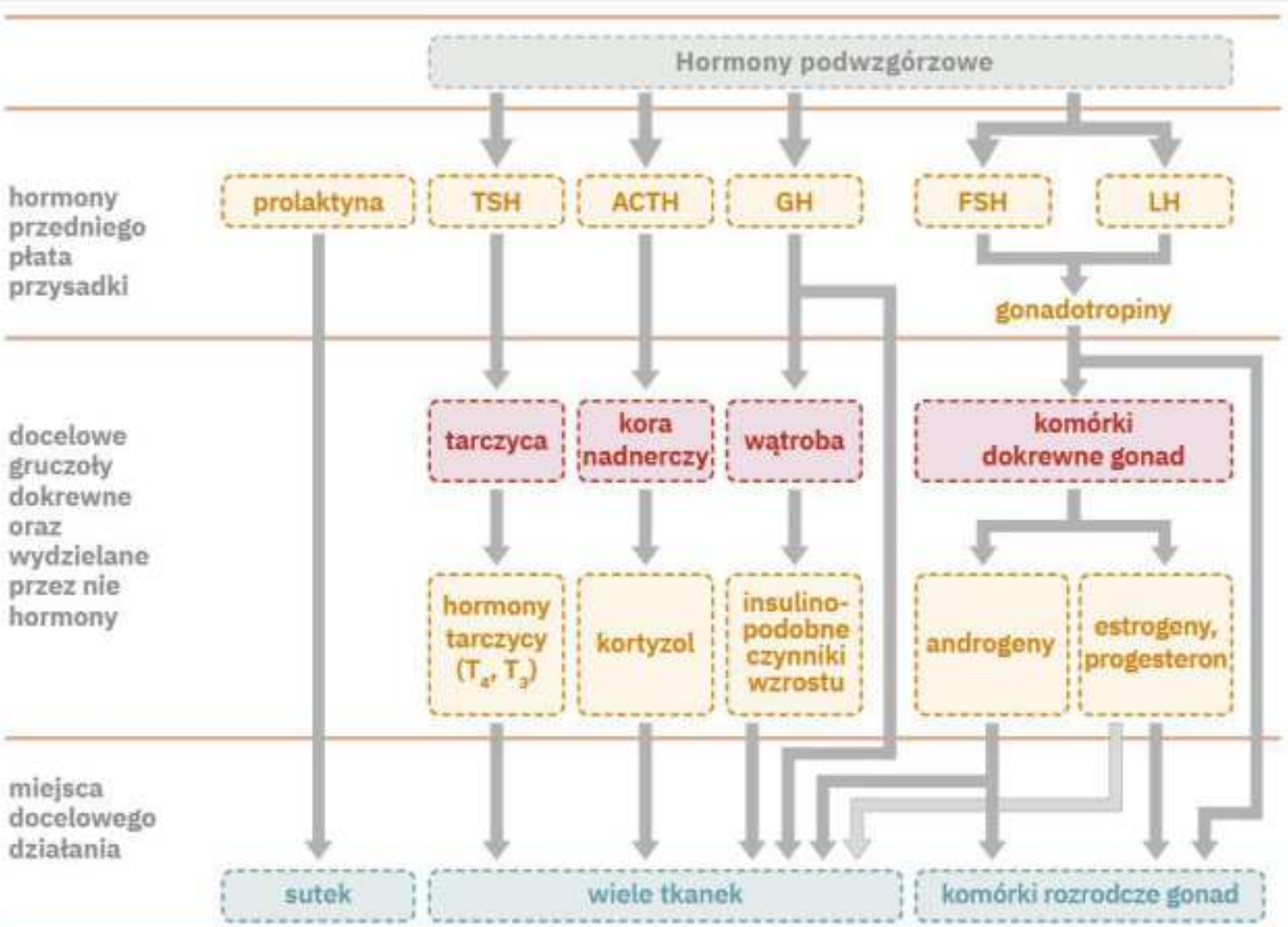
Regulacja wydzielania hormonów

wydzielanie hormonów

Prawidłowe działanie hormonów zależy od właściwego ich stężenia, gdyż każde odchylenie od normy prowadzi do poważnych zaburzeń w funkcjonowaniu organizmu. Niebezpieczny jest zarówno niedobór hormonów, jak i ich nadmiar (**tab. II.21.1.**). Regulacja stężenia hormonów w płynach ustrojowych podlega bardzo precyzyjnej kontroli.

Aktywność wydzielniczą organizmu reguluje **podwzgórze**, czyli część mózgu odgrywająca rolę strukturalno-funkcjonalnego „łącznika" między układami nerwowym i hormonalnym (**ryc. II.21.2.**). Podwzgórze jest połączone naczyniami krwionośnymi z **przysadką mózgową** i za pośrednictwem krwi reguluje jej aktywność. W odpowiedzi na określony bodziec podwzgórze produkuje **hormony pobudzające** lub **hamujące**, które wpływają na produkcję hormonów w przysadce. Przysadkę budują trzy płaty: tylny, środkowy i przedni (**ryc. II.21.2.**). Wydzielane w podwzgórzu hormony docierają do przedniego i środkowego płata przysadki, która pod ich wpływem uwalnia **hormony tropowe** regulujące aktywność innych gruczołów dokrewnych, np. tarczycy, kory nadnerczy czy gonad. Tylny płat magazynuje i uwalnia hormony produkowane w podwzgórzu: oksytocynę i wazopresynę. Ze względu na swoją funkcję przysadka jest nazywana **nadrzędnym gruczołem wydzielniczym**, a opisany układ – **osią podwzgórzowo-przysadkową** (**ryc. II.21.2.**).

oś podwzgórzowo-przysadkowa



Ryc. II.21.2. Oś podwzgórzowo-przysadkowa (skrócone nazwy hormonów przedniego płata przysadki objaśniono w tabeli II.21.1.).

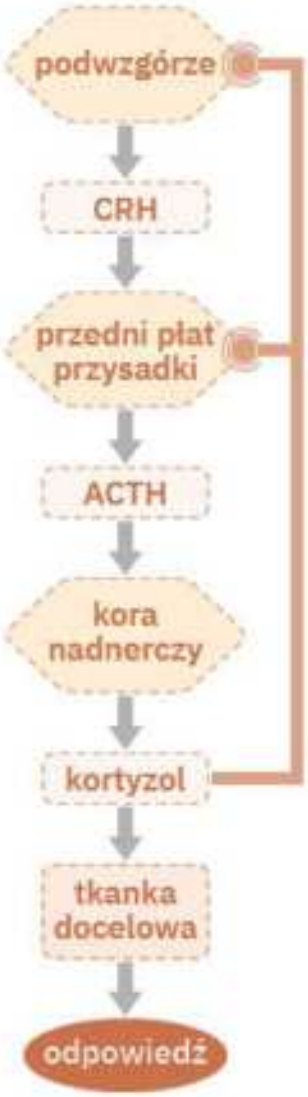
Tab. II.21.1. Hormony osi podwzgórzowo-przysadkowej

Hormony przedniego płata przysadki	Podwzgórzowe hormony uwalniające	Podwzgórzowe hormony hamujące
prolaktyna		dopamina
tyreotropina, hormon tyreotropowy (TSH)	hormon uwalniający tyreotropinę (TRH)	
hormon adrenokortykotropowy (ACTH)	hormon uwalniający kortykotropinę (CRH)	
hormon wzrostu (GH), somatotropina	hormon uwalniający hormon wzrostu (GHRH)	somatostatyna, hormon hamujący hormon wzrostu
gonadotropiny: hormon folikulotropowy (FSH), hormon luteinizujący (LH)	hormon uwalniający gonadotropinę (GnRH)	

ujemne sprzężenie zwrotne

Ujemne sprzężenie zwrotne

Utrzymanie homeostazy organizmu zależy od właściwego stężenia hormonów. Ponieważ ich działanie dotyczy całego organizmu, wymaga ono koordynacji na wielu etapach. Przykładem jest mechanizm **sprzężenia zwrotnego ujemnego**, działający na zasadzie pętli, w której końcowa odpowiedź (uwolnienie hormonu) stanowi informację zwrotną dla bodźca wyjściowego (przysadki). Pozwala to na utrzymanie stabilności całego układu oraz stężenia hormonów na żądanym poziomie. Mechanizm sprzężenia zwrotnego ujemnego dotyczy wielu hormonów, m.in. kory nadnerczy, tarczycy czy gonad.



Ryc. II.21.3. Regulacja działania kortyzolu odbywa się na zasadzie ujemnego sprzężenia zwrotnego.

Zasada działania została przedstawiona na przykładzie kortyzolu – najważniejszego hormonu kory nadnerczy (**ryc. II.21.3.**). Jego główną rolą jest ochrona przed spadkiem poziomu glukozy we krwi (hipoglikemią). Ochrona ta odbywa się przez regulację pracy glukagonu, a ponadto pobudzanie glukoneogenezy, czyli rozpadu tłuszczów i białek w mięśniach szkieletowych. Wydzielanie kortyzolu spada w nocy, a wzrasta rano oraz w czasie stresu. Szlak kontroli jego wydzielania na osi podwzgórzowo-przysadkowo-nadnerczowej rozpoczyna się od hormonu pobudzającego produkowanego przez podwzgórze (CHR) i uwalnianego do przedniego płata przysadki. Hormon ten pobudza uwalnianie z przysadki kortykotropiny (ACTH), która z kolei pobudza syntezę i wydzielanie kortyzolu. Jego wydzielanie działa jak sygnał zwrotny dla ujemnego sprzężenia zwrotnego. Ten sygnał hamuje wydzielanie odpowiednich hormonów – podwzgórzowego i przysadkowego (**ryc. II.21.3.**). Kontrola wydzielania hormonów tarczycy oraz hormonów gonad przebiega według tego samego wzorca: podwzgórze – przysadka – gruczoł dokrewny (tarczyca, jajniki lub jądra).

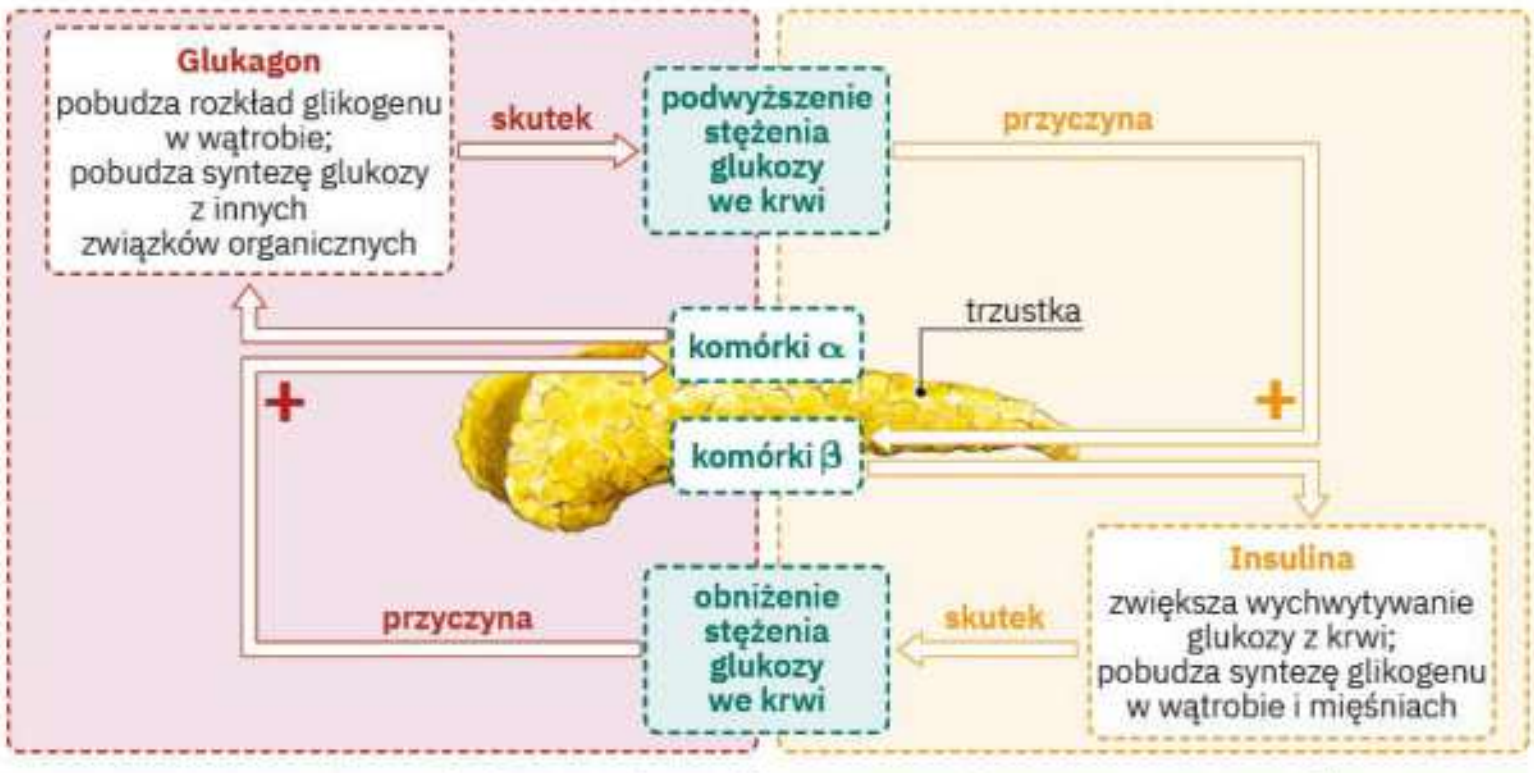
Antagonistyczne działanie hormonów

hormony antagonistyczne

Działanie niektórych hormonów jest przeciwstawne (antagonistyczne). W taki sposób działają np. hormony wydzielane przez komórki wysp trzustki: insulina i glukagon, oraz hormony regulujące gospodarkę wapniową organizmu.

Większość wapnia w organizmie (aż 99%) znajduje się w kościach. Reszta wapnia pełni kilka ważnych funkcji fizjologicznych, m.in. w procesie krzepnięcia krwi, w szlakach sygnałowych czy w regulacji pobudliwości komórek nerwowych. Obrót jonami Ca^{2+} w organizmie jest regulowany przez dwa hormony: **parathormon** wydzielany przez przytarczyce oraz **kalcytoninę** produkowaną przez tarczycę. Główną funkcją parathormonu jest podnoszenie poziomu Ca^{2+} w osoczu, m.in. poprzez zwiększenie jego uwalniania z kości lub zwiększenie wchłaniania w jelitach. Z kolei kiedy poziom Ca^{2+} w osoczu wzrasta, zostaje uwolniona kalcytonina, która obniża jego poziom. Hormon ten wpływa na zmniejszenie uwalniania Ca^{2+} z kości i zwiększenie wydalania wapnia przez nerki. Oprócz wymienionych hormonów gospodarkę wapniową reguluje także **kalcytriol**, czyli **witamina D_3**. Zwiększa on wchłanianie wapnia w jelitach.

Utrzymywanie stałego poziomu glukozy we krwi zależy od przeciwstawnego działania dwóch hormonów: **insuliny** i **glukagonu** (**ryc. II.21.4.**). Insulina obniża stężenie glukozy we krwi, a glukagon je podnosi. Wzrost stężenia glukozy (np. po posiłku) stymuluje wydzielanie insuliny. Spadek stężenia glukozy następuje m.in. w wyniku pobudzania przez insulinę transportu glukozy do komórek oraz wzmacniania syntezy glikogenu. Z kolei podwyższanie stężenia glukozy we krwi przez glukagon odbywa się np. poprzez stymulację rozkładu glikogenu do glukozy. Jego wydzielanie wzrasta w okresach między posiłkami, w czasie głodówki oraz w trakcie wzmożonego wysiłku fizycznego (**ryc. II.21.4.**).



Ryc. II.21.4. Antagonistyczne działanie insuliny i glukagonu pozwala na utrzymanie prawidłowego stężenia glukozy we krwi.

cukrzyca

Cukrzyca – przewlekłe podwyższenie poziomu glukozy we krwi

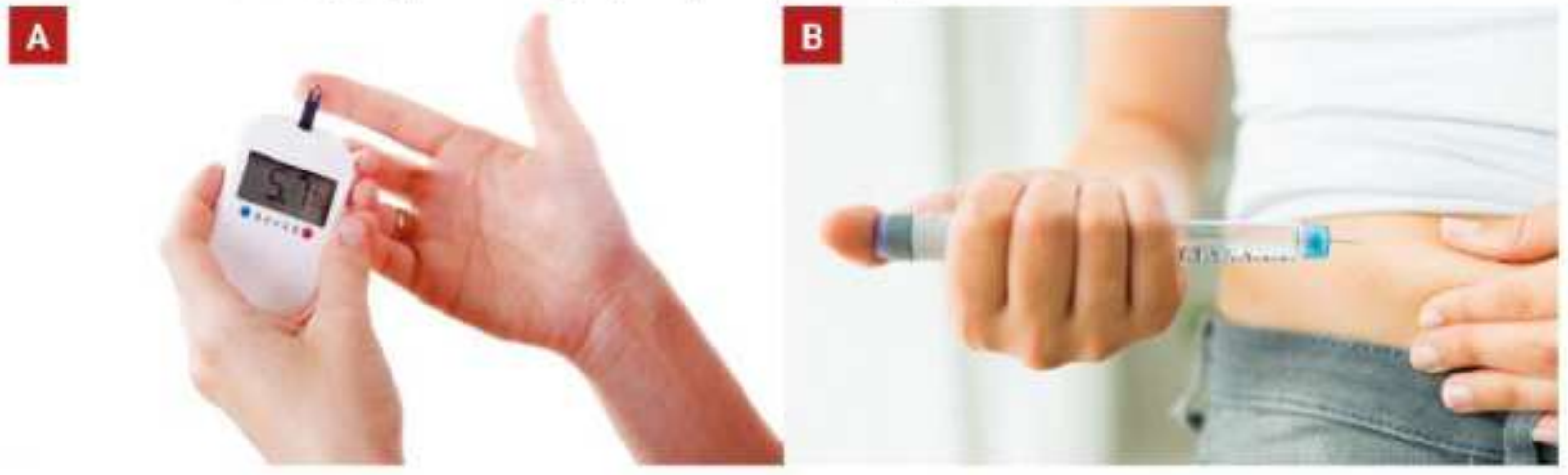
Cukrzyca objawia się wysokim poziomem glukozy we krwi. Jest to choroba cywilizacyjna, która dotyka coraz więcej ludzi na całym świecie (dane z 2019 r. mówią o prawie 430 mln ludzi na świecie, w Polsce ponad 2 mln). Cukrzyca prowadzi do zaburzeń kardiologicznych, neurologicznych, obniżenia odporności, utraty wzroku czy chorób nerek, a tym samym zwiększa ryzyko przedwczesnej śmierci. Przyczyny

cukrzyca typu I

cukrzycy są dwojakiego rodzaju. W przypadku **cukrzycy typu I** stwierdza się niedobór insuliny będący efektem niszczenia przez organizm własnych komórek trzust-

cukrzyca typu II

ki (autoagresja). W **cukrzycy typu II** insulina występuje w prawidłowej ilości, ale komórki mają upośledzoną zdolność do jej wiązania i wykorzystania. Porównanie obu typów cukrzycy przedstawiono w **tabeli II.21.2.** Znaczny wzrost zachorowań na cukrzycę typu II jest związany z otyłością i siedzącym trybem życia. Dlatego profilaktyka cukrzycy polega na racjonalnym odżywianiu, utrzymywaniu właściwej masy ciała, zwiększeniu aktywności fizycznej oraz regularnym kontrolowaniu poziomu glukozy we krwi. Leczenie cukrzycy typu II rozpoczyna się poprzez modyfikację diety i wzmożenie aktywności fizycznej. Jeśli to nie przynosi skutków, stosuje się insulinoterapię (podawanie insuliny w zastrzykach) (**ryc. II.21.5.**). W wypadku cukrzycy typu I chorym podaje się insulinę.

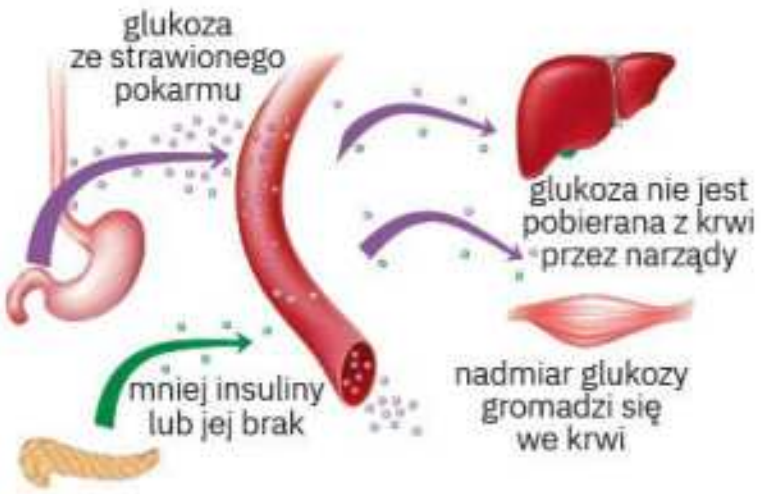


Ryc. II.21.5. Dobowe pomiary poziomu glukozy we krwi wykonuje się za pomocą glukometru (A). Leczenie cukrzycy często wymaga podawania insuliny w zastrzykach (B).

Tab. II.21.2. Porównanie cukrzycy typu I i II

Cecha	Cukrzyca typu I	Cukrzyca typu II
Przyczyna	niedobór insuliny w organizmie (choroba autoimmunizacyjna)	upośledzona zdolność wiązania insuliny (choroba cywilizacyjna)
Wiek zachorowania	6. miesiąc życia – wczesna dorosłość	okres dojrzewania lub później
Objawy	ostre, gwałtowne (nagłe chudnięcie, częstomocz, silne pragnienie)	powoli narastające w czasie, początkowo niezauważalne (senność, zmęczenie, sucha skóra)
Częstotliwość badania poziomu cukru we krwi	kilka razy w ciągu doby	raz na jakiś czas
Leczenie	zawsze insuliną	dieta, rzadziej insulina
Częstość występowania	ok. 10% zachorowań na cukrzycę	ok. 90% wszystkich zachorowań na cukrzycę

osoba zdrowa

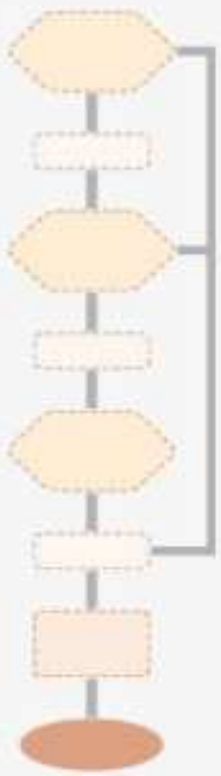


osoba z cukrzycą typu I

osoba z cukrzycą typu II

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Przerysuj schemat do zeszytu. Dorysuj groty strzałek, tak aby schemat obrazował szlak kontroli i mechanizm sprzężenia zwrotnego wydzielania kortyzolu. Podpisz następujące elementy: podwzgórze, przysadka, nadnercze.
2. Wyjaśnij mechanizm hormonalnej regulacji gospodarki wapniowej w organizmie.
3. Wytlumacz, czym różnią się przyczyny i objawy cukrzycy typu I i II.
4. W dostępnych źródlach znajdź aktualne informacje dotyczące liczby zachorowań na oba typy cukrzycy oraz liczbę zgonów będących wynikiem tej choroby. Sporządź wykresy w zeszycie.



PODSUMOWANIE LEKCJI

s. 273
- Układ dokrewny działa za pośrednictwem **hormonów wydzielanych do krwi.**

s. 272
- **Gruczoły dokrewne** znajdują się w różnych miejscach organizmu: przysadka, tarczyca, przytarczyce, szyszynka, grasica, nadnercza, trzustka, jajniki, jądra.

s. 273
- Aktywność wydzielnicza gruczołów dokrewnych jest regulowana na **osi podwzgórze–przysadka–gruczoł dokrewny**. Podwzgórze uwalnia hormony pobudzające lub hamujące, które wpływają na produkcję hormonów tropowych w przysadce, a te z kolei regulują wydzielanie hormonów w gruczole docelowym (np. w nadnerczach).

s. 274
- Wydzielanie hormonów jest regulowane m.in. poprzez **mechanizm ujemnego sprzężenia zwrotnego** – uwolnienie hormonu stanowi informację zwrotną dla przysadki i podwzgórza w celu zahamowania jego dalszego wydzielania.

s. 274
- Na zasadzie **ujemnego sprzężenia zwrotnego** jest regulowane wydzielanie m.in. kortyzolu, hormonów tarczycy czy hormonów gonad.

s. 275
- Działanie niektórych hormonów jest **przeciwstawne (antagonistyczne)**, np. insulina obniża poziom glukozy we krwi, a glukagon go podnosi, parathormon podnosi poziom wapnia w osoczu, a kalcytonina go obniża.

s. 276
- **Cukrzyca** to choroba cywilizacyjna, która objawia się wysokim poziomem glukozy we krwi.

s. 276
- Przyczyną **cukrzycy typu I** jest niedobór insuliny będący efektem niszczenia przez organizm własnych komórek trzustki. W cukrzycy typu II występuje upośledzenie wiązania i wykorzystania insuliny.

s. 276
- Ryzyko zachorowania na **cukrzycę typu II** jest większe u osób z otyłością i prowadzących siedzący tryb życia. Nieleczona cukrzyca przyczynia się do powstawania poważnych powikłań zdrowotnych.

22. Fizjologiczna rola hormonów

NA TEJ LEKCJI:

- dowiesz się, w jaki sposób hormony regulują wzrost i tempo metabolizmu;
- poznasz rolę hormonów w reakcjach na stres;
- zapoznasz się ze skutkami niedoboru lub nadmiaru hormonów w organizmie.

Hormony wydzielane przez gruczoły dokrewne wpływają na szereg funkcji fizjologicznych w naszym organizmie. Do najważniejszych z nich należy regulacja wzrostu i tempa metabolizmu. Hormony odgrywają także kluczową rolę w reakcjach na stres.

Hormonalna kontrola metabolizmu i rozwoju

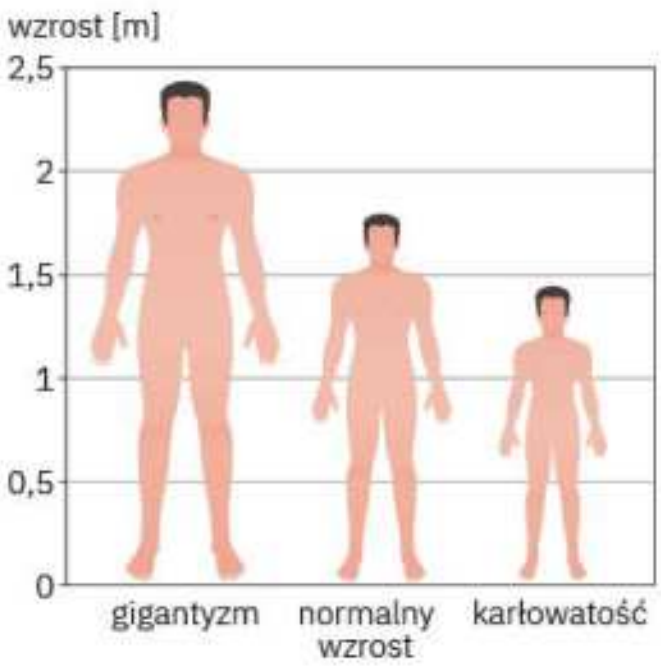
wzrost człowieka

Wzrost człowieka jest procesem ciągłym, ale nie stałym. Szybkość rozwoju jest najwyższa w pierwszych dwóch lata życia i w okresie dojrzewania. Prawidłowy wzrost zależy od wielu czynników, takich jak: dieta, brak przewlekłego stresu, uwarunkowania genetyczne, oraz od hormonów, głównie tarczycy, hormonu wzrostu, insuliny i hormonów płciowych. U człowieka przemiany metaboliczne są regulowane przez hormony tarczycy. Tarczyca jest zbudowana z dwóch typów komórek. Jedne z nich wydzielają kalcytoninę (omówiona w rozdz. II.22.), a drugie – **hormony tarczycy**, czyli **trójjodotyroninę** (T_3, FT_3) oraz **tyroksynę** (T_4, FT_4). Hormony te zawierają jod, dlatego prawidłowe funkcjonowanie tarczycy zależy od wystarczającej ilości tego pierwiastka w diecie. Hormony tarczycy są niezbędne do prawidłowego wzrostu i rozwoju u dzieci, gdyż wpływają na właściwe działanie hormonu wzrostu oraz są istotne dla rozwoju kości. Niemowlęta z niedoborem tych hormonów wymagają natychmiastowego leczenia, bez którego będą opóźnione w rozwoju. U dorosłych główną funkcją hormonów tarczycy jest dostarczanie substratów (głównie glukozy) do metabolizmu tlenowego i zwiększanie zużycia tlenu w tkankach. Nasilenie przemian dostarczających energii zachodzi m.in. w wyniku pobudzania przez te hormony rozkładu glikogenu w wątrobie, a także stymulację rozkładu tłuszczów w tkankach. Hormony te odpowiadają również za utrzymanie prawidłowego ciśnienia krwi, tętna, napięcia mięśniowego. Zmiany poziomu hormonów tarczycy (nadczynność i niedoczynność tarczycy) prowadzą do poważnych zaburzeń metabolicznych (**tab. II.22.1.**).

hormony tarczycy

hormon wzrostu

Hormon wzrostu (GH, z ang. *growth hormone*, czytaj: grołt hormon) jest wydzielany przez całe życie, ale największe znaczenie ma u dzieci. Uwalnia go przedni płat przysadki, a największe jego wydzielanie ma miejsce w pierwszych godzinach snu. Hormon wzrostu pobudza syntezę białek, przez co stymulowany jest wzrost tkanek, kości i chrząstki. Ponadto hormon wzrostu pobudza rozpad tłuszczów i uwalnianie glukozy z wątroby. Niedobór hormonu wzrostu w dzieciństwie prowadzi do **karłowatości**, z kolei jego nadmierne wydzielanie – do **gigantyzmu** (**ryc. II.22.1.**). U dorosłych wysoki poziom GH powoduje **akromegalię**.



Ryc. II.22.1. Niedobór hormonu wzrostu prowadzi do karłowatości, a jego nadmiar – do gigantyzmu.

Hormonalna kontrola reakcji na stres

hormony w reakcji na stres

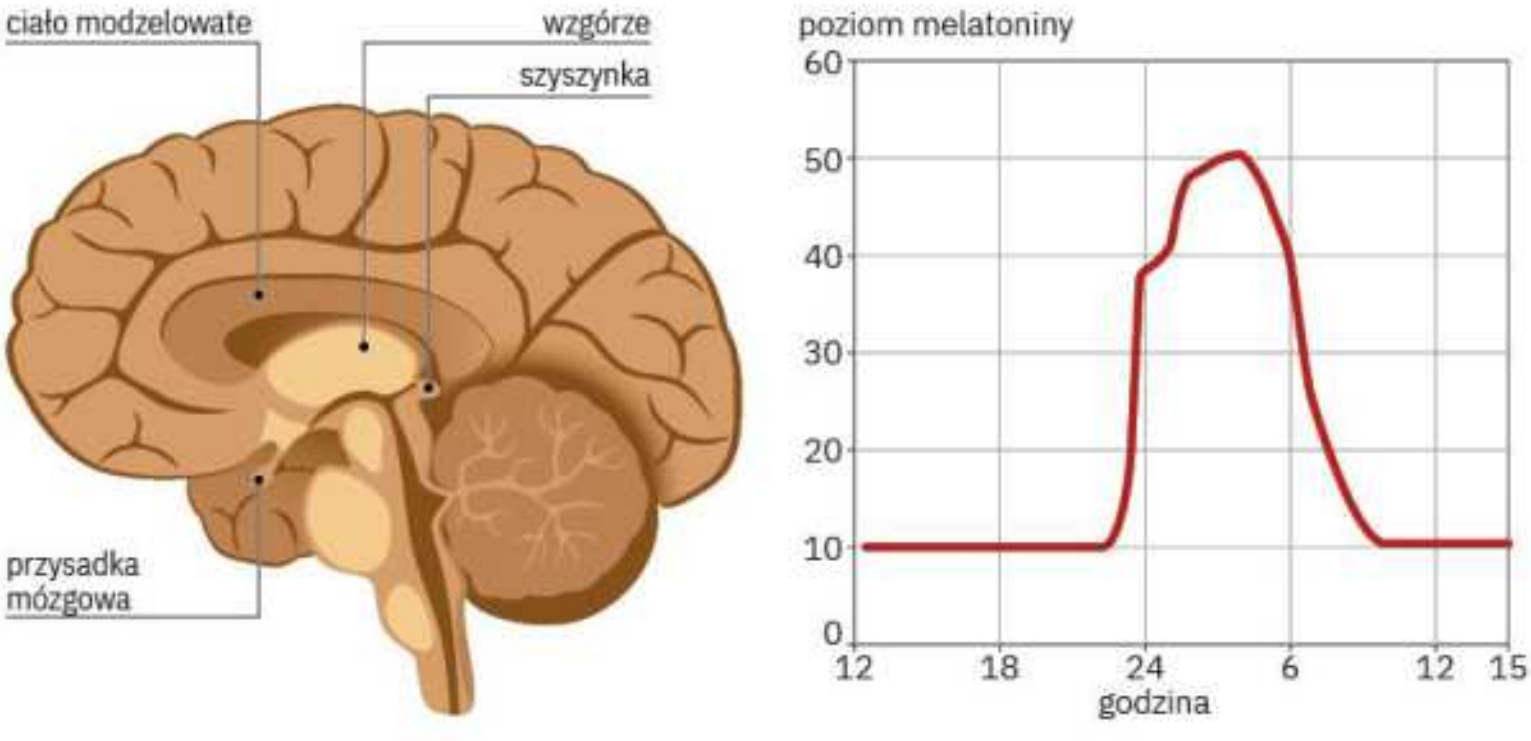
Główną rolę w reakcjach na stres odgrywają hormony nadnerczy. Nadnercza są zbudowane z zewnętrznej warstwy, czyli **kory**, oraz centralnie położonego **rdzenia**. Zmianami fizjologicznymi zachodzącymi pod wpływem stresu (przyspieszony od-

dech i tętno, tężenie mięśni) sterują hormony rdzenia nadnerczy: **adrenalina** oraz **noradrenalina**. Ich głównym zadaniem jest zmobilizowanie organizmu do wyzwolenia dużych ilości energii możliwej do natychmiastowego wykorzystania. Hormony te stymulują rozpad glikogenu w wątrobie i w mięśniach szkieletowych oraz rozkład tłuszczów w tkance tłuszczowej. Produkty tych reakcji – glukoza oraz kwasy tłuszczowe – stanowią źródło energii dla komórek uczestniczących w reakcjach „walcz lub uciekaj". Dodatkowo adrenalina i noradrenalina powodują wzrost częstotliwości skurczów serca oraz rozszerzenie oskrzelików, co zwiększa ilość tlenu dostarczanego do tkanek. To działanie adrenaliny jest także wykorzystywane u chorych na astmę. W razie ataku astmy adrenalina rozszerza drogi oddechowe i pobudza czynność serca. W reakcji na stres oprócz rdzenia nadnerczy bierze udział także kora tego gruczołu. Wydziela dwa typy hormonów: glikokortykosteroidy oraz mineralokortykosteroidy. Do glikokortykosteroidów należy kortyzol, którego udział w reakcjach na stres opisano w rozdziale II.22. Mineralokortykosteroidy, do których zalicza się **aldosteron**, uczestniczą głównie w utrzymaniu równowagi jonowej i wodnej, m.in. krwi. Stymulowane przez aldosteron w reakcji na silny stres wzmożone wchłanianie jonów sodu i wody prowadzi do wzrostu objętości oraz ciśnienia krwi.

Hormonalna kontrola rytmu dobowego

melatonina

Funkcje organizmu związane z długością dnia i nocy (zmianami natężenia światła w różnych porach roku) reguluje **melatonina**. Jest to hormon wydzielany przez **szyszynkę** – niewielki gruczoł znajdujący się w mózgu ssaków (**ryc. II.22.2.**). Melatonina uwalnia się w nocy, a jej ilość zależy od długości nocy – im dłuższa noc, tym większa ilość wydzielonego hormonu (tak jest m.in. w zimie). Jest przekaźnikiem, który przesyła informacje o cyklu światło–ciemność do ośrodka w mózgu, który kieruje zegarem biologicznym. Melatonina reguluje cykl sen–czuwanie, a ponadto jest silnym antyoksydantem.



Ryc. II.22.2. Szyszynka wydziela melatoninę w godzinach nocnych.

Choroby układu dokrewnego

Zachowanie zdrowia zależy od równowagi między hormonami, ponieważ w przypadku jej zaburzenia rozwijają się choroby. Do najważniejszych przyczyn chorób endokrynologicznych należą nadmiar i **niedobór hormonów**. Dodatkowo zaburzenia czynności hormonów mogą także być związane z niewłaściwą odpowiedzią tkanek docelowych na te substancje. Nadmiar hormonów wynika ze zwiększonego ich wydzielania (hipersekrecji), a jego przyczyną mogą być m.in. guzy, nowotwory, uszkodzenia czy zanik gruczołu dokrewnego. Podobnie objawy niedoboru hormonu pojawiają się na skutek zbyt małej jego ilości (hiposekrecji). Zaburzenia pracy gruczołów dokrewnych prowadzące do nadmiernego ich uwalniania nazywamy **nadczynnością gruczołu.** W wypadku niedoboru hormonów mówimy o **niedoczynności gruczołu**. W **tabeli II.22.1.** przedstawiono najważniejsze skutki niedoboru i nadmiaru hormonów.

niedobór hormonów

nadczynność gruczołów

Tab. II.22.1. Skutki niedoboru i nadmiaru najważniejszych hormonów

Gruczoł	Hormony	Skutki niedoboru (niedoczynności gruczołu)	Skutki nadmiaru (nadczynności gruczołu)
Przysadka	hormony tropowe	zbliżone do zaburzeń gruczołów, na które działają	
	hormon wzrostu	niedobór w dzieciństwie – karłowatość (właściwe proporcje ciała, ale niski wzrost)	w okresie wzrostu – gigantyzm (olbrzymi, ale proporcjonalny wzrost), po zakończeniu wzrostu – akromegalia (powiększanie się części ciała – dłoni, stóp, serca)
Szyszynka	melatonina	przyspieszone dojrzewanie	obniżenie płodności, opóźnienie dojrzewania
Tarczyca	tyroksyna (T_4) trójjodotyronina (T_3)	powiększenie tarczycy (wole endemiczne), u dorosłych obrzęk śluzowaty (sucha szorstka skóra, nalana twarz), u dzieci ogólny niedorozwój umysłowy i fizyczny	choroba Gravesa–Basedowa (autoimmunologiczna) – utrata masy ciała, szybka przemiana materii, wole, zwiększona pobudliwość nerwowa, drżenie rąk, wytrzeszcz oczu
Przytarczyce	parathormon	zwiększona pobudliwość nerwowa (mrowienie, skurcze mięśni szkieletowych lub oddechowych)	demineralizacja kości, bóle kostne, utrudnione chodzenie; złogi wapnia w nerkach
Nadnercza	adrenalina noradrenalina (rdzeń nadnerczy)	–	skoki ciśnienia, utrata masy ciała, wysoki poziom glukozy we krwi (hiperglikemia)
	kortyzol (kora nadnerczy)	choroba Addisona: brak łaknienia, wymioty, bóle brzucha, spadek masy ciała, przebarwienia skóry	zespół Cushinga: odkładanie tłuszczu na twarzy i karku, zaburzenia metabolizmu lipidowego i węglowodanowego, spadek odporności

Gruczoł	Hormony	Skutki niedoboru (niedoczynności gruczołu)	Skutki nadmiaru (nadczynności gruczołu)
Trzustka	insulina (komórki B trzustki)	związany z cukrzycą typu I	hipoglikemia – zmniejszenie poziomu cukru we krwi, utrata przytomności, ryzyko śmierci
	glukagon (komórki A trzustki)	–	–
Jądra	testosteron	sylwetka męska nabiera kobiecych kształtów, zaokrąglone biodra, pojawienie się piersi, łysienie, obniżone libido, zmęczenie, depresja	infekcje, stany zapalne, depresja
Jajniki	estrogeny	zaburzenia miesiączkowania, niepłodność, zanik drugorzędowych cech płciowych (męska sylwetka), nadmierne owłosienie, obniżenie barwy głosu, osteoporoza	zaburzenia miesiączkowania, wzrost ryzyka zakrzepów i zatorów, obrzęki i zastój wody, przyrost masy ciała, powiększenie piersi, migrena, wymioty, złe samopoczucie
	progesteron	zaburzenia miesiączkowania, poronienia, niepłodność, sucha skóra, wypadanie włosów	obrzęki, zastój wody, żylaki

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Skonstruuj w zeszycie tabelę, w której porównasz wpływ kortyzolu, hormonów tarczycy i hormonu wzrostu na metabolizm białek, węglowodanów oraz lipidów.

2. Przeczytaj informację dotyczącą wskazań do stosowania pewnego leku, który jest naturalnie występującym hormonem, a następnie wykonaj polecenia w zeszycie.

[...] *Wspomagająco w zaburzeniach rytmu dobowego snu i czuwania u niewidomych, zaburzeniach snu związanych z szybką zmianą stref czasowych w czasie podróży międzykontynentalnych (jet lag), zaburzeniach snu związanych z zaburzeniami rytmu snu i czuwania, np. w związku z pracą na zmiany. Monoterapia w krótkotrwałym leczeniu pierwotnej bezsenności, charakteryzującej się niską jakością snu, u pacjentów ≥55. r.ż.* [...].

a) Wymień hormon, którego dotyczy opis.

b) Wskaż gruczoł dokrewny, który produkuje ten hormon.

3. Wytłumacz, jaką wspólną cechę mają choroby: akromegalia, karłowatość i gigantyzm. Wyjaśnij różnice między nimi.

4. Wydzielanie hormonów tarczycy (FT_3, FT_4) jest regulowane na osi podwzgórze–przysadka–tarczyca. Podwzgórzowe hormony uwalniające stymulują wydzielanie przez przysadkę hormonu tyreotropowego (TSH), który pobudza tarczycę do uwalniana FT_3 i FT_4. Poniżej przedstawiono wynik badania pewnego pacjenta.

Wyniki badań laboratoryjnych		
Oznaczenie (jednostka)	**Wynik**	**Norma[a]**
TSH (mU/ml)	<0,005	0,27–4,2
FT_4 (ng/ml)	1,79	0,93–1,7
FT_3 (pg/ml)	4,64	2,57–4,43
przeciwciała anty-TSHR (U/l)	0,2	0–1
przeciwciała anty-TPO (U/ml)	33	0–50
przeciwciała anty-TG (U/ml)	358	0–100
[a] wartości referencyjne w laboratorium, w którym wykonano oznaczenie		

a) Określ, o czym świadczą przedstawione wyniki – o nadczynności czy niedoczynności tarczycy – u tego pacjenta.

b) W leczeniu niedoczynności tarczycy stosuje się lek będący syntetycznym odpowiednikiem tyroksyny (tzw. lewotyroksynę). Wyjaśnij, dlaczego używa się tego leku. Określ, jaki efekt wywołuje lewotyroksyna w niedoczynności.

PODSUMOWANIE LEKCJI

- Prawidłowy **wzrost człowieka** na poziomie hormonalnym jest regulowany przez aktywność wydzielniczą przysadki (hormon wzrostu), tarczycy (trójjodotyronina i tyroksyna), trzustki (insulina) oraz gonad (estrogeny, androgeny). s. 279
- **Hormony tarczycy** są niezbędne do prawidłowego wzrostu i rozwoju u dzieci, gdyż regulują prawidłowe działanie hormonu wzrostu i odpowiadają za rozwój kości. U dorosłych hormony te pobudzają procesy przemiany materii i zwiększają zużycie tlenu w tkankach. s. 279
- **Hormon wzrostu** pobudza syntezę białek, przez co stymuluje wzrost tkanek i kości. Pobudza rozpad tłuszczów i uwolnienie glukozy z wątroby. Maksimum jego wydzielania przypada na okres nocy. s. 279
- W **reakcji na stres** biorą udział hormony nadnerczy: adrenalina, noradrenalina, kortyzol i aldosteron. Ich rolą jest rozkład makrocząsteczek komórkowych (glikogenu, tłuszczów) i wyzwolenie energii do natychmiastowego wykorzystania w reakcjach „walki lub ucieczki". s. 279
- **Melatonina** wydzielana przez szyszynkę reguluje funkcje organizmu zależne od długości dnia i nocy. s. 280
- **Niedobór hormonów** wiąże się z niedoczynnością gruczołów dokrewnych i prowadzi do zaburzeń w funkcjonowaniu organizmu, np. niedobór hormonu wzrostu przyczynia się do karłowatości, a niedobór kortyzolu – do choroby Addisona. s. 281
- Nadmiar hormonów jest związany z **nadczynnością gruczołów dokrewnych** i prowadzi do poważnych chorób, np. choroby Gravesa–Basedowa w wypadku nadmiaru hormonów tarczycy. s. 281

23. Regulacja nerwowa u zwierząt

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz ewolucję układu nerwowego u bezkręgowców;
- poznasz ewolucję układu nerwowego u kręgowców;
- dowiesz się, jak przebiegała ewolucja mózgu u kręgowców.

Układ nerwowy jest odpowiedzialny za utrzymanie integracji organizmu z otoczeniem, regulację pracy narządów wewnętrznych i komunikację między nimi. Informacje ze środowiska zewnętrznego i wnętrza organizmu są odbierane przez receptory. Ich analiza w odpowiednich ośrodkach układu nerwowego i przekazanie efektorom pozwala organizmowi na przystosowanie się do życia w środowisku.

rozwój układu nerwowego

Ewolucja układu nerwowego była związana ze wzrostem rozmiarów ciała zwierząt. Zwiększenie się odległości między komórkami doprowadziło do powstania komórek, które zapewniły komunikację na większe dystanse. Następnym czynnikiem była tkankowa budowa ciała, zmiana symetrii z promienistej na dwuboczną, co wiązało się ze wzrostem aktywności zwierząt. Istotnym czynnikiem, który wpłynął na ewolucję układu nerwowego, był sposób zdobywania pokarmu. Pierwotne zwierzęta żyjące w wodzie pobierały pokarm w sposób bierny. Przejście do aktywnego zdobywania pokarmu – drapieżnictwa – wymusiło potrzebę skoordynowanej pracy wszystkich komórek. Taką funkcję przejęły komórki nerwowe, które dzięki wypustkom są zdolne do odbierania i przewodzenia bodźców nerwowych oraz reagowania na nie.

Układ nerwowy rozwinął się dopiero u zwierząt tkankowych. Wyróżnia się dwa typy układu nerwowego:

- **siateczkowy** (rozproszony) – zbudowany z sieci połączonych komórek nerwowych bez centrum kontrolnego; występuje u parzydełkowców;
- **centralizujący** – zawiera ośrodkowe centrum kontrolne; występuje u pozostałych zwierząt.

Ewolucja od siateczkowego układu nerwowego w kierunku centralizującego polegała na zwiększaniu różnorodności komórek nerwowych i ich koncentracji. Powstały **centra nerwowe** połączone z obwodowymi częściami ciała za pomocą wypustek. W efekcie tego procesu wyodrębniły się dwa modele budowy układu centralizującego:

- w postaci pnia położonego w brzusznej części ciała u zwierząt pierwoustych;
- w postaci cewy położonej w grzbietowej części ciała u strunowców.

Koncentracja komórek nerwowych w przedniej części ciała była wynikiem **cefalizacji**. Wyodrębnienie głowy, która jest odcinkiem ciała odbierającym wiele bodźców ze środowiska, m.in. pozwala zwierzęciu na wykrycie obecności drapieżnika

lub ofiary, doprowadziło do rozwoju ośrodków decydujących o szybkiej reakcji. Nastąpiła dalsza specjalizacja ośrodka centralnego w kierunku powstania mózgu.

Układ nerwowy bezkręgowców

Sposób życia bezkręgowców jest ściśle związany z budową i stopniem specjalizacji układu nerwowego.

układ nerwowy parzydełkowców

U **parzydełkowców** pojawił się najstarszy i najprostszy układ nerwowy – **dyfuzyjny** (rozproszony). Tworzą go komórki nerwowe połączone wypustkami. Powstała sieć nerwowa oplata całe ciało parzydełkowca. W układzie nie ma wyodrębnionego centrum nerwowego. Najwięcej komórek nerwowych koncentruje się w miejscach związanych z funkcjami życiowymi, jak ruch (stopa) i odżywianie (okolice otworu gębowego, na ramionach). U meduz, które prowadzą aktywny tryb życia, komórki nerwowe uległy koncentracji w dwa pierścienie nerwowe biegnące wokół otworu gębowego i wzdłuż brzegu parasola (**ryc. II.23.1.**).

układ nerwowy płazińców

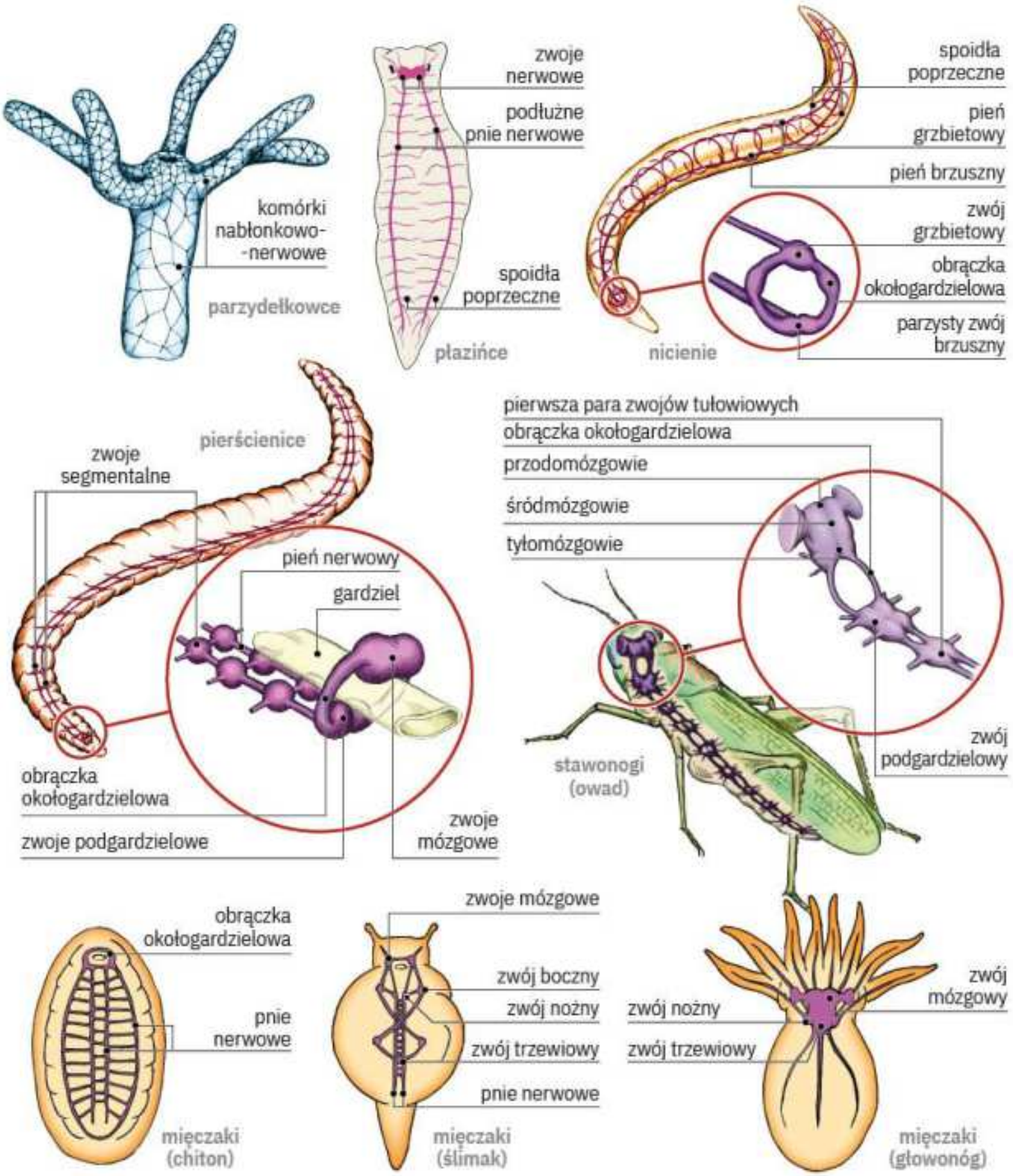
U **płazińców** układ nerwowy jest bardziej skomplikowany. Są to zwierzęta o dwubocznej symetrii ciała. Ruch ciała spowodował wyodrębnienie przedniej części ciała, która ma bezpośredni kontakt ze środowiskiem zewnętrznym. Skupienie neuronów w przedniej części doprowadziło do powstania centrum przetwarzania informacji w postaci **parzystego zwoju mózgowego**. Od niego odchodzą tzw. **podłużne brzuszne pnie nerwowe**. Brzuszna powierzchnia ciała spełnia funkcję lokomocyjną. Ponieważ organizm odbiera dużą ilość bodźców związanych z ruchem, komórki nerwowe zgrupowały się w pnie nerwowe. Wszystkie pnie są połączone **spoidłami**. U nicieni układ nerwowy ma podobną budowę – wyróżnia się **pierścień okołogardzielowy,** od którego odchodzą biegnące wzdłuż ciała pnie nerwowe: grzbietowy i brzuszny.

układ nerwowy pierścienic

U **pierścienic**, zwierząt o bardziej skomplikowanej budowie ciała, liczba komórek nerwowych jest o wiele większa niż u poprzednich bezkręgowców. W związku z wykształceniem głowy na przednim odcinku ciała oraz segmentacją ciała u pierścienic można wyróżnić cztery połączone ze sobą zwoje nerwowe tworzące **obrączkę okołoprzełykową**. Obrączka składa się parzystych **zwojów nadprzełykowych,** pełniących funkcję mózgu, oraz parzystych **podprzełykowych,** od których biegną dwa pnie nerwowe połączone poprzecznymi spoidłami. W każdym segmencie ciała występują parzyste zwoje nerwowe – **segmentalne** – odpowiadające za koordynację skurczy każdego segmentu. Jest to **drabinkowy układ nerwowy**.

układ nerwowy stawonogów

U **stawonogów** obserwuje się **centralizację układu nerwowego**. Wynika ona z dużej aktywności ruchowej zwierząt. Doszło u nich do zlania się zwojów głowowych w mózg, który u najbardziej aktywnych stawonogów dzieli się na przodomóżdże (analiza bodźców wzrokowych), śródmóżdże (dotyk i węch) i tyłomóżdże (funkcje wegetatywne). Owady społeczne mają w przodomóżdżu ciałka grzybkowate pełniące funkcję ośrodków kojarzeniowych. Pojawił się u nich brzuszny łańcuszek nerwowy w wyniku koncentracji poszczególnych powtarzających się zwojów w tagmach.



Ryc. II.23.1. Ewolucja układu nerwowego u bezkręgowców.

układ nerwowy głowonogów

U **mięczaków** mało aktywnych układ nerwowy składa się z okołogardzielowej obrączki, od której odchodzą dwie pary pni nerwowych. U wyżej uorganizowanych występują dwa pnie nerwowe, od których odchodzą cztery pary zwojów: mózgowych, nożnych, bocznych i trzewiowych. Wiodące od nich nerwy unerwiają poszczególne części ciała. U aktywnych głowonogów (mątwy i ośmiornice) zwoje głowowe, nożne i trzewiowe zlały się w mózg. Pojawiły się także dodatkowe zwoje, które nie

występują u pozostałych mięczaków, np. zwoje wzrokowe unerwiające doskonale rozwinięte oczy czy zwoje gwiaździste unerwiające powłoki ciała. Tak rozwinięty układ nerwowy u głowonogów wiąże się z przystosowaniem do drapieżnego trybu życia. Dzięki tak skomplikowanemu układowi nerwowemu ośmiornica jest zdolna do uczenia się i może wykonywać skomplikowane czynności życiowe.

U **szkarłupni** w związku z promienistą symetrią ciała układ nerwowy ma bardzo uproszczoną budowę. Składa się z pierścienia centralnego, od którego odchodzą promieniście pnie nerwowe.

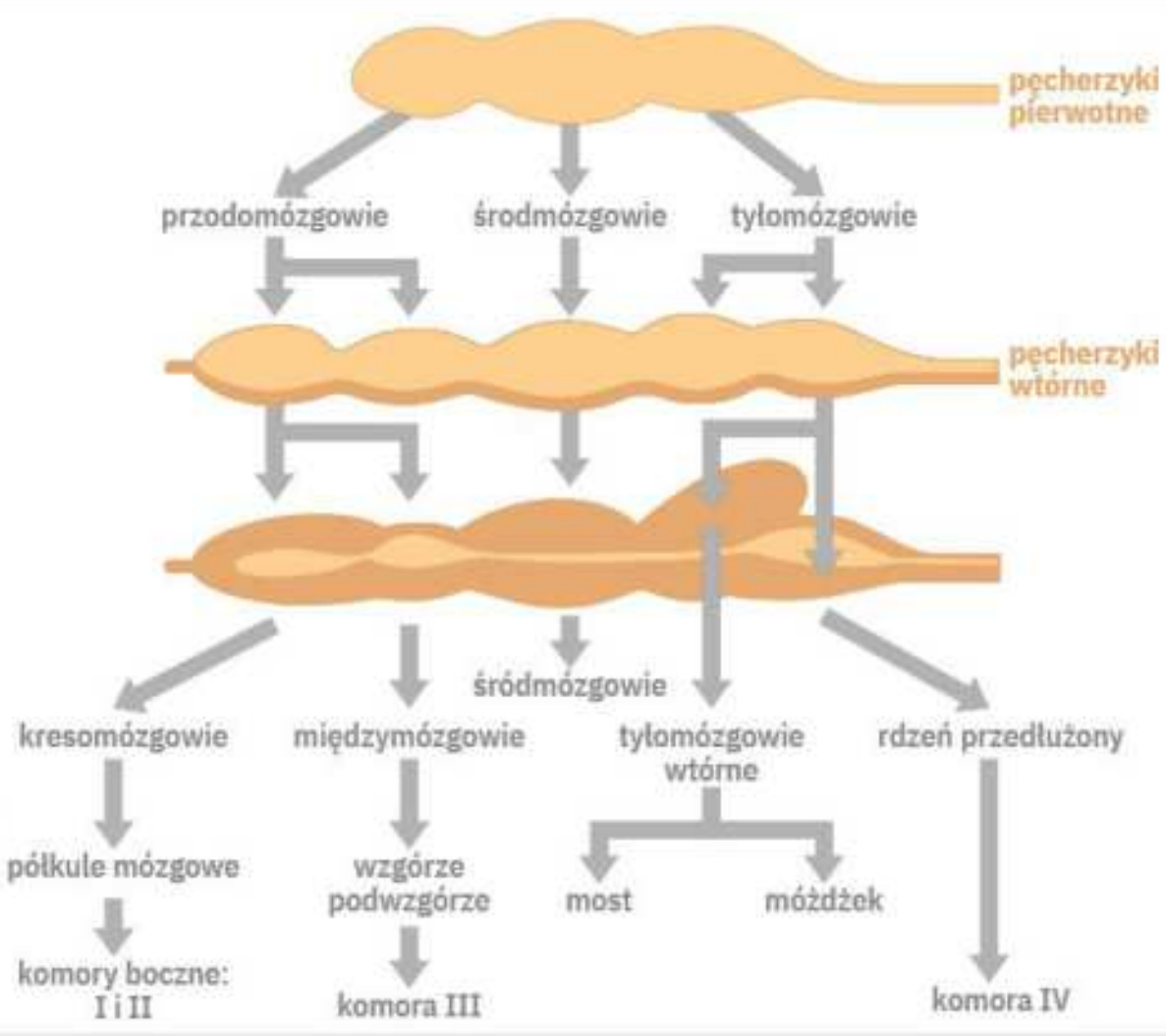
U **pierwotnych zwierząt wtóroustych** układ nerwowy ma prymitywną budowę (brak mózgu). Centrum nerwowe tworzą podskórne pierścienie nerwowe po stronie grzbietowej i brzusznej. Od nich rozchodzą się promieniście nerwy (narządy zmysłów uwstecznione).

układ nerwowy kręgowców

Pojawienie się w rozwoju ewolucyjnym nowej grupy zwierząt – kręgowców – spowodowało dalszą komplikację układu nerwowego. U kręgowców układ nerwowy jest zbudowany z centralnego układu nerwowego, na który składają się mózg (mózgowie) i rdzeń kręgowy, oraz obwodowego układu nerwowego złożonego z nerwów i zwojów nerwowych. Układ nerwowy kręgowców i bezkręgowców różni się budową i sposobem powstania. U bezkręgowców układ nerwowy znajduje się po brzusznej stronie ciała, a u kręgowców – po stronie grzbietowej ciała i tworzy się w postaci cewki.

pęcherzyk mózgowy

Początkowo u zarodków kręgowców cewka nerwowa biegła wzdłuż całego ciała. Następnie w drodze ewolucji pierwszy odcinek cewki przekształcił się w **pęcherzyk mózgowy**, który dzieli się na trzy pęcherzyki ułożone liniowo, o zbliżonych rozmiarach: przodomózgowie, śródmózgowie i tyłomózgowie (**ryc. II.23.2.**).



Ryc. II.23.2. Rozwój mózgowia kręgowców. Komory mózgu to przestrzenie w jego wnętrzu powstałe w rozwoju zarodkowym kręgowców z przekształcenia kanału środkowego cewki nerwowej.

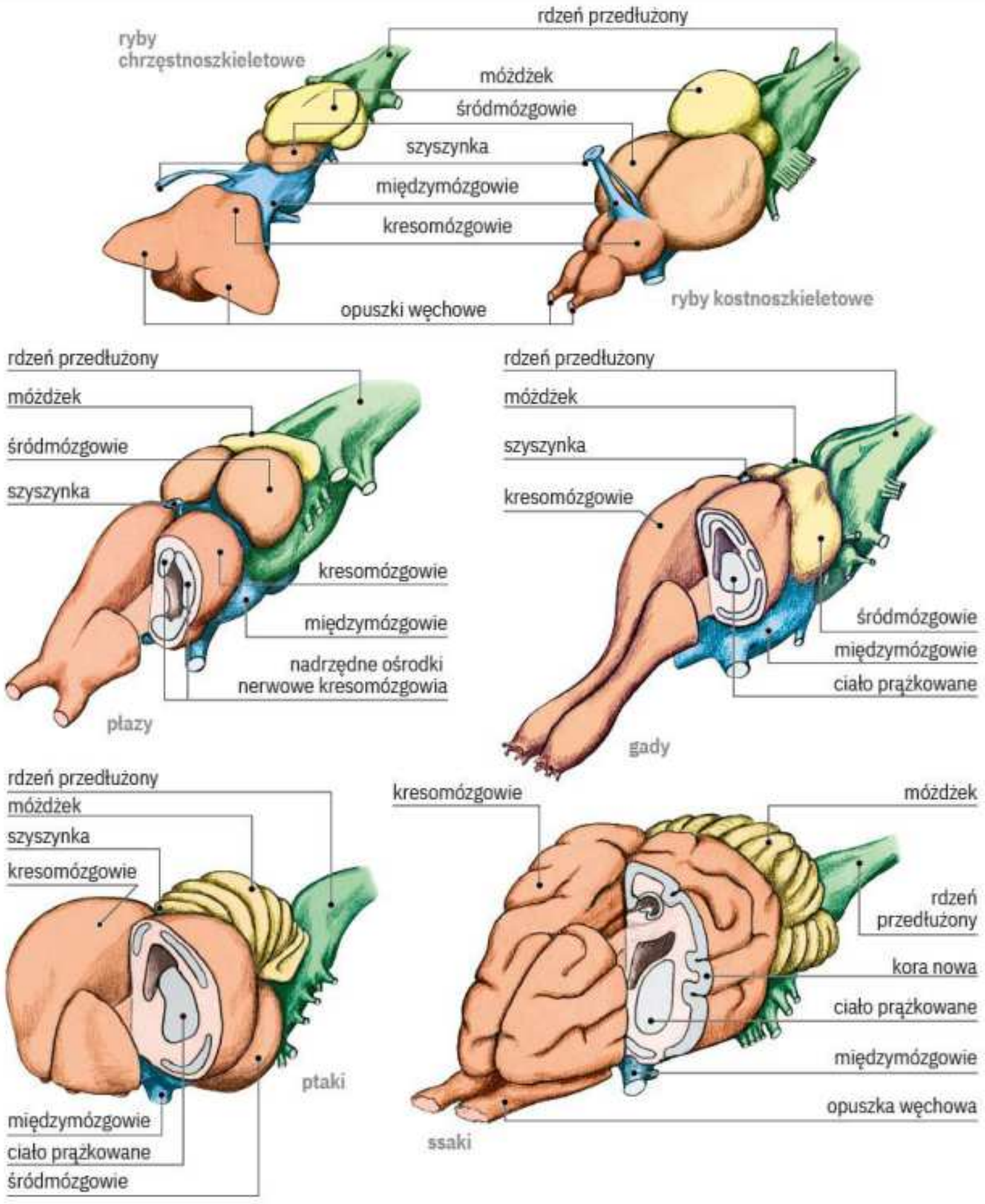
Ostatni pęcherzyk przechodzi w rdzeń kręgowy. Następnie przodomózgowie podzieliło się na kresomózgowie i międzymózgowie, a tyłomózgowie – na móżdżek i rdzeń przedłużony (obejmujący most). Rdzeń przedłużony, most i śródmózgowie utworzyły pień mózgu podtrzymujący móżdżek. Kresomózgowie podzieliło się na dwie półkule mózgowe. Tak zbudowany mózg występuje u wszystkich kręgowców. W toku ewolucji kręgowców następuje specjalizacja poszczególnych części mózgu. Zauważa się stopniowy wzrost rozmiarów i roli kresomózgowia. Wielkość móżdżku wiąże się z aktywnością ruchową zwierząt (**ryc. II.23.3**.).

kresomózgowie ▸ **Kresomózgowie** odpowiada za kontrolę większości procesów życiowych. Jest nadrzędnym ośrodkiem kojarzeniowym, odpowiedzialnym za wyższe czynności mózgowe, np. uczenie się. Kresomózgowie u kręgowców wydłużyło się do przodu w postaci opuszek węchowych, od których odchodzi para nerwów węchowych. U **ryb i płazów** jest bardzo dobrze rozwinięte i zajmuje prawie całe mózgowie. Wiąże się to u ryb z tzw. **pamięcią węchową,** szczególnie potrzebną przy wędrówkach w okresie tarła. U większości kręgowców kresomózgowie dzieli się na dwie półkule mózgowe – prawą i lewą. Tworzy je substancja biała, na którą składają się aksony mielinowe. U ssaków i gadów zewnętrzna część kresomózgowia jest pokryta substancją szarą (ciała komórkowe i dendryty neuronów), czyli **korą mózgową**. U gadów to niewielki obszar powierzchni kresomózgowia, który nazywa się **korą nową.** Dzięki niej zwierzęta zapamiętują bodźce ze środowiska. Najwyższy rozwój kora mózgowa osiągnęła u ptaków i ssaków. Stanowi ona główną część mózgu i przykrywa pozostałe części. U ptaków rozwinęły się ośrodki podkorowe, kierujące zachowaniem instynktownym ptaków, np. budową gniazd, opieką nad potomstwem. U dużych ssaków z silnie rozwiniętym układem nerwowym kora mózgowa jest pofałdowana i tworzy zakręty oddzielone od siebie bruzdami.

międzymózgowie ▸ **Międzymózgowie** jest częścią mózgu związaną z odbiorem bodźców dochodzących ze środowiska zewnętrznego, np. świetlnych. Odchodzi od niego druga para nerwów czaszkowych – nerwy wzrokowe. W skład międzymózgowia wchodzi podwzgórze z ośrodkami: kontroli termoregulacji, czynności układu pokarmowego i gospodarki wodnej organizmu. W tej części mózgowia mieszczą się dwa ważne gruczoły dokrewne: przysadka mózgowa i szyszynka. Szyszynka pełni funkcję narządu dokrewnego wydzielającego melatoninę, która reguluje rytmy biologiczne. U gadów na sklepieniu międzymózgowia rozwinął się **narząd ciemieniowy**, zwany okiem ciemieniowych ze względu na budowę zbliżoną do oka. Oko reaguje na temperaturę otoczenia i promieniowanie cieplne.

śródmózgowie ▸ **Śródmózgowie** wiąże się z rozwojem ośrodków wzrokowych i utrzymaniem homeostazy. Ta część mózgu jest szczególnie dobrze rozwinięta u ryb drapieżnych i ptaków w związku z przystosowaniem do sposobu odżywiania i środowiska życia.

móżdżek ▸ **Móżdżek** odpowiada za koordynację ruchów i utrzymanie równowagi. Jest dobrze rozwinięty u kręgowców aktywnych ruchowo, czyli ryb, ptaków i ssaków, a słabo – u mało aktywnych płazów i gadów. U krokodyli, ptaków i ssaków w związku z prowadzeniem aktywnego trybu życia powierzchnia móżdżku znacznie się rozrosła i pofałdowała, przez co powstały bruzdy.



Ryc. II.23.3. Ewolucja mózgowia u kręgowców. U ryb mózgowie charakteryzuje się silnym rozwojem płatów węchowych kresomózgowia oraz śródmózgowia z ośrodkami wzroku u ryb drapieżnych. U płazów wyraźnie rozbudowało się kresomózgowie z podziałem na dwie półkule oraz nastąpiła silna redukcja móżdżku, co wiąże się ze słabym poruszaniem na lądzie. W mózgowiu gadów obserwuje się dalszy silny rozwój kresomózgowia, które częściowo przykryło inne części mózgu. U ptaków w związku z trybem życia silnie rozwinął się móżdżek, w którym mieszczą się ośrodki równowagi i koordynacji ruchów, oraz nastąpił dalszy rozwój kresomózgowia. U ssaków silnie rozwinęły się kora mózgowa i kresomózgowie, które uległo pofałdowaniu.

rdzeń przedłużony ▸ **Rdzeń przedłużony** to najbardziej wysunięta do tyłu część mózgu. Jego przedłużenie stanowi rdzeń kręgowy. Znajdują się w nim ośrodki odpowiedzialne za podstawowe czynności życiowe, m.in.: ośrodek oddechowy, pracy serca, ciśnienia krwi, połykania. Rdzeń kręgowy i rdzeń przedłużony łączą się z górnymi częściami mózgu **mostem**. U ssaków przez most są przekazywane impulsy z mózgowia do móżdżku. Mieszczą się tutaj ośrodki regulujące oddychanie.

U ryb i płazów wszystkie części mózgowia są ułożone liniowo. Od mózgu odchodzi **10 par** nerwów czaszkowych. U gadów, ptaków i ssaków w związku z wykształceniem szyi i uniesieniem głowy następuje wygięcie rdzenia przedłużonego w płaszczyźnie pionowej. Od mózgu u tych zwierząt odchodzi **12 par** nerwów czaszkowych.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Wyjaśnij związek między rozwojem układu nerwowego zwierząt a doskonaleniem metod zdobywania pokarmu i komplikacją zachowań.
2. Wyjaśnij związek między rozwojem układu nerwowego a aktywnością ruchową zwierząt.
3. Przedstaw tendencje rozwojowe układu nerwowego bezkręgowców, uwzględniając wzrost komplikacji budowy ciała zwierząt.

PODSUMOWANIE LEKCJI

s. 284 ▸ • Czynnikami decydującymi o **rozwoju układu nerwowego** były: budowa ciała, symetria ciała, sposób zdobywania pokarmu oraz tryb życia.

s. 285 ▸ • Najstarszym układem nerwowym jest rozproszony **układ nerwowy u parzydełkowców**.

s. 285 ▸ • U płazińców i nicieni utworzyły się zwoje głowowe z obrączką okołoprzełykową i różną liczbą **pni nerwowych**.

s. 285 ▸ • U **pierścienic** funkcjonuje drabinkowy układ nerwowy składający się ze zwojów głowowych, obrączki okołoprzełykowej i dwóch brzusznych pni nerwowych z parą zwojów na segment, połączonych spoidłami.

s. 285 ▸ • Układ nerwowy **stawonogów** jest jednym z wyżej zorganizowanych układów nerwowych. Zwoje głowowe są połączone w mózg z ośrodkami kojarzeniowymi, a pnie nerwowe – w brzuszny łańcuszek nerwowy.

s. 286 ▸ • U **głowonogów** nastąpiła silna koncentracja zwojów w mózg z ośrodkami kojarzeniowymi.

s. 285 ▸ • **Układ nerwowy bezkręgowców** jest położony po brzusznej stronie ciała i nie zawiera kanału wewnętrznego.

s. 287 ▸ • **Układ nerwowy kręgowców** powstał po stronie grzbietowej w postaci cewki.

s. 287 ▸ • W procesie ewolucji u kręgowców z przedniej cewki rozwinął się **pęcherzyk**, który podzielił się na trzy części: przodomózgowie, śródmózgowie i tyłomózgowie. Części pierwsza i ostatnia podzieliły się na dwa pęcherzyki, co dało pięcioczęściowy mózg.

s. 288 ▸ • W miarę rozwoju ewolucyjnego nastąpił silny rozwój **kresomózgowia** i koncentracja w nim ośrodków kojarzeniowych.

s. 288 ▸ • Wielkość **móżdżku** jest związana z aktywnością ruchową zwierząt.

24. Przekazywanie informacji w układzie nerwowym

NA TEJ LEKCJI:

- dowiesz się, jak powstaje impuls nerwowy i jak odbywa się jego przewodzenie;
- porównasz działanie synapsy chemicznej pobudzającej i hamującej;
- poznasz reakcje odruchowe.

Podstawową i funkcjonalną strukturą układu nerwowego jest komórka nerwowa – **neuron**. Neuron odznacza się zdolnością do reagowania na bodźce – pobudliwością – i przenoszenia impulsów między komórkami nerwowymi.

Impuls nerwowy

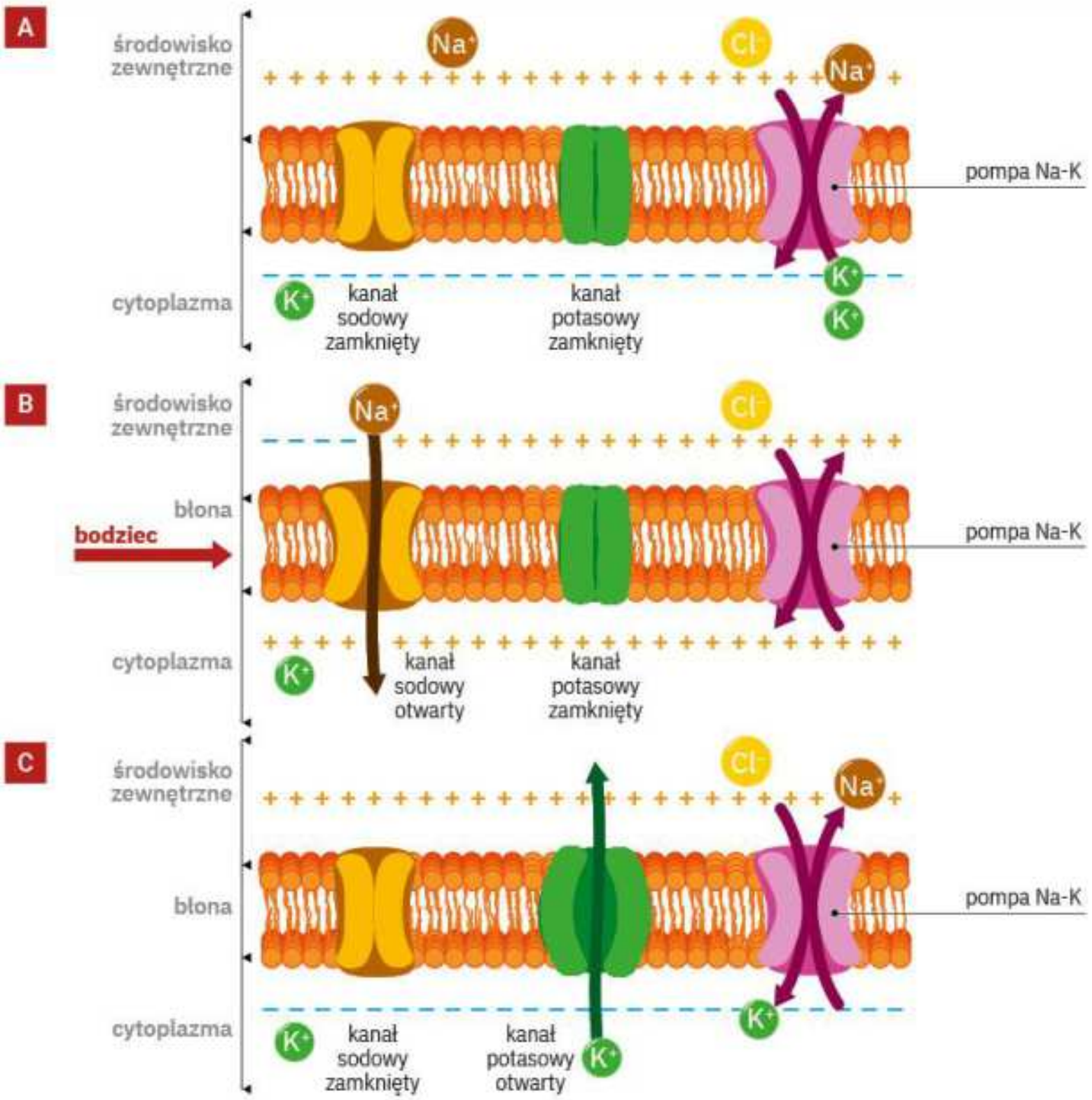
Błona komórkowa komórek nerwowych jest spolaryzowana, co oznacza nierównomierne rozmieszczenie jonów sodu i potasu po obu jej stronach. Na wewnętrznej stronie błony gromadzą się **kationy potasu** (K^+), a na zewnątrz dominują **kationy sodu** (Na^+). W efekcie zewnętrzna powierzchnia błony neuronu **jest naładowana dodatnio**, a wewnętrzna – ujemnie. Taki stan nazywa się polaryzacją błony. **Różnica stężeń jonów jest stale utrzymywana przez pompę sodowo-potasową, która aktywnie transportuje jony sodu i potasu przez błonę komórkową**. Energia dla pompy sodowo-potasowej pochodzi z **ATP**. Różnica potencjałów między zewnętrzną a wewnętrzną powierzchnią błony wynosi **–70mV**. Jest to **potencjał spoczynkowy, który warunkuje gotowość neuronu do odbioru bodźców** (**ryc. II.24.1**.).

aktywny transport jonów

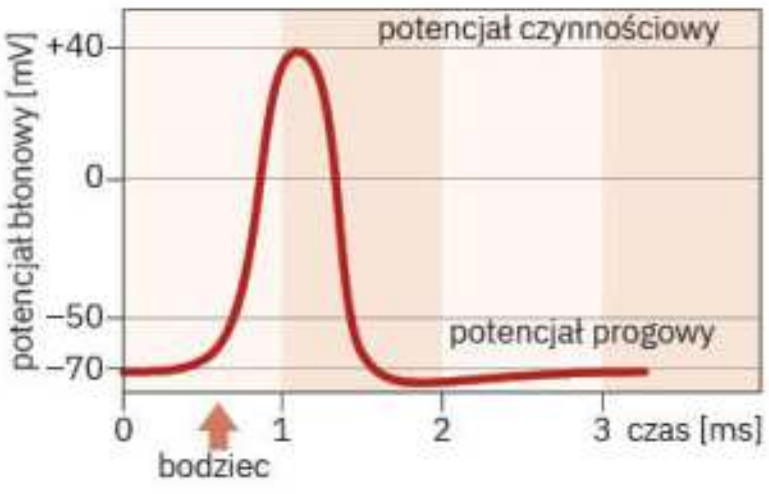
Pod wpływem działania bodźca progowego błona neuronu zmienia przepuszczalność dla jonów sodu (Na^+) i potasu (K^+). Następuje otwarcie białkowych kanałów jonowych, przez które jony sodu (Na^+) biernie wnikają do wnętrza komórki, a jony potasu (K^+) na drodze dyfuzji ułatwionej przedostają się na zewnątrz. W efekcie na zewnątrz błony gromadzi się nadmiar ładunków ujemnych, a wewnątrz – nadmiar ładunków dodatnich. Taka zmiana ładunków nosi nazwę **potencjału czynnościowego** (**+40 mV**) (**ryc. II.24.2**.).Powoduje to zmniejszenie wartości potencjału spoczynkowego i błona komórkowa zostaje **zdepolaryzowana**. Proces prowadzący do tego stanu błony nosi nazwę **depolaryzacji**. Depolaryzacja rozchodzi się w krótkim czasie (kilka milisekund) wzdłuż całego neuronu. Przemieszczającą się falę depolaryzacji wzdłuż neuronu nazywa się **impulsem nerwowym**. W miejscu powstania potencjału czynnościowego błona neuronu na kilka sekund traci wrażliwość. Po ustaniu działania bodźca zaczyna ponownie działać na błonę pompa sodowo-potasowa, która transportuje z powrotem na zewnątrz komórki jony sodu (Na^+) oraz jony potasu (K^+) do jej wnętrza. Dzięki pompie sodowo-potasowej błona komórkowa jest utrzymywana w stanie polaryzacji. Zjawisko to nosi nazwę **repolaryzacji błony**.

potencjal czynnościowy

impuls nerwowy



Ryc. I.24.1. Zjawiska elektrochemiczne w błonie neuronu: błona spolaryzowana (A), depolaryzacja błony (B), repolaryzacja błony (C).



Ryc. I.24.2. Potencjał czynnościowy.

Niepobudliwość neuronu

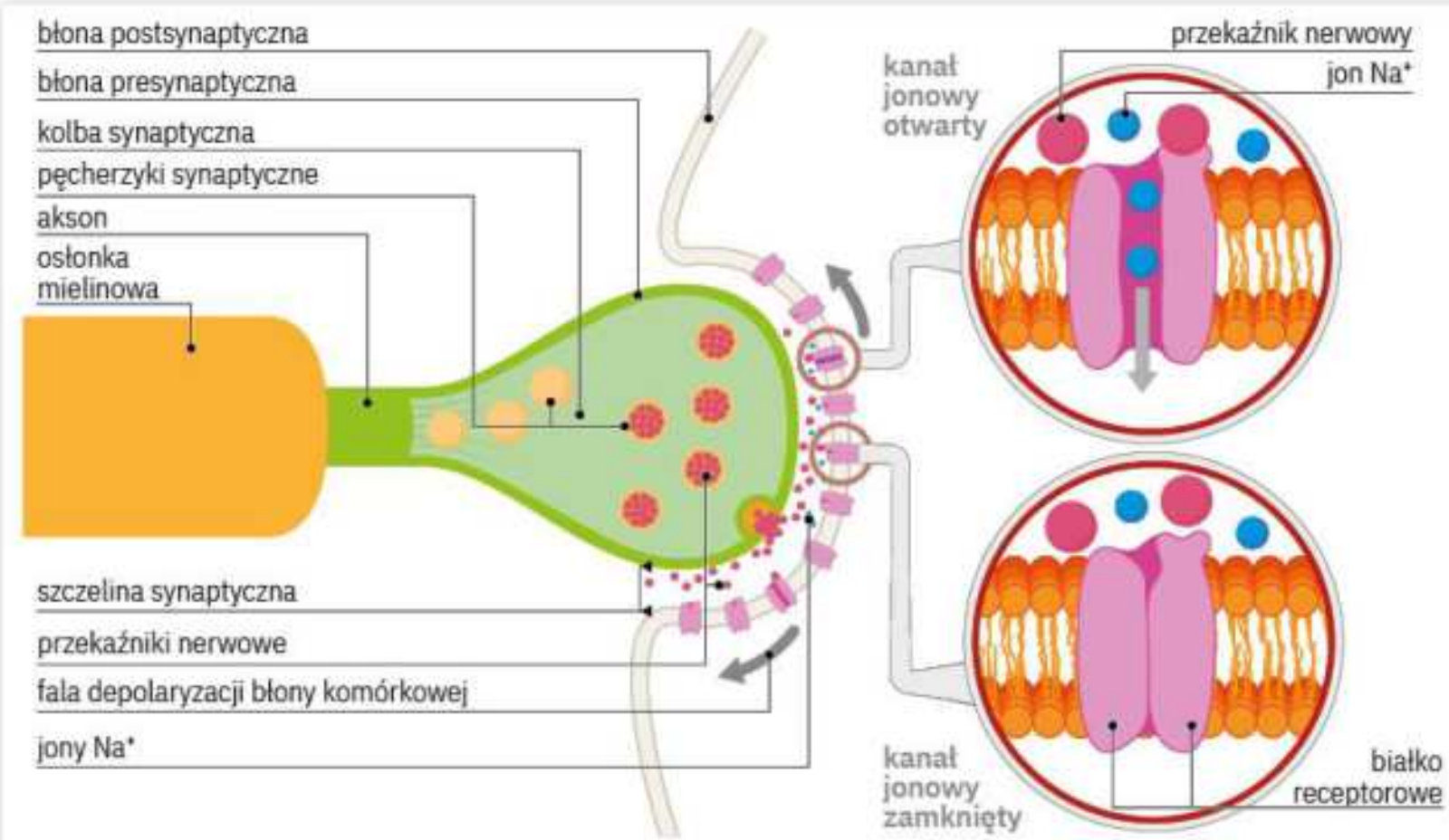
Czas potrzebny do ponownego spolaryzowania nosi nazwę **okresu refrakcji** (**niepobudliwości**). Nie każdy bodziec działający na komórkę prowadzi do powstania potencjału czynnościowego. Tylko bodziec o odpowiednio wysokiej sile – tzw. **bodziec progowy** – może wywołać potencjał czynnościowy. Takiej zdolności nie ma bodziec o małej sile – tzw. **bodziec podprogowy**. Natomiast **bodźce nadprogowe** o sile większej niż progowe wywołują taką samą falę depolaryzacji, jak bodźce progowe. Wynika to z działania pojedynczego włókna według zasady **„wszystko albo nic"**, czyli włókno przewodzi impulsy nerwowe albo ich nie przewodzi oraz odpowiada na nie zawsze taką samą falą depolaryzacji.

◂ bodziec progowy

Synapsy

◂ synapsy

Przekazywanie impulsu nerwowego następuje za pomocą synapsy. Jest to połączenie między komórkami nerwowymi lub między komórką nerwową i komórką mięśniową umożliwiające przekazywanie impulsu nerwowego do następnej komórki (**ryc. II.24.3.**).



Ryc. II.24.3. Przewodzenie impulsów w synapsie. Przekaźnik nerwowy po przejściu szczeliny synaptycznej wiąże się z białkami receptorowymi w błonie postsynaptycznej, co prowadzi do otwarcia kanałów jonowych w błonie postsynaptycznej. Powstaje fala depolaryzacyjna przebiegająca wzdłuż kolejnej komórki nerwowej.

Większość synaps to **synapsy chemiczne**. W tych synapsach między komórkami powstaje szczelina synaptyczna. Zakończenie neuronu presynaptycznego tworzy kolbkę synaptyczną, w której są wytwarzane neuroprzekaźniki (mediatory przeka-

◂ synapsy chemiczne

zywane w pęcherzykach synaptycznych). Neuroprzekaźniki łączą się z receptorem, powodując depolaryzację błony postsynaptycznej. Występują tam, gdzie przekazywanie impulsu może być wolne, np. w narządach wewnętrznych.

W niektórych synapsach między komórkami występuje połączenie szczelinowe. Wówczas przeniesienie depolaryzacji błony presynaptycznej na postsynaptyczną odbywa się bez udziału neuroprzekaźników. Są to **synapsy elektryczne**, w których impuls może przepływać dwukierunkowo, znacznie szybciej od impulsu synaps chemicznych. Synapsy elektryczne występują u bezkręgowców i kręgowców. Ich obecność w mózgu kałamarnic czy olbrzymich homarów pozwala na wykonywanie błyskawicznych reakcji obronnych. U człowieka synapsy elektryczne działają m.in.: w mięśniach, siatkówce oka, części korowej.

synapsy elektryczne

Synapsy pobudzające i hamujące

W zależności od rodzaju neuroprzekaźnika i efektu, jaki powoduje, wyróżniamy **synapsy pobudzające** i **hamujące**.

W **synapsach pobudzających** neuroprzekaźnik uwolniony do szczeliny synaptycznej powoduje otwarcie kanałów sodowych i przepływ kationów sodu do wnętrza komórki, co przyczynia się do powstania potencjału czynnościowego. Do błony neuronu dochodzą również neuroprzekaźniki z innych synaps i powstałe potencjały czynnościowe się sumują. Jeśli nastąpi przekroczenie potencjału progowego wówczas depolaryzacja rozszerza się na cały neuron i następuje powstanie impulsu nerwowego. Im więcej takich synaps, tym większe prawdopodobieństwo powstania potencjału czynnościowego w błonie postsynaptycznej.

synapsy pobudzające

W **synapsie hamującej** neuroprzekaźnik uwolniony do błony postsynaptycznej powoduje przepływ jonów potasu z wnętrza neuronu na zewnątrz i otwieranie kanałów chlorkowych, przez które jony chlorkowe przedostają się do wnętrza neuronu. Wówczas zwiększa się ujemny potencjał elektryczny, co wywołuje **hiperpolaryzację błony postsynaptycznej.** To z kolei prowadzi do zmniejszenia wrażliwości błony. Dzięki synapsom hamującym bodźce o nieistotnym znaczeniu wygasają.

synapsy hamujące

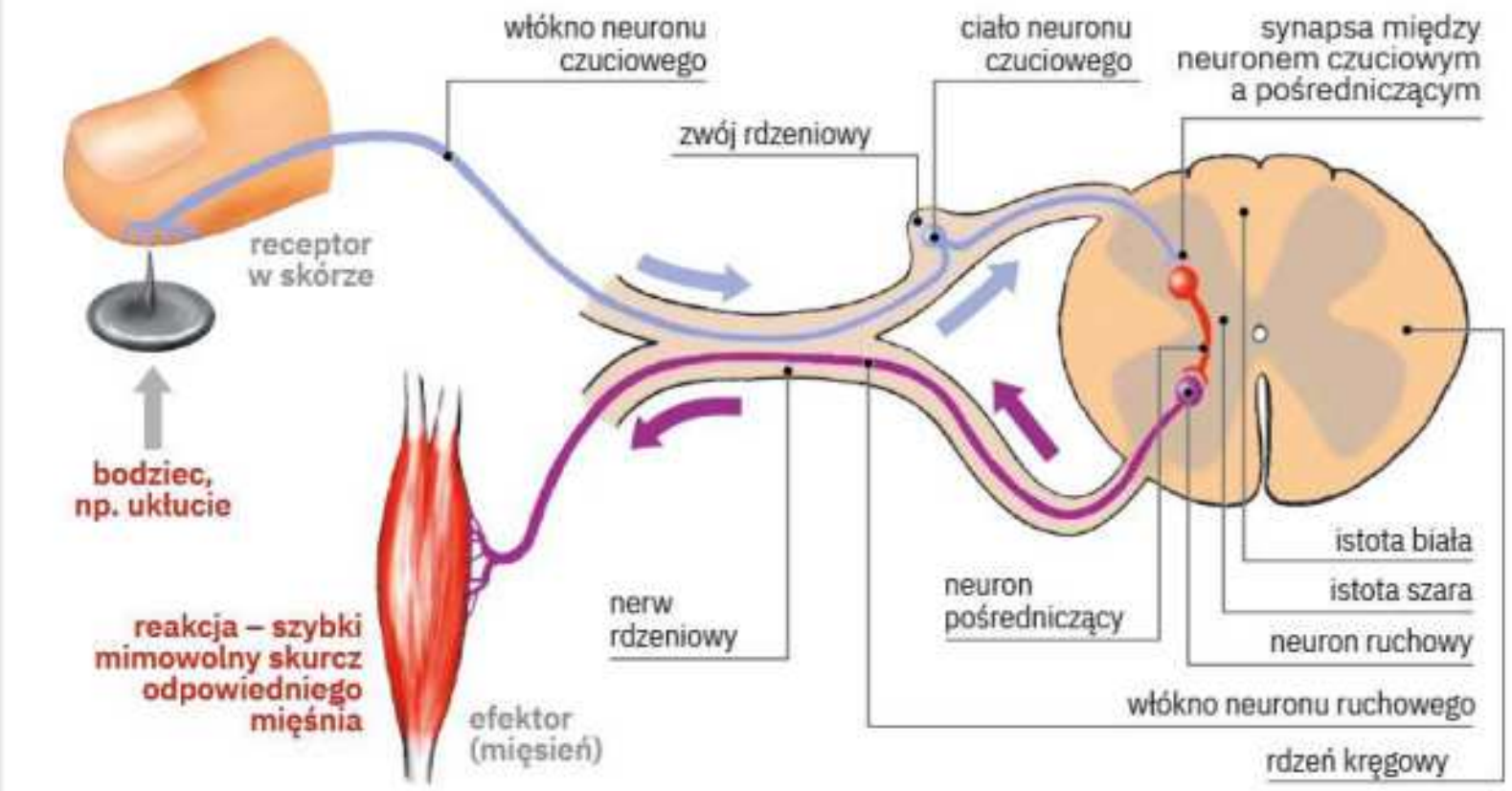
W synapsach pobudzających neuroprzekaźnikami są głównie **acetylocholina** oraz pochodne aminokwasów: **adrenalina, noradrenalina, serotonina, dopamina**. Adrenalina i noradrenalina funkcjonują zarówno jako neuroprzekaźniki, jak i hormony. Serotonina jest często nazywana hormonem szczęścia. W organizmie człowieka odpowiada m.in. za regulację temperatury, apetytu, snu i ciśnienia krwi. Spadki nastroju czy zmęczenie mogą być objawem jej niskiego poziomu. Dopamina uczestniczy w procesach poznawczych, takich jak pamięć, myślenie i rozwiązywanie problemów, a także w odczuwaniu przyjemności. Substancja ta może jednak też działać uspokajająco oraz ułatwiać zasypianie.

W synapsach hamujących neuroprzekaźnikiem są dwa aminokwasy: **glicyna** i **kwas gamma-aminomasłowy** (GABA). GABA ułatwia zasypianie i działa uspokajająco. Podobnie działa glicyna, która stosowana w schizofrenii i depresji poprawia stan chorych.

Łuk odruchowy

łuk odruchowy

Odruch jest prostą, szybką, mimowolną i powtarzającą się reakcją organizmu na bodźce, które docierają do organizmu ze środowiska zewnętrznego i wewnętrznego. Reakcja ta zachodzi w **łuku odruchowym**, czyli na drodze, jaką impulsy nerwowe przechodzą od **receptora** (odbiorcy bodźców) do **efektora** (narządu wykonawczego) przez **neurony** (elementy przewodzące). Łuk odruchowy składa się z następujących elementów: **receptora, drogi nerwowej dośrodkowej (czuciowej), ośrodka nerwowego, drogi nerwowej odśrodkowej (ruchowej) i efektora** (**ryc. II.24.4.**).

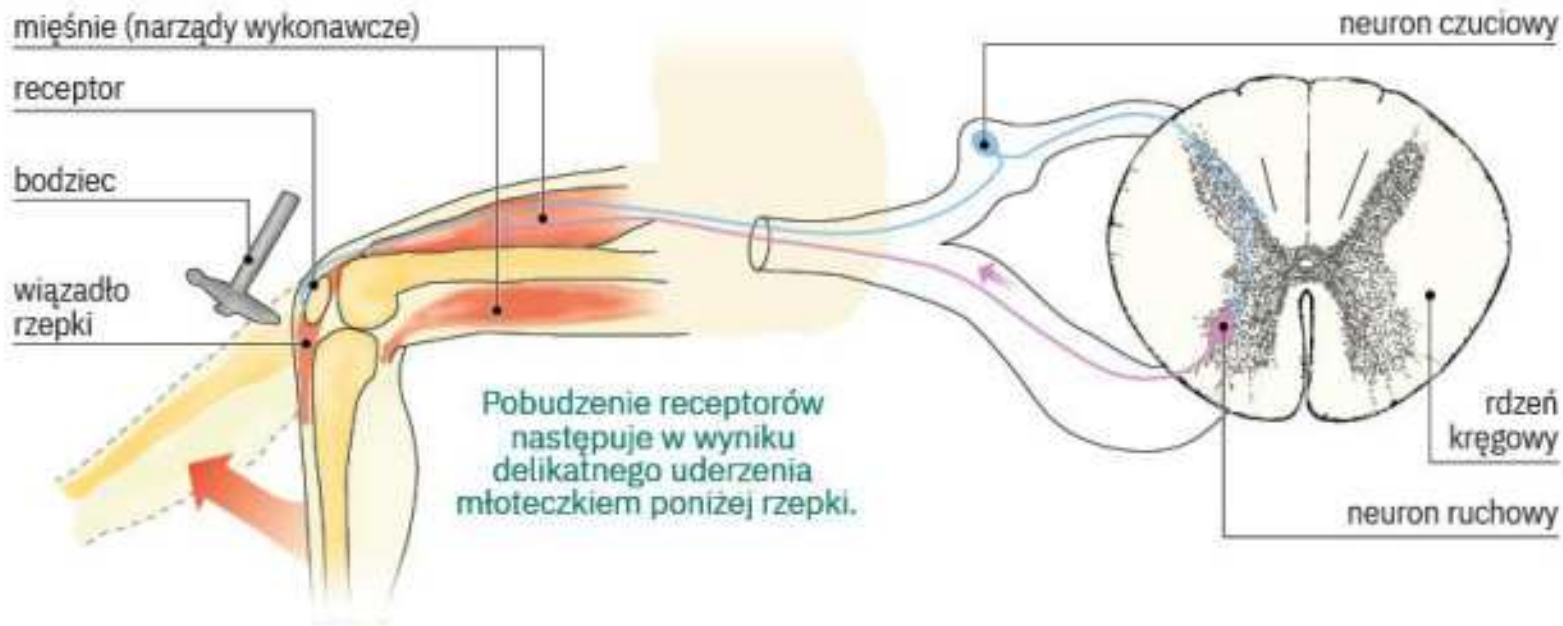


Ryc. II.24.4. Schemat budowy łuku odruchowego.

Receptorem są komórki nerwowe lub zakończenia nerwowe, w których na skutek działania bodźców powstaje pobudzenie nerwowe. Są one skupione w narządach zmysłów, np. wzroku, słuchu czy w zakończeniach nerwowych w skórze (np. receptory bólu). **Efektorem** jest narząd wykonawczy, w którym dochodzi do przekształcenia impulsów nerwowych w skurcz mięśnia szkieletowego, mięśnia gładkiego czy produkcję wydzieliny przez gruczoł. Droga pokonywana przez impuls nerwowy od receptora do ośrodka nerwowego to **droga czuciowa** (**aferentna**), a droga od ośrodka nerwowego do narządu wykonawczego to **droga ruchowa** (**eferentna**). **Ośrodek nerwowy** tworzą skupienia neuronów, w których informacja dopływająca z receptora zostaje przetworzona i przekazana do efektora za pomocą neuronów ruchowych. W ośrodku nerwowym znajdują się neurony pośredniczące (czuciowo-ruchowe). Odruchy różnią się liczbą neuronów przewodzących impuls między receptorem a efektorem. W najprostszych odruchach, tzw. **monosynaptycznych**, bierze udział tylko jeden neuron czuciowy i ruchowy oraz jedno połączenie za pomocą synapsy. W takich odruchach receptor i efektor

ośrodek nerwowy

znajdują się w tym samym mięśniu, co wywołuje bardzo szybką reakcję, np. odruch kolanowy (**ryc. II.24.5.**).



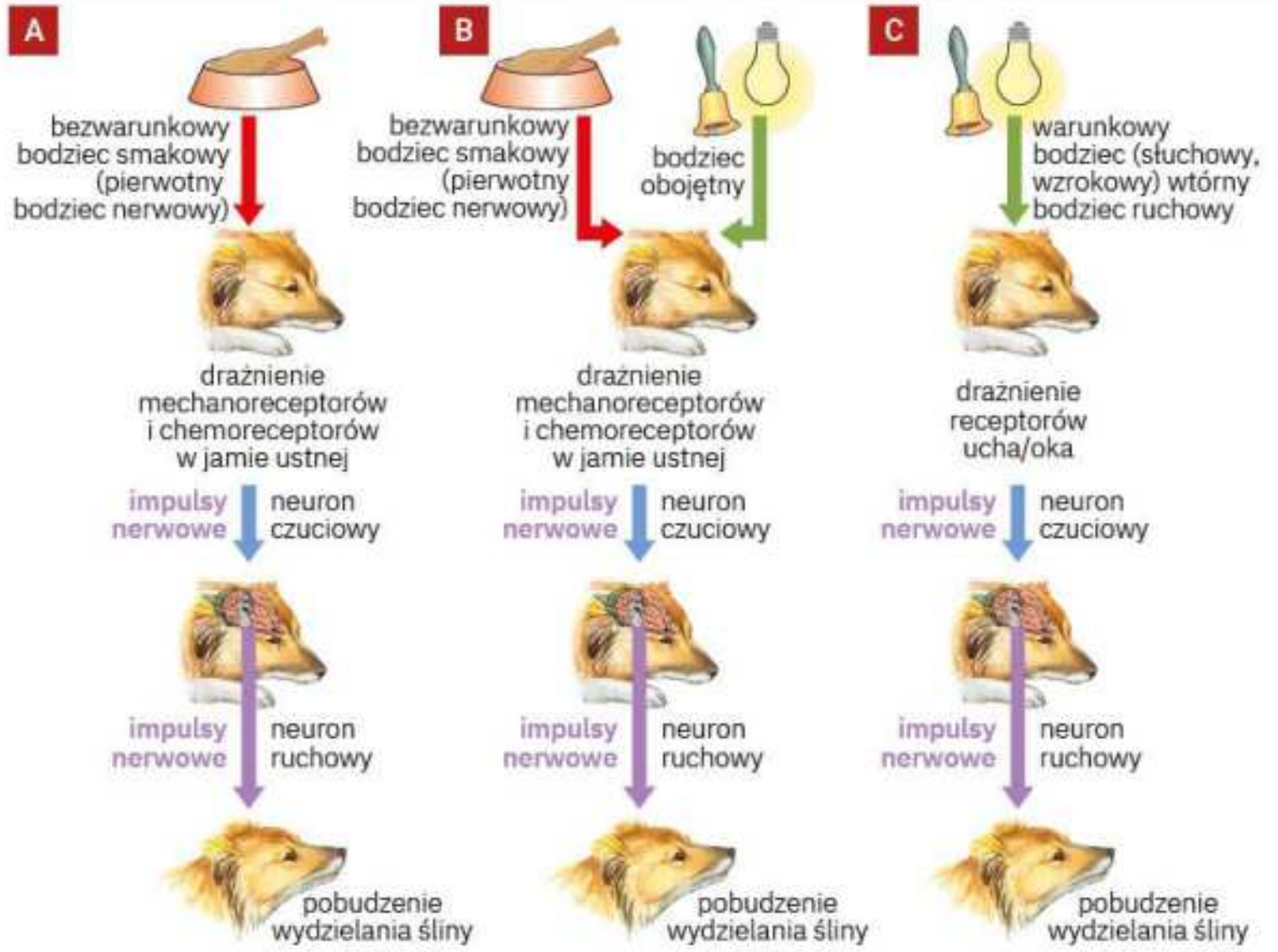
Ryc. II.24.5. Schemat odruchu kolanowego.

W bardziej złożonych odruchach, które dominują w organizmie człowieka, występuje więcej połączeń między receptorem i efektorem, np. odruch zginania kończyny.

odruch warunkowy i bezwarunkowy

Odruchy klasyfikujemy także ze względu na pochodzenie. Na tej podstawie wyróżniamy **odruchy bezwarunkowe** (wrodzone, gatunkowe) i **odruchy warunkowe** (nabyte, osobnicze). **Odruchy bezwarunkowe** stanowią odruchy wrodzone, przekazywane dziedzicznie. Są one charakterystyczne wyłącznie dla danego gatunku. Reakcja na określony bodziec przebiega zawsze tak samo i nie zmienia się w ciągu życia człowieka. Odruchy bezwarunkowe mają ośrodki **w rdzeniu kręgowym i przedłużonym**. Przykładem takich odruchów są np.: odruch źreniczny, odruchy obronne (wymiotny, zginania kończyny pod wpływem ukłucia w palec), odruch podeszwowy (drażnienie mechaniczne stopy powoduje zginanie palców), odruch ssania (powstaje podczas dotykania ust noworodka) czy odruch wydzielania śliny na widok pokarmu. Natomiast **odruchy warunkowe** są nabyte podczas życia na bazie odruchów warunkowych. Mechanizm ich powstania po raz pierwszy opisał rosyjski fizjolog Iwan Pawłow, który przeprowadził badania nad odruchem wydzielania śliny u psów (**ryc. II.24.6.**).

Odruchy warunkowe nie są dziedziczone i stanowią indywidualną cechę każdego człowieka. Wykazują dużą zmienność w ciągu życia człowieka. Muszą być stale podtrzymywane, ponieważ bardzo szybko wygasają. W zależności od bodźca odruchy warunkowe mogą zanikać i ponownie się pojawiać, np. powtarzanie słów z języka obcego utrwala je, a zaprzestanie tej czynności prowadzi do zapominania wyuczonych wcześniej wyrazów. Podstawą do wykształcenia się odruchów warunkowych jest potrzeba dążenia do zaspokojenia swoich potrzeb. Ośrodki odruchów warunkowych znajdują się w korze mózgowej i dzięki temu są podstawą złożonych czynności, np. abstrakcyjne myślenie czy świadome porozumiewanie się, których nie spotyka się u zwierząt.



Ryc. II.24.6. Mechanizm powstawania odruchu bezwarunkowego (A) i warunkowego (B, C). Bodziec obojętny, np. dzwonek, połączony z bodźcem bezwarunkowym (pokarmem) wyzwala wydzielanie śliny. Wielokrotnie powtórzona sytuacja powoduje, że dzwonek towarzyszący karmieniu – dotychczasowy bodziec obojętny – prowadzi do wydzielania śliny. Dzwonek nabył właściwości bodźca bezwarunkowego, chociaż nie przypomina pokarmu.

Odruchy warunkowe są podstawą **uczenia się.** Uczenie się to proces świadomego nabywania wiadomości i umiejętności, a następnie przechowywania tych informacji, które później zostają wykorzystane. Warunkiem uczenia się jest zdolność do zapamiętywania. Zapamiętywanie polega na gromadzeniu i wykorzystywaniu informacji o minionych doświadczeniach. Wiąże się to z aktywnością układu nerwowego – głównie ośrodków w korze mózgowej. Sam mechanizm zapamiętywania opiera się na zmianach w ilości i jakości połączeń synaptycznych, które tworzą tzw. **szlaki pamięci**. Pamięć klasyfikujemy na podstawie różnych kryteriów. Najprostszy podział obejmuje pamięć **sensoryczną**, **krótkotrwałą** i **długotrwałą** (**ryc. II.24.7.**).

uczenie się

pamięć

Ryc. II.24.7. Schemat przepływu informacji przez różne rodzaje pamięci.

Pamięć sensoryczna (zmysłowa, ultrakrótka) jest związana z postrzeganiem za pomocą zmysłów, np. dotyku, zapachu, słyszanych rozmów. Informacje są przechowywane bardzo krótko (od 2 do 10 s).

pamięć krótkotrwała

Pamięć krótkotrwała (operacyjna) pozwala na nieco dłuższe przechowywanie informacji, która została utrwalona podczas powtarzania w myśli, najczęściej od 6 do 8 pozycji, np. numeru telefonu. Jeśli informacja nie będzie powtarzana, następuje zapominanie. Pamięć krótkotrwała ma ogromne znaczenie w życiu codziennym człowieka (scalanie myśli, komunikowanie się). Częste powtarzanie prowadzi do

pamięć długotrwała

przeniesienia informacji do pamięci długotrwałej. **Pamięć długotrwała** opiera się nie tylko na przepływie impulsów elektrycznych, lecz także na tworzeniu nowych szlaków łączących neurony. Pamięć ta ma nieograniczoną pojemność. Kodowanie informacji w tej pamięci wymaga częstego powtarzania informacji, co prowadzi do powstania nowych połączeń między neuronami. Odtworzenie informacji zapisanych w pamięci długotrwałej czasami wymaga przeniesienia na pewien czas do pamięci krótkotrwałej. Zapisywane są w niej tylko wyselekcjonowane informacje, których w porównaniu do odebranych przez receptory jest prawie stukrotnie mniej. Aby proces zapamiętywania był efektywny, należy:

- rozłożyć materiał do nauczenia na kilka mniejszych etapów, co będzie skuteczniejsze niż zapamiętanie dużej partii materiału jednorazowo;
- logicznie uporządkować materiał, co zwiększy skuteczność jego zrozumienia i zapamiętywania;
- werbalizować treści, czyli głośno je powtarzać; w wielu przypadkach ułatwia to zapamiętywanie – szczególnie dotyczy to osób z rozwiniętą pamięcią słuchową;
- wykorzystać formy obrazową i słuchową przy przyswajaniu nowego materiału;
- rozłożyć w czasie kolejne powtórzenia materiału – nie powinny one następować bezpośrednio po sobie, ponieważ nie sprzyja to zapamiętywaniu;
- szukać pozytywnej motywacji, która zwiększa skuteczność zapamiętywania;
- stosować przerwy, np. sen lub inną formę wypoczynku, co usprawnia przenoszenie informacji do pamięci długotrwałej.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Wyjaśnij rolę pompy sodowo-potasowej w polaryzacji błony komórki nerwowej.
2. Podaj kryteria wyróżniania synaps i omów różnice między nimi.
3. Przedstaw drogę, jaką przemierza impuls nerwowy w łuku odruchowym, kiedy oparzysz rękę gorącym żelazkiem.

PODSUMOWANIE LEKCJI

s. 291

- Podstawą przewodzenia jest zmienność polaryzacji błony komórkowej, co wymaga **aktywnego transportu jonów** sodu i potasu przez białka przenośnikowe tworzące pompę sodowo-potasową.

- Przekazywanie impulsu nerwowego między neuronami i między neuronami a innymi komórkami odbywa się za pomocą **synaps**, które dzielimy na chemiczne i elektryczne oraz hamujące i pobudzające. ◂ s. 293
- Podstawową czynnością układu nerwowego jest **łuk odruchowy** składający się z receptora, neuronu czuciowego, ośrodka nerwowego, neuronu ruchowego i efektora. ◂ s. 295
- **Odruchy dzielimy na warunkowe i bezwarunkowe**. Odruchy bezwarunkowe są wrodzone i obejmują proste czynności fizjologiczne organizmu i reakcje obronne. Odruchy warunkowe są nabyte i mogą powstawać przez całe życie, umożliwiają przystosowanie się organizmu do zmian w środowisku. ◂ s. 296
- **Uczenie się** to proces oparty na odruchach warunkowych. ◂ s. 297
- **Pamięć** jest procesem gromadzenia informacji wcześniej zdobytych. Wyróżnia się pamięć krótkotrwałą i długotrwałą. ◂ s. 297

25. Budowa układu nerwowego

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz budowę i funkcje obwodowego i ośrodkowego układu nerwowego;
- poznasz budowę i funkcje autonomicznego układu nerwowego.

Podział układu nerwowego przeprowadza się na podstawie **kryterium anatomicznego i czynnościowego** (**tab. II.25.1**.).

Tab. II.25.1. Anatomiczny podział układu nerwowego

Ośrodkowy układ nerwowy (podział kliniczny)			Obwodowy układ nerwowy
Mózgowie	mózg	kresomózgowie	12 par nerwów czaszkowych
	pień mózgu	międzymózgowie (wzgórze, podwzgórze, przysadka, szyszynka)	
		śródmózgowie	
		tyłomózgowie wtórne (rdzeń przedłużony i most)	
	móżdżek	część tyłomózgowia	
Rdzeń kręgowy			31 par nerwów rdzeniowych
			zwoje nerwowe, sploty nerwowe
			receptory i zakończenia nerwowe

ośrodkowy i obwodowy układ nerwowy

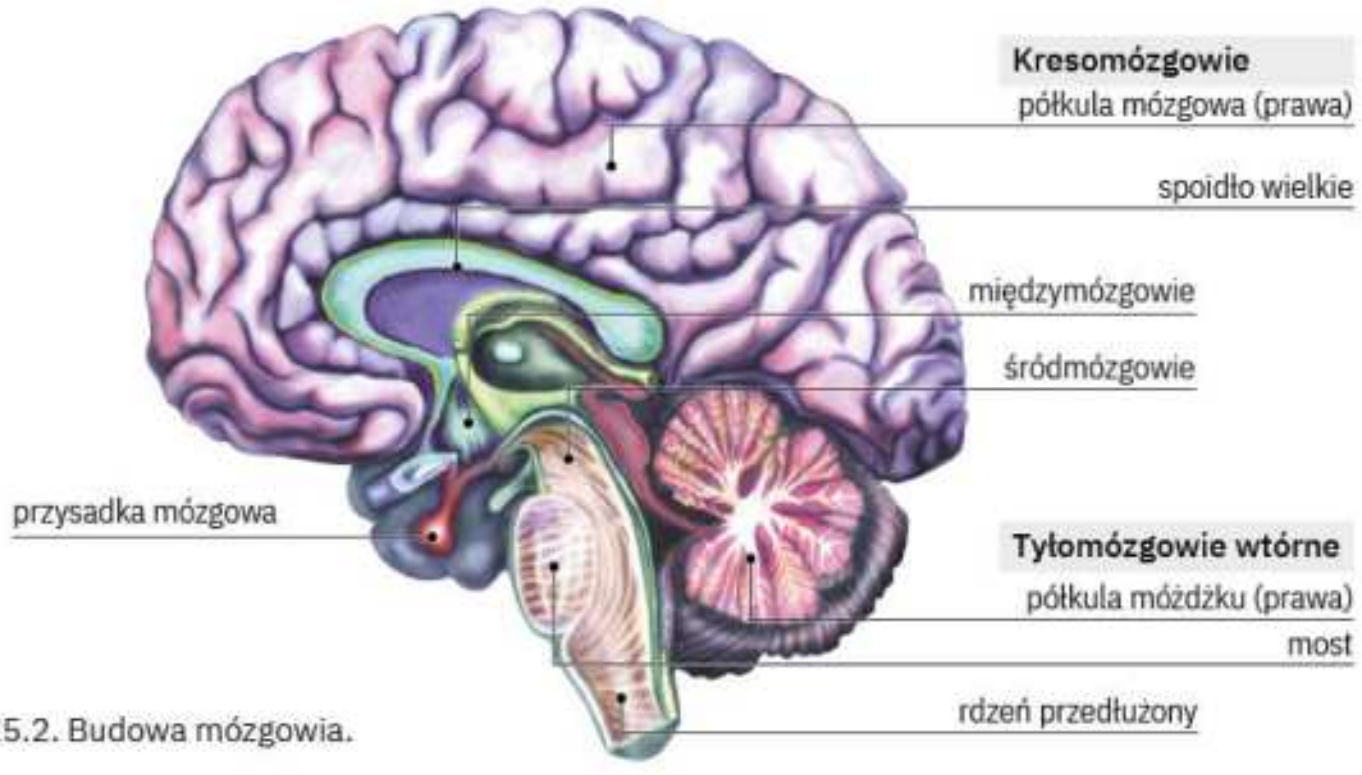
Ośrodkowy układ nerwowy jest zbudowany z mózgowia i rdzenia kręgowego. Obwodowy układ nerwowy tworzą nerwy czaszkowe (12 par) i rdzeniowe (31 par), zwoje i sploty nerwowe oraz zakończenia nerwowe odbierające bodźce (receptory). Według kryterium czynnościowego układ nerwowy dzielimy na układ somatyczny i autonomiczny (wegetatywny; AUN) (**ryc. II.25.1.**).

Ryc. II.25.1. Somatyczny i autonomiczny układ nerwowy.

Podział i budowa mózgowia

mózgowie

Mózgowie jest nadrzędną częścią ośrodkowego układu nerwowego. Waży około 1,4 kg, co stanowi zaledwie 2% całkowitej masy ciała. Wzrost mózgowia poprzez powiększanie wypustek neuronu i rozwoju tkanki glejowej zostaje zakończony około 20. roku życia. Mózgowie można podzielić na podstawie rozwoju mózgowia w czasie rozwoju zarodkowego oraz podziału stosowanego w medycynie (podział kliniczny). Według pierwszego kryterium ten narząd dzielimy na: **kresomózgowie**, **międzymózgowie**, **śródmózgowie**, **tyłomózgowie wtórne** (**móżdżek i most**) oraz **rdzeń przedłużony**. W podziale klinicznym kresomózgowie stanowi mózg, międzymózgowie, śródmózgowie, most i rdzeń przedłużony określa się jako pień mózgu, a osobną część stanowi móżdżek (część tyłomózgowia wtórnego) (**ryc. II.25.2.**).



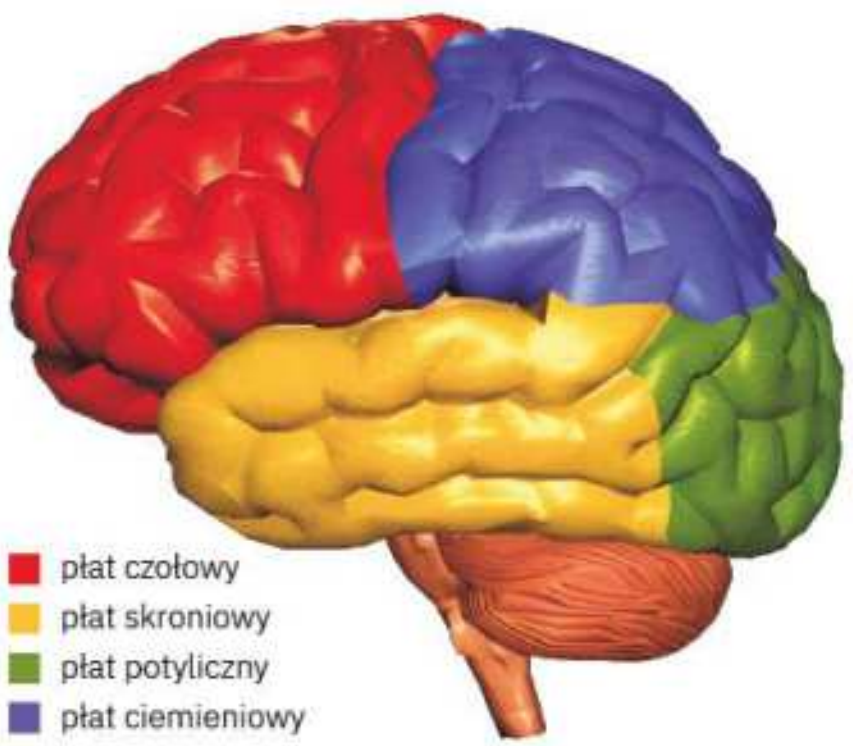
Ryc. II.25.2. Budowa mózgowia.

Największą częścią mózgowia jest **kresomózgowie**. Składa się ono z **dwóch półkul** połączonych **spoidłem wielkim**. Większą część kresomózgowia stanowi pokrywająca je z zewnątrz **kora mózgowa** – warstwa istoty szarej (ciała komórek nerwowych). Pod nią znajduje się istota biała (wypustki komórek nerwowych). Tworzą ją gęsto ułożone komórki nerwowe, których liczba wynosi około 10 mln. Każda komórka nerwowa tworzy synapsy (ok. 6 tys.), co daje ogromne możliwości przekazywania impulsów nerwowych. Dodatkowo półkule są bardzo silnie pofałdowane, co znacznie zwiększa ich powierzchnię. Pofałdowania układają się w uwypuklenia – **zakręty** – oddzielone od siebie **bruzdami**.

Półkule mózgu się różnią – lewa dominuje u osób praworęcznych, a prawa – u leworęcznych (**ryc. II.25.3.**).

Ryc. II.25.3. Różnice w funkcjach półkuli mózgowych.

W każdej półkuli można wyróżnić **cztery parzyste płaty**: **czołowy**, **ciemieniowy**, **skroniowy** i **potyliczny**. Grupy neuronów tworzą wyspecjalizowane w odbiorze i przekazywaniu impulsów **ośrodki nerwowe** (**korowe**) zlokalizowane w płatach. Do najważniejszych należą ośrodki słuchu i mowy w płacie skroniowym, wzroku w płacie potylicznym, ruchu i psychiczne w płacie czołowym oraz czuciowy (dotyk, ból, ciepło, zimno) w płacie ciemieniowym (**ryc. II.25.4.**).



Ryc. II.25.4. Rozmieszczenie płatów w półkuli mózgowej.

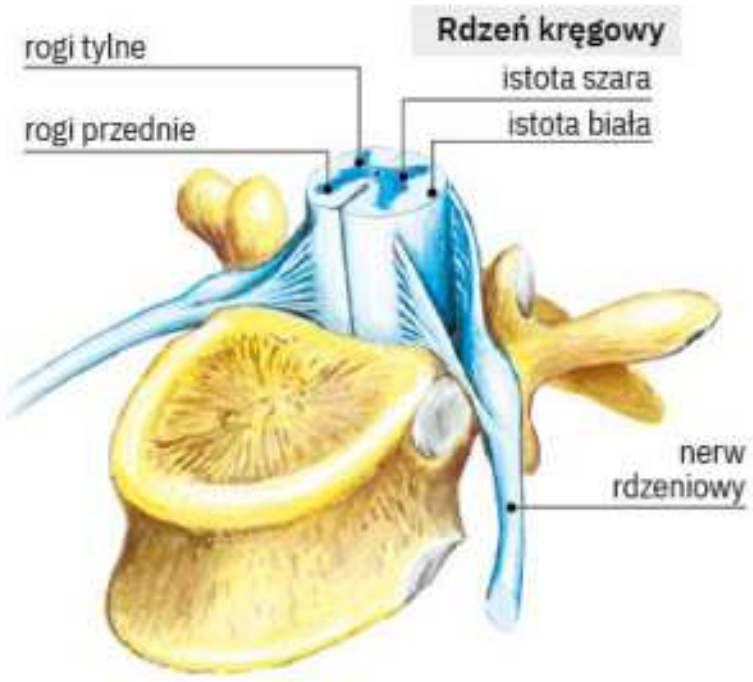
Międzymózgowie jest niewielką strukturą mózgowia. Ważną jego częścią jest podwzgórze, w którym mieszczą się ośrodki czynności we-

getatywnych (niezależnych od naszej woli), np. termoregulacji, pragnienia, głodu i sytości, popędów płciowych oraz instynktów macierzyńskich (inaczej zbudowany u kobiet i mężczyzn). Międzymózgowie jest centrum koordynacji nerwowej i hormonalnej, wydziela hormony kierujące pracą m.in. przysadki mózgowej (liberyny – działają pobudzająco i statyny – działają hamująco), nerek (wazopresyna), a także skurczami mięśni gładkich męskich i żeńskich narządów rozrodczych (oksytocyna). Ośrodki w międzymózgowiu działają na stany motywacyjne – zdobywania (dążenie do zaspokojenia potrzeby) i unikania (dążenie do odrzucenie bodźca przez ucieczkę). Ważną częścią międzymózgowia jest szyszynka, która wpływa na dobowy rytm funkcjonowania organizmu (dzień–noc).

śródmózgowie ▸ **Śródmózgowie** jest niewielką częścią pnia mózgu, łączącą międzymózgowie z móżdżkiem i mostem. Mieszczą się tutaj ośrodki odruchów wzrokowych, np. zwężania źrenicy, nieświadomych ruchów gałki ocznej oraz odruchów słuchowych (np. mimowolne odwracanie głowy w kierunku dźwięku). Śródmózgowie współdziała z móżdżkiem w regulacji napięcia mięśni szkieletowych.

móżdżek ▸ **Móżdżek** jest zbudowany z dwóch półkul połączonych robakiem. Jego powierzchnię pokrywa istota szara – kora móżdżku. Móżdżek odpowiada za płynność i koordynację ruchów. Mieszczą się tutaj ośrodki regulujące napięcie mięśni szkieletowych (tzw. tonus), które wpływają na utrzymanie odpowiedniej postawy ciała i umożliwiają poruszanie się. Niewielkie uszkodzenia móżdżku mogą powodować poważne zaburzenia, np. ataksję, czyli zaburzenia koordynacji ruchów mięśni szkieletowych czy astenię – szybkie męczenie mięśni.

rdzeń przedłużony ▸ **Rdzeń przedłużony** stanowi najbardziej pierwotną część mózgowia. Jest naturalnym przedłużeniem rdzenia kręgowego. Od góry przechodzi w most. W rdzeniu przedłużonym mieszczą się ośrodki podstawowych czynności wegetatywnych (elementarne funkcje życiowe), takich jak: połykanie, żucie, ssanie, ruchy oddechowe i częściowo tempo pracy serca. W rdzeniu przedłużonym występuje skrzyżowanie szlaków nerwowych czuciowych oraz ruchowych lewej i prawej strony ciała, dzięki czemu prawa strona mózgu kontroluje czynności lewej strony ciała i odwrotnie.



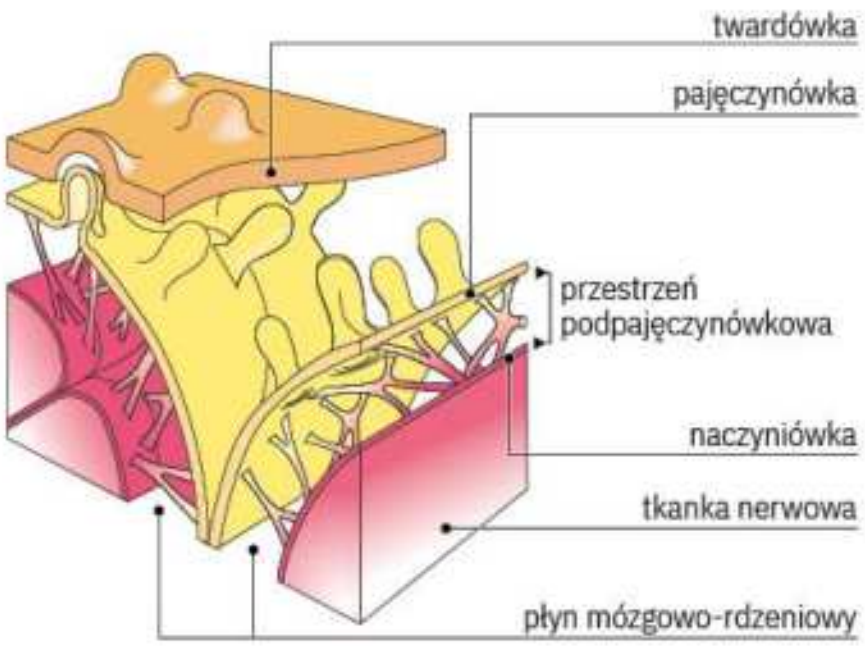
Ryc. II.25.5. Budowa rdzenia kręgowego.

Rdzeń kręgowy przebiega przez kanał kręgowy utworzony przez otwory w kręgach kręgosłupa. Rozpoczyna się w rdzeniu przedłużonym i biegnie do drugiego kręgu lędźwiowego. Od zewnątrz rdzeń tworzy istota biała, a pod nią leży istota szara (odwrotnie niż w korze mózgowej), układająca się na przekroju w kształt litery H. Istota szara tworzy rogi brzuszne (przednie) oraz rogi grzbietowe (tylne). Wnętrze rdzenia stanowi **kanał centralny** wypełniony płynem mózgowo-rdzeniowym (**ryc. II.25.5.**).

Rdzeń kręgowy uczestniczy w przekazywaniu impulsów z mózgowia do narządów wykonawczych i uczestniczy w odruchach bezwarunkowych.

Ochrona ośrodkowego układu nerwowego

Ośrodkowy układ nerwowy jest chroniony przez **struktury kostne**: **czaszkę** (chroni mózgowie) i **kręgi kręgosłupa** (ochraniają rdzeń kręgowy) oraz dodatkowo przez trzy błony łącznotkankowe zwane **oponami mózgowo-rdzeniowymi**. Najbardziej zewnętrzną błoną wyścielającą jamę czaszki i kanał rdzenia kręgowego jest **błona twarda**, czyli twardówka (**ryc. II.25.6.**).



Ryc. II.25.6. Ochrona mózgu i rdzenia kręgowego.

Od strony zewnętrznej twardówka zrasta się z okostną, a od wewnątrz przylega do opony pajęczej. Pomiędzy tymi warstwami znajdują się zatoki żylne. Opona środkowa – **pajęczynówka** (pajęcza) – to najcieńsza błona. Pomiędzy pajęczynówką a błoną miękką występuje jama podpajęczynówkowa wypełniona płynem mózgowo-rdzeniowym. Najbardziej wewnętrzną oponą jest **opona miękka** (naczyniówka), która bezpośrednio przylega do powierzchni mózgowia (wnika w jego bruzdy i zagłębienia) i rdzenia kręgowego. Zawiera liczne naczynia krwionośne i spełnia funkcje odżywcze. Przez naczynia krwionośne naczyniówki przenikają tylko woda, gazy oddechowe i glukoza, co chroni układ nerwowy przed dostaniem się szkodliwych substancji, np. leków (**bariera krew–mózg**).

płyn mózgowo-rdzeniowy

Płyn mózgowo-rdzeniowy jest przesączem wody i niektórych składników osocza (glukozy, białek, jonów Cl, Mg^{2+}). Stanowi ochronę ośrodkowego układu nerwowego, zapewnia utrzymanie prawidłowego ciśnienia w jamie czaszki i odpowiada za odżywianie neuronów oraz usuwanie produktów metabolizmu. Czasami płyn mózgowo-rdzeniowy jest pobierany w celach diagnostycznych.

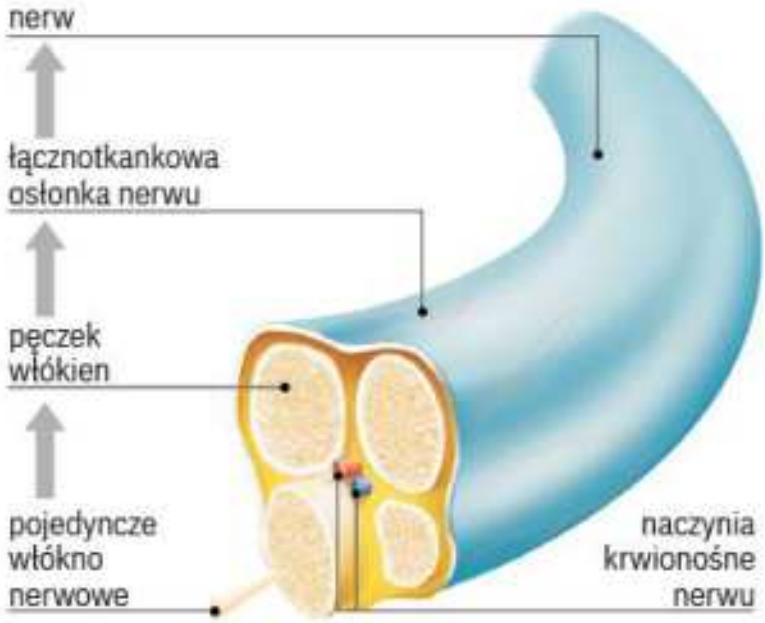
Obwodowy układ nerwowy

nerwy

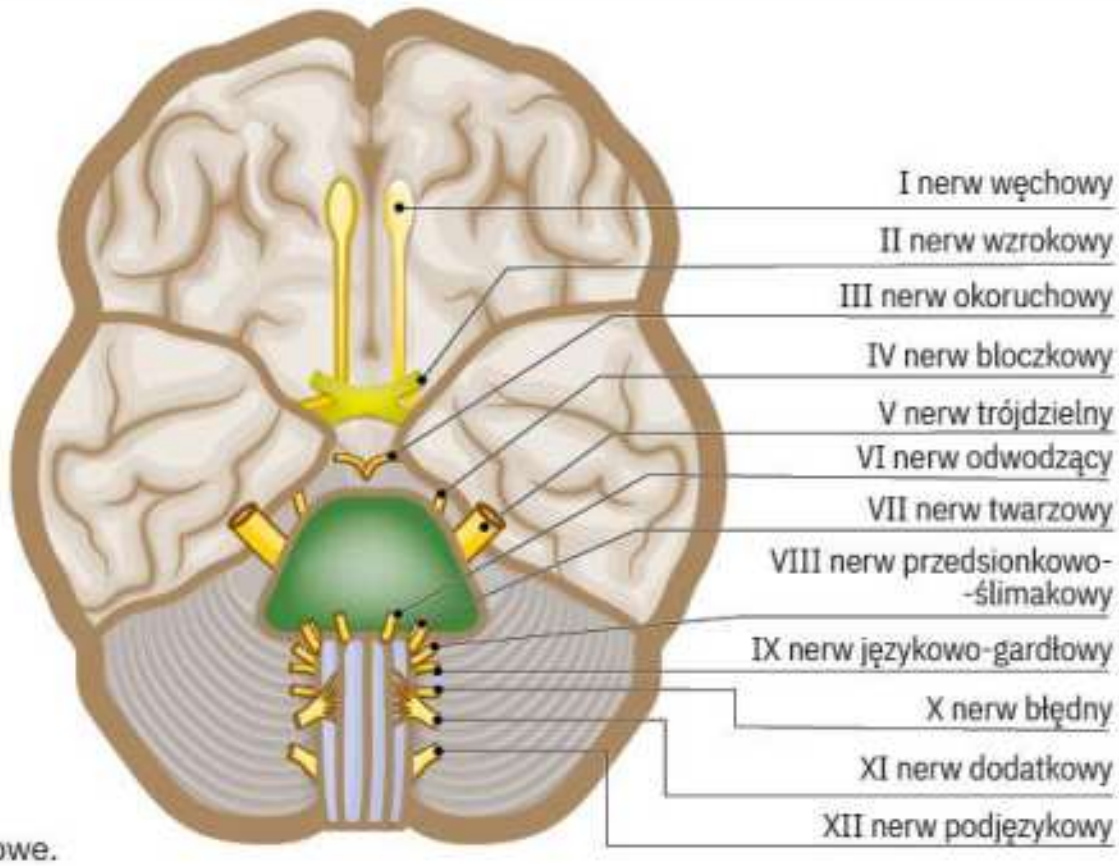
Obwodowy układ nerwowy jest zbudowany z **nerwów czaszkowych i rdzeniowych**. **Nerwy** są utworzone z wielu biegnących równolegle do siebie aksonów otoczonych osłonką łącznotkankową. W każdym nerwie znajdują się naczynia krwionośne, które dostarczają substancji odżywczych i tlenu komórkom (**ryc. II.25.7.**).

Nerwy ze względu na rodzaj aksonów dzielimy na:

- **czuciowe** – zawierają włókna czuciowe przewodzące impulsy czucia (np. dotyku, ciepła, bólu) do ośrodkowego układu nerwowego;
- **nerwy ruchowe** – mają włókna ruchowe wyprowadzające impulsy z ośrodkowego układu nerwowego do mięśni, gruczołów i innych narządów wykonawczych;
- **nerwy mieszane** – zawierają włókna czuciowe i ruchowe przewodzące impulsy w obu kierunkach (do i z ośrodkowego układu nerwowego). Zwoje nerwowe są utworzone ze skupień ciał komórek nerwowych znajdujących się poza ośrodkowym układem nerwowym. Nerwy czaszkowe unerwiają przede wszystkim głowę i jej okolice (**ryc. II.25.8.**). Są to nerwy czuciowe, ruchowe i mieszane.

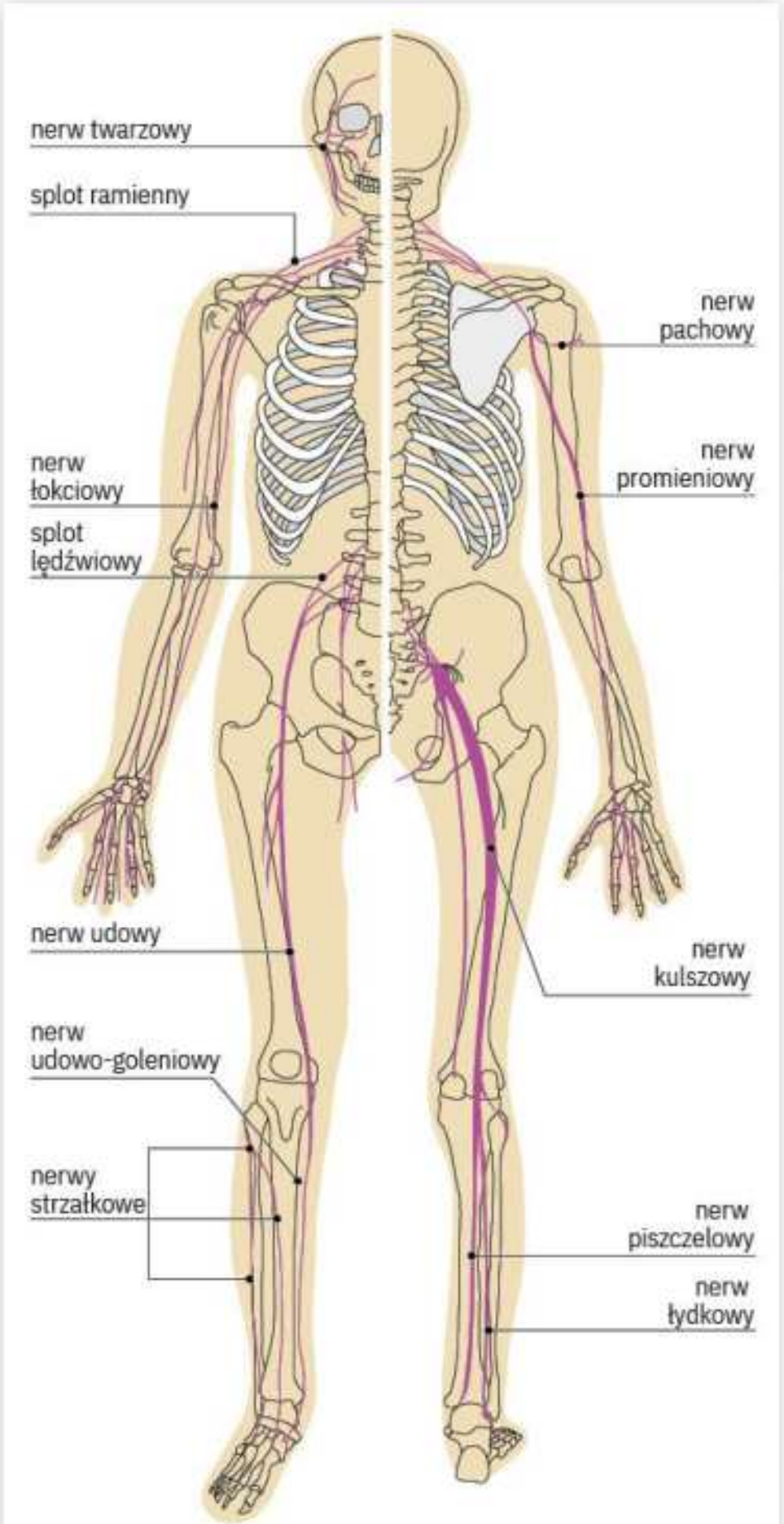


Ryc. II.25.7. Budowa nerwu.



Ryc. II.25.8. Nerwy czaszkowe.

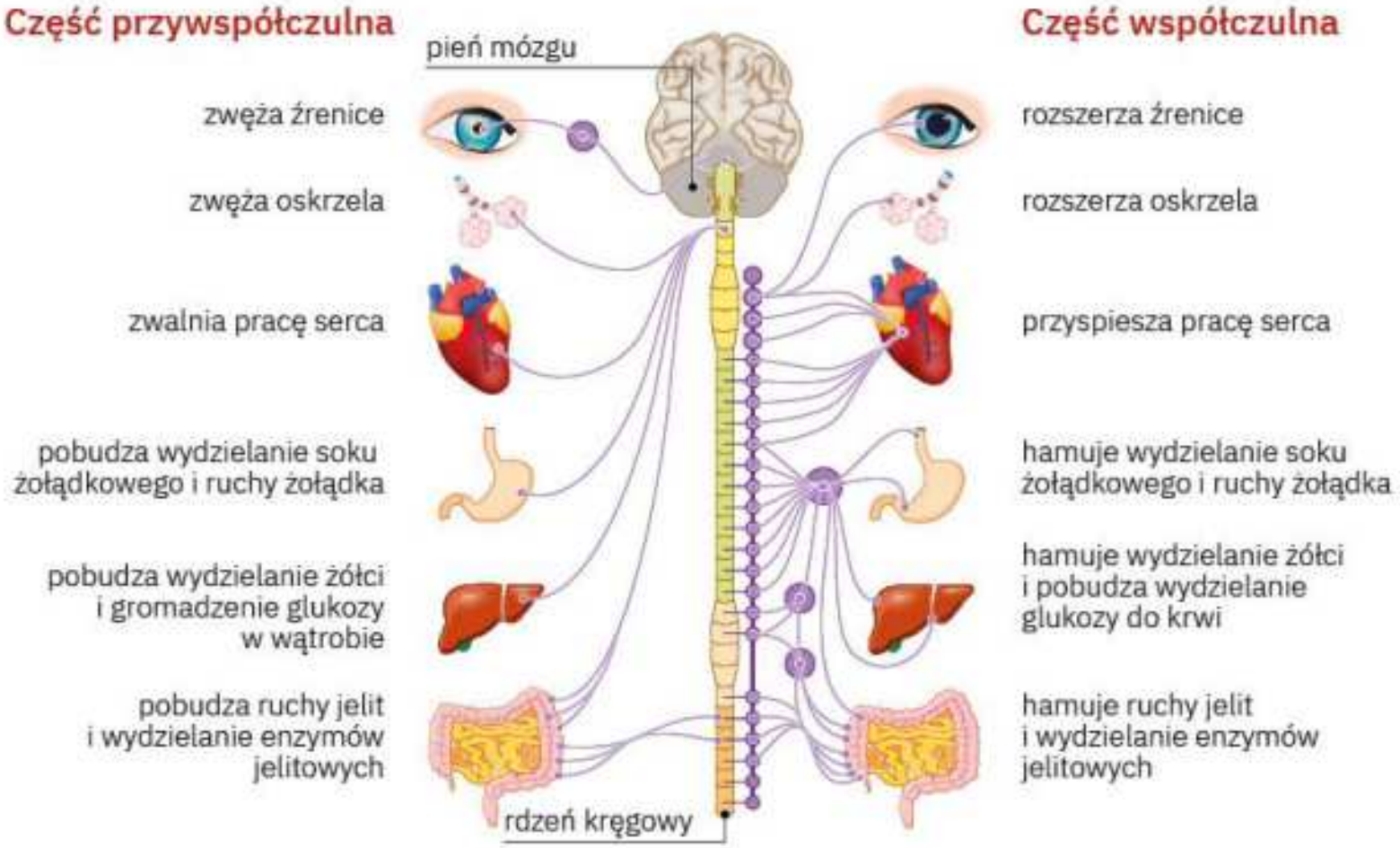
Natomiast nerwy rdzeniowe są nerwami mieszanymi. Dzielimy je na nerwy szyjne, piersiowe, lędźwiowe, krzyżowe i guziczne. Unerwiają skórę, mięśnie, narządy wewnętrzne i naczynia krwionośne. Uszkodzenie nerwów rdzeniowych może zakończyć się niedowładem lub porażeniem mięśni (**ryc. II.25.9.**).



Ryc. II.25.9. Nerwy obwodowego układu nerwowego.

Somatyczny i autonomiczny układ nerwowy

Somatyczny układ nerwowy odbiera bodźce ze środowiska zewnętrznego oraz narządów ruchu. Jego praca w znacznej mierze zależy od woli człowieka. Natomiast **układ autonomiczny** (**AUN**) odbiera bodźce z wnętrza ciała i kieruje pracą narządów wewnętrznych (unerwia mięśnie gładkie, mięsień serca i gruczoły) i dlatego jego praca nie zależy od woli człowieka. Oba układy współpracują ze sobą w celu utrzymania równowagi w organizmie. Układ autonomiczny kontroluje takie funkcje, jak: trawienie, oddychanie, tempo przemiany materii. Dzieli się na **układ współczulny**, inaczej sympatyczny (pobudzający), i **przywspółczulny**, inaczej parasympatyczny (hamujący). Oba układy unerwiają wszystkie narządy wewnętrzne organizmu, a ich działanie jest względem siebie **antagonistyczne** (**ryc. II.25.10.**).



Ryc. II.25.10. Porównanie działania układu przywspółczulnego i współczulnego.

ośrodki nerwowe ▸

Układ współczulny składa się z części ośrodkowej, pni współczulnych i części obwodowej. **Ośrodki nerwowe** układu współczulnego znajdują się w rogach bocznych istoty szarej części piersiowej i lędźwiowej rdzenia kręgowego. Z tej części rozchodzą się **przedzwojowe włókna nerwowe**, które kończą swój bieg w zwojach pnia współczulnego. Do głównych ośrodków współczulnych zaliczamy m.in. ośrodek naczynioruchowy odpowiedzialny za skurcz mięśni gładkich naczyń krwionośnych czy ośrodek wydzielania potu. **Pnie współczulne**, utworzone przez zwoje nerwowe, są położone przykręgowo po obu stronach kręgosłupa. Część obwodowa to **włókna zazwojowe** znacznie dłuższe od przedzwojowych. Część współczulna pobudza pracę danego narządu, mobilizuje do aktywności, walki lub ucieczki, co wiąże się z wydatkowaniem energii. Takie pobudzanie następuje w sytuacjach stresowych i spowalnia procesy trawienne. W zakończeniach neuronów tego układu zostaje uwolniony neuroprzekaźnik **noradrenalina**. Następuje wówczas dobre natlenienie i dostarczenie substancji odżywczych do organizmu. Układ przywspółczulny składa się z części mózgowej (głowowej lub czaszkowej) oraz rdzeniowej (krzyżowej). **Część mózgową** tworzą ośrodki nerwowe w śródmózgowiu, móżdżku i rdzeniu przedłużonym. **Część rdzeniową** tworzą ośrodki leżące w rogach bocznych istoty szarej rdzenia kręgowego na wysokości między 1 a 3 kręgiem kości krzyżowej. Z tej części biegną długie **przedzwojowe włókna nerwowe,** które kończą się w zwojach. Zwoje leżą w narządach wewnętrznych lub blisko nich. Od zwojów rozpoczynają się krótkie **włókna zazwojowe**, docierające do narządów wewnętrznych. Układ przywspółczulny powoduje zmniejszenie aktywności procesów fizjologicznych i wprowadza organizm w stan odprężenia,

relaksu, wypoczynku, przyspiesza przebieg procesów trawienia, np. po obfitym posiłku z zakończeń neuronów zostaje uwolniona acetylocholina i organizm koncentruje się na trawieniu pokarmu. Ośrodki nerwowe układu przywspółczulnego leżą w istocie szarej śródmózgowia, móżdżku i rdzenia przedłużonego. Oba układy wykazują zmienność aktywności dobowej. Układ współczulny dominuje w dzień, a osiąga szczyt aktywności w godzinach popołudniowych. Nocą kontrolę nad pracą narządów przyjmuje układ przywspółczulny, który jest najbardziej aktywny w godzinach nocnych i rannych.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Przedstaw rolę kory mózgowej w powstawaniu wrażeń zmysłowych.
2. Omów funkcje opon mózgowych i płynu mózgowo-rdzeniowego w ochronie i prawidłowej pracy mózgu.
3. Wyjaśnij rolę autonomicznego układu nerwowego w zachowaniu równowagi w organizmie.

PODSUMOWANIE LEKCJI

- Pod względem budowy układ nerwowy dzielimy na **ośrodkowy** (mózgowie i rdzeń kręgowy) oraz **obwodowy** (nerwy czaszkowe i rdzeniowe). W kresomózgowiu znajdują się nadrzędne ośrodki zmysłowe i ruchowe. ◂ s. 300
- Na podstawie kryterium czynnościowego wyróżnia się **autonomiczny i somatyczny** układ nerwowy. Autonomiczny reguluje pracę narządów wewnętrznych. Składa się z części współczulnej i przywspółczulnej, które działają antagonistycznie. Układ somatyczny unerwia mięśnie szkieletowe i skórę. ◂ s. 305

26. Percepcja zmysłowa u zwierząt

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz rodzaje receptorów u zwierząt;
- dowiesz się, jak przebiegała ewolucja narządów zmysłów zwierząt.

Rodzaje receptorów u zwierząt

Informacje ze środowiska zewnętrznego i wewnętrznego są odbierane u wszystkich zwierząt tkankowych przez specjalne komórki lub zespoły komórek zwane komórkami czuciowymi lub receptorami. Są one niezbędne do przetrwania zwierząt w środowisku. ◂ receptory

Pierwsze komórki czuciowe pojawiły się w powłoce ciała u parzydełkowców. Były równomiernie rozmieszczone, a u form osiadłych skupiały się wokół otworu gębowego. U bezkręgowców wolno żyjących równolegle z wykształceniem przedniego odcinka ciała komórki czuciowe skupiały się na nim, tworząc duże powierzchnie receptorowe. W miarę dalszego rozwoju ewolucyjnego przekształciły się w narządy zmysłów.

Receptory u zwierząt odbierają różne bodźce: optyczne, mechaniczne, akustyczne, chemiczne. Przekształcają je na impulsy nerwowe, które za pomocą nerwów przechodzą do ośrodkowego układu nerwowego, gdzie zostają przetworzone na reakcję odpowiednich narządów wykonawczych. Receptory przetwarzają energię bodźca na energię elektryczną impulsu nerwowego. Receptory ze względu na środowisko, z którego odbierają bodźce, dzielimy na:

eksteroreceptory

- **receptory czuciowe zewnętrzne – eksteroreceptory** – odbierają bodźce ze środowiska zewnętrznego (np. narząd wzroku, słuchu, węchu, dotyku, ucisku, zmian temperatury); są zlokalizowane na powierzchni ciała; umożliwiają poznawanie otoczenia i reagowanie na bodźce zewnętrzne;

interoreceptory

- **receptory czuciowe wewnętrzne – interoreceptory –** odbierają bodźce ze środowiska wewnętrznego (np. z układu pokarmowego); pomagają w utrzymaniu równowagi wewnątrz organizmu zwierzęcia, tzw. homeostazy.

podział ze względu na rodzaj bodźca

Receptory można podzielić również ze względu na rodzaj odbieranych przez nie bodźców na:

- **mechanoreceptory** – reagują na zmiany energii mechanicznej (ucisk, rozciąganie, wibrację, dotyk, prądy wody, grawitację);
- **chemoreceptory** – reagują na bodźce chemiczne (kubki smakowe, nabłonek węchowy);
- **fotoreceptory** – reagują na zmiany energii świetlnej (plamki oczne, omatidia, czopki i pręciki siatkówki);
- **termoreceptory** – reagują na zmiany temperatury (zakończenia nerwowe na powierzchni ciała lub w skórze);
- **elektroreceptory** – reagują na zmiany natężenia i kierunek pola elektrycznego (zakończenia nerwowe w naskórku).

mechanoreceptory

Mechanoreceptory

Mechanoreceptory odbierają i przetwarzają bodźce mechaniczne, jak dotyk, ucisk, wibracja, fale ciśnieniowe (dźwięk), prądy wody, a także grawitacja. Funkcją tych receptorów jest przekazywanie informacji o rozmiarach obiektów występujących w środowisku zewnętrznym. Mechanoreceptory pozwalają na utrzymanie właściwej pozycji ciała w stosunku do kierunku siły ciężkości, np. dla kota grzbiet na górze a brzuch na dole, a u zwierząt o skomplikowanej budowie przekazują informacje do ośrodkowego układu nerwowego o pozycji i ruchach ciała.

Dotyk

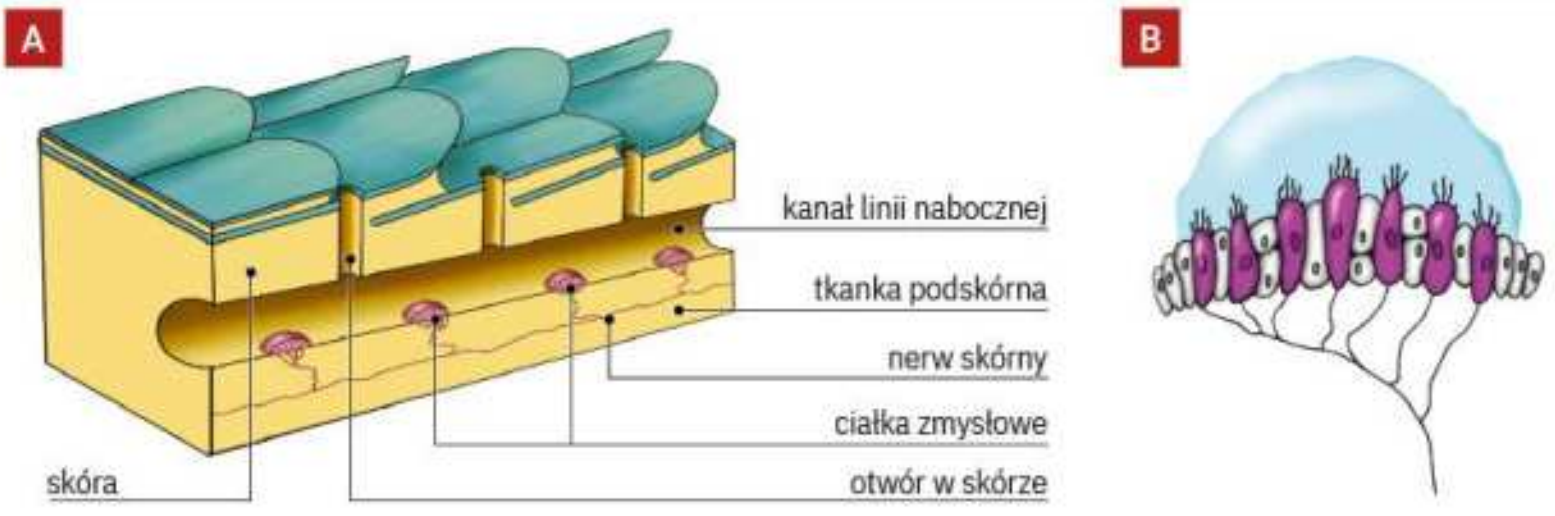
Mechanoreceptorem jest zmysł dotyku. Receptory dotyku u bezkręgowców są rozmieszczone w powłokach ciała u podstawy włosków, rzęsek lub szczecinek dotykowych. Rejestrują ruchy wody, powietrza, inne napotkane obiekty. Zmiana ich położenia w kontakcie z bodźcem wywołuje zmianę potencjału błonowego – depolaryzację i powstanie potencjału receptorowego. Przykładem zmysłu dotyku są włoski czuciowe i czułki stawonogów. U mięczaków receptory dotykowe znajdują się na czułkach, wokół otworu gębowego, na brzegach płaszcza i nogi. U szkarłupni receptory dotyku są rozmieszczone na czułkach i nóżkach. U ssaków receptory dotyku mieszczą się w skórze. Są nimi ciałka dotykowe (ciałka Meissnera) i tarczki dotykowe (tarczki Merkela), a receptorami ucisku (czucia głębokiego) – ciałka blaszkowate (ciałka Paciniego):

- tarczki Merkela odbierają dotyk i ucisk, bardzo powoli adaptują się do działającego bodźca;
- ciałka Meissnera odbierają lekki dotyk i ucisk, szybko adaptują się do długo utrzymującego się bodźca;
- ciałka Ruffiniego odbierają mocny i ciągły dotyk oraz ucisk.

Natomiast u kotów i wielu gatunków gryzoni występują **włosy czuciowe**.

narząd linii bocznej

Mechanoreceptorem jest **narząd linii bocznej** ryb i larw płazów. Składa się z wypełnionych śluzem kanałów położonych po obu stronach ciała w skórze. Ze środowiskiem zewnętrznym kanały łączą się, przebijając się przez łuski tułowia i kości czaszki. W kanałach znajdują się urzęsione komórki zmysłowe. Informują one ryby o przepływie i ruchach wody, a także pozwalają wykryć ruch i drgania wytworzone przez ofiarę, drapieżnika lub inne napotkane obiekty (**ryc. II.26.1.**).



Ryc. II.26.1. Pod wpływem przepływającej wody zginają się rzęski komórek zmysłowych (A). Komórki zmysłowe (B) przetwarzają energię mechaniczną na potencjały receptorowe, które są przesyłane do mózgu. Ryba jest wówczas informowana o kierunku i sile prądów wodnych, zmianach ciśnienia oraz poruszających się obiektach.

Równowaga i słuch

Mechanoreceptory mają znaczenie w utrzymaniu właściwej pozycji ciała w stosunku do siły grawitacji. Zamiana siły grawitacji Ziemi na bodźce mechaniczne zachodzi w narządach czuciowych – **statocystach.** Statocysta jest pęcherzykiem wypełnionym płynem i wyścielonym rzęskami komórek zmysłowych wrażliwych na bodźce mechaniczne. Wewnątrz znajduje się jeden lub kilka **statolitów** – ziarenek piasku lub węglanu wapnia, które w zależności od położenia ciała w środowisku podrażniają inne partie komórek zmysłowych. W ten sposób powstaje impuls nerwowy. Tak zbudowane narządy równowagi występują u bezkręgowców, np. u meduz parzydełkowców – mieszczą się w ciałkach brzeżnych (ropaliach).

błędnik błoniasty

U kręgowców zmysł równowagi mieści się w **błędniku błoniastym** w uchu wewnętrznym. Wszystkie kręgowce mają ucho wewnętrzne. **Ucho wewnętrzne** jest zbudowane z błędnika kostnego, wewnątrz którego znajduje się błędnik błoniasty. Wypełnia go **śródchłonka** (endolimfa), w której są zatopione ziarenka węglanu wapnia, zwane otolitami. W skład błędnika u ssaków wchodzą trzy kanały półkoliste oraz przedsionek pokryty komórkami zmysłowymi zaopatrzonymi w rzęski. Komórki te, położone w różnych płaszczyznach, są podobne do komórek zmysłowych występujących w linii bocznej ryb. Podczas zmiany położenia ciała zwierzęcia otolity naciskają na rzęski, które się wyginają. Wygięcie rzęsek jest odbierane przez receptory komórek zmysłowych, powstaje wówczas impuls, a informacja o zmianie położenia ciała zostaje przesłana do mózgu. Zmysł równowagi najlepiej się rozwinął u ssaków, które poruszają się w powietrzu, np. nietoperze, prowadzą nadrzewny tryb życia, np. małpy, czy pływają wodzie, np. foki i walenie.

U bezkręgowców dźwięk odbierają włoski pokrywające powierzchnię ciała lub jego struktury, np. u stawonogów znajdują się głównie na czułkach i odnóżach położonych blisko otworu gębowego. Pod wpływem dźwięków o różnej częstotliwości zostają pobudzone do ruchu włoski, które różnią się długością i sztywnością. U wielu gatunków owadów, szczególnie wydających dźwięki, na odnóżach lub odwłoku występują **narządy tympanalne**. Te narządy pełnią funkcję narządów słuchu (**ryc. II.26.2.**).

Ryc. II.26.2. Narząd tympanalny u świerszcza. Są zbudowane z worka powietrznego pokrytego cienką błoną kutykularną, z którą są połączone komórki zmysłowe. Fale dźwiękowe wprawiają w drgania błonę i pobudzają przyczepione do niej komórki receptorowe, co prowadzi do powstania impulsów nerwowych.

U większości zwierząt narząd słuchu jest połączony z narządem równowagi i mieści się w uchu. Zadaniem ucha jest odbieranie i przetwarzanie dźwięku w impulsy nerwowe, które są analizowane w mózgu. Fale dźwiękowe docierające do uszu to drga-

nia pochodzące z powietrza lub wody. U ryb żyjących w wodzie, która lepiej niż powietrze przewodzi dźwięki, występuje tylko **ucho wewnętrzne**. Zwierzęta te nie potrzebują ucha zewnętrznego i środkowego z kosteczkami słuchowymi. Bodźce dźwiękowe są wzmacniane przez **pęcherz pławny**. W związku ze zmianą środowiska życia z wodnego na lądowe u płazów, gadów i ptaków występuje **ucho środkowe**. Składa się z jamy bębenkowej połączonej trąbką słuchową z gardzielą. Trąbka słuchowa wyrównuje ciśnienie powietrza po obu stronach błony bębenkowej. Wewnątrz znajduje się pojedyncza kosteczka słuchowa – **strzemiączko** – łącząca błonę bębenkową z błędnikiem błoniastym ucha wewnętrznego. Obecność **błony bębenkowej** ułatwia odbiór dźwięku, a strzemiączko wzmacnia przekazywanie drgań fali dźwiękowej. U ssaków występuje ucho zewnętrzne w postaci **małżowiny usznej**. Małżowiny zbierają fale dźwiękowe i przenoszą je na błonę bębenkową ucha środkowego. U niektórych gatunków, np. zajęcy, wydłużone i bardzo ruchliwe małżowiny pozwalają na rozpoznanie kierunku dobiegających dźwięków. W uchu środkowym są **trzy kosteczki słuchowe – strzemiączko, młoteczek i kowadełko**, które wzmacniają przenoszenie drgań błony bębenkowej do ucha środkowego. U niektórych ssaków, np. waleni i nietoperzy rozwinął się mechanizm echolokacji, który ułatwia poruszanie się w środowisku. Zwierzęta wytwarzają dźwięki o wysokiej częstotliwości, które odbijają się od przeszkód i są słyszalne jako echo, co ułatwia orientację w środowisku, szczególnie nocą.

◂ kosteczki słuchowe

Węch i smak

Węch i smak są rozróżniane tylko u zwierząt lądowych.

Zmysł węchu u zwierząt odbiera bodźce chemiczne. Większość związków chemicznych odpowiedzialnych za wrażenia węchowe to małe, lotne związki organiczne. U bezkręgowców zmysł smaku odgrywa ważną rolę w życiu stawonogów. Receptory smaku są skupione głównie wokół ich otworu gębowego.

Samce niektórych owadów są zdolne do wyczuwania zapachów wydzielanych przez samice (feromony) z bardzo dużej odległości.

U kręgowców za odbiór bodźców chemicznych odpowiada **nabłonek węchowy** pokrywający dołki węchowe lub jamę nosową u wyższych kręgowców. Jest on wrażliwy na substancje wonne rozpuszczone w wodzie lub rozproszone w powietrzu. U płazów, gadów i ssaków występuje **narząd Jacobsona**, wykrywający wiele substancji chemicznych. U gadów jest głównym narządem powonienia, a u niektórych węży służy także do tropienia ofiary.

◂ nabłonek węchowy

Zmysł węchu ułatwia zlokalizowanie źródła pokarmu, odnalezienie partnera w celach rozrodczych, rozpoznania terytorium oznaczonego substancjami chemicznymi, np. u psów, a także pomaga w ustaleniu kierunków podczas wędrówek zwierząt. Za pomocą substancji zapachowych owady społeczne, np. mrówki i pszczoły, mogą się ze sobą komunikować.

Zmysł smaku odbiera bodźce chemiczne w postaci rozpuszczonej w cieczy. Służy zwierzętom do rozpoznawania składu chemicznego pokarmów. U wielu gatunków

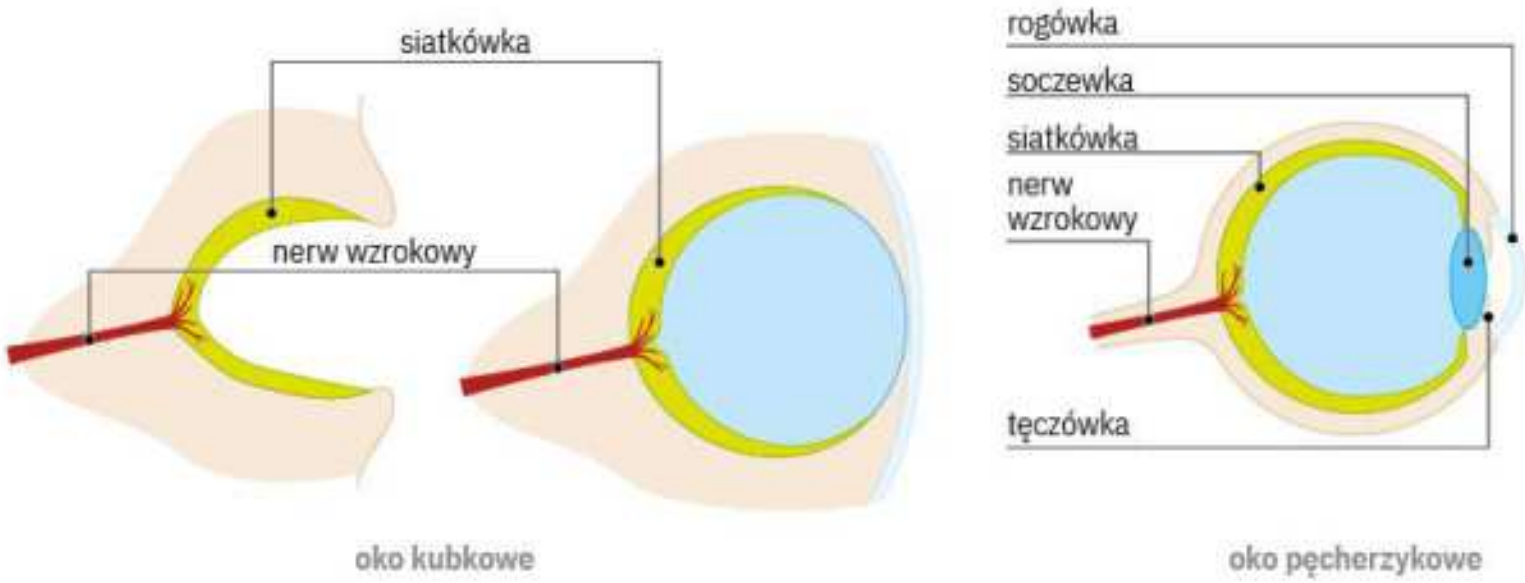
◂ **chemoreceptory**

bezkręgowców smak i węch nie są odrębnymi zmysłami. Podobnie jak węch smak odgrywa istotną rolę w życiu stawonogów. Receptory smaku w postaci **włosków czuciowych** (tzw. sensille) u owadów są rozmieszczone wokół otworu gębowego i w różnych częściach ciała, np. na odnóżach, czułkach. Natomiast u ssaków receptory smaku znajdują się w **kubkach smakowych** języka, jamy gębowej i w okolicach otworu gębowego.

Wzrok

fotoreceptory

Fotoreceptorami są narządy wzroku, czyli oczy. Oczy odbierają fale świetlne i przekształcają je na impulsy nerwowe. Wiąże się to z obecnością światłoczułego barwnika rodopsyny, który pod wpływem światła rozpada się, wywołując impuls nerwowy. U większości zwierząt bezkręgowych występują **oczy proste**. Są to zgrupowania komórek światłoczułych pokrywających zewnętrzną powierzchnię wzrokową, np. u skąposzczetów. Takie oko pozwala tylko na odróżnienie światła od ciemności. U wirków i ślimaków występują **oczy kubkowe** powstałe w zagłębieniach powierzchni ciała, pozwalające zwierzętom określić nie tylko intensywność światła, lecz także kierunek padania promieni świetlnych. U ślimaków para oczu prostych znajduje się zwykle na szczycie lub u podstawy czułków. U głowonogów oczy proste przyjmują **kształt pęcherzyków** (tzw. oczy pęcherzykowe), co znacznie zwiększa powierzchnię pokrytą komórkami światłoczułymi, a tym samym zwiększa ostrość widzenia (**ryc. II.26.3.**).



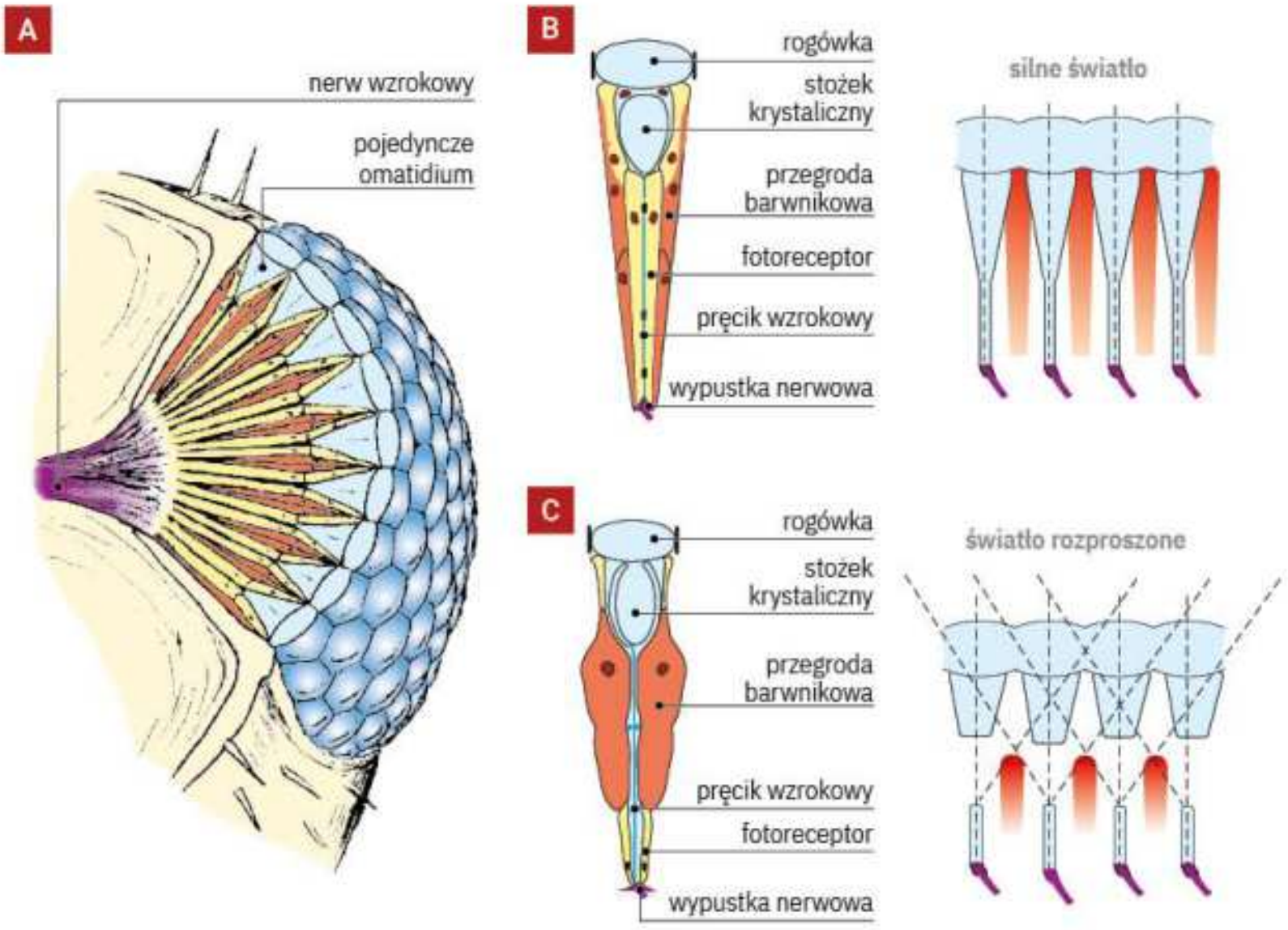
Ryc. II.26.3. Oko kubkowe i pęcherzykowe.

oczy złożone

U stawonogów narząd wzroku występuje w postaci oczu prostych lub złożonych. **Oczy złożone** spotyka się głównie u owadów, a także u skorupiaków i niektórych wieloszczetów. Są zbudowane z wielu tysięcy oczek prostych zwanych **omatidiami**. Omatidium składa się z części zewnętrznej, czyli soczewki, która koncentruje światło i pozwala je wykryć z niewielkiego pola widzenia, oraz części wewnętrznej – światłoczułej warstwy odpowiadającej siatkówce. Każde omatidium rejestruje światło o różnym natężeniu i barwie. Obraz powstający w oku złożonym jest **mozai-**

ką pojedynczych obrazów powstających w poszczególnych omatidiach. U owadów dziennych występują oczy złożone apozycyjne. W **oku apozycyjnym** każde z ommatidiów jest otoczone komórkami barwnikowymi, które pochłaniają większość promieni świetlnych, a przepuszczają tylko prostopadłe. Powstający obraz mozaikowy jest ciemniejszy, ale o dużej ostrości, co ułatwia widzenie dzienne. Owady prowadzące nocny tryb życia posługują się **oczami superpozycyjnymi**. Omatidia są mniej izolowane komórkami barwnikowymi niż w oku apozycyjnym, a powstający obraz jest jasny, ale nieostry. Takie oko stanowi adaptację do życia w warunkach niewielkiego natężenia światła (**ryc. II.26.4.**).

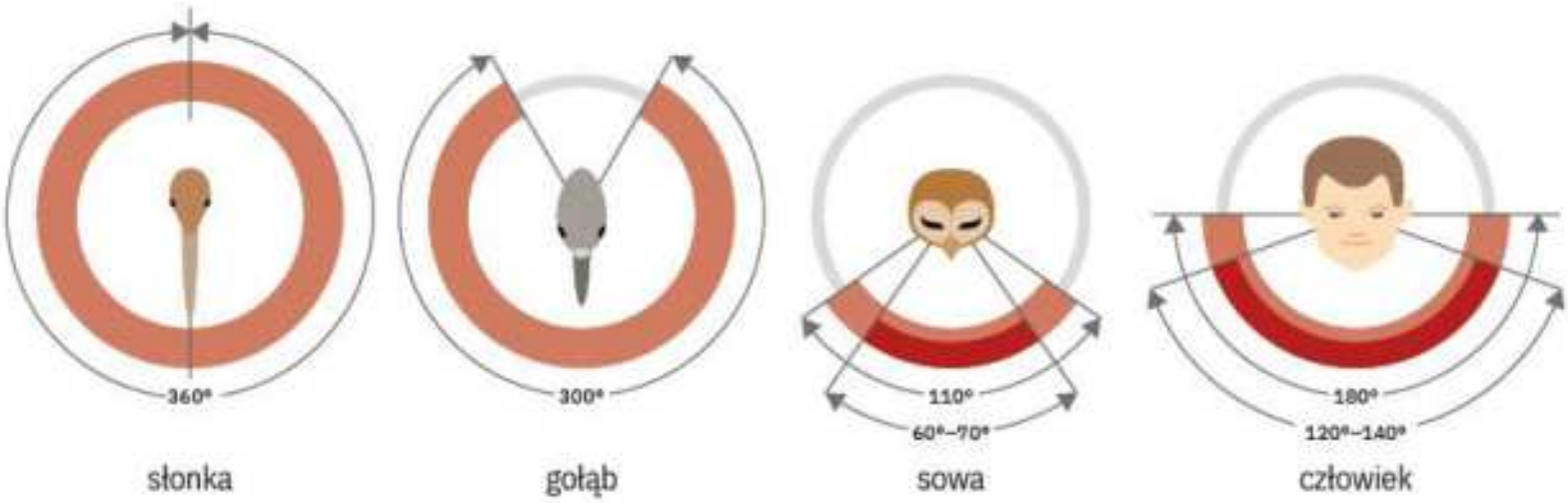
◂ oczy superpozycyjne



Ryc. II.26.4. Schemat budowy oka złożonego (A), oka apozycyjnego (B) i superpozycyjnego (C). Soczewkę pojedynczego omatidium tworzą rogówka i stożek krystaliczny.

Oczy złożone mogą odbierać długość fali świetlnej w zakresie od czerwieni do ultrafioletu.

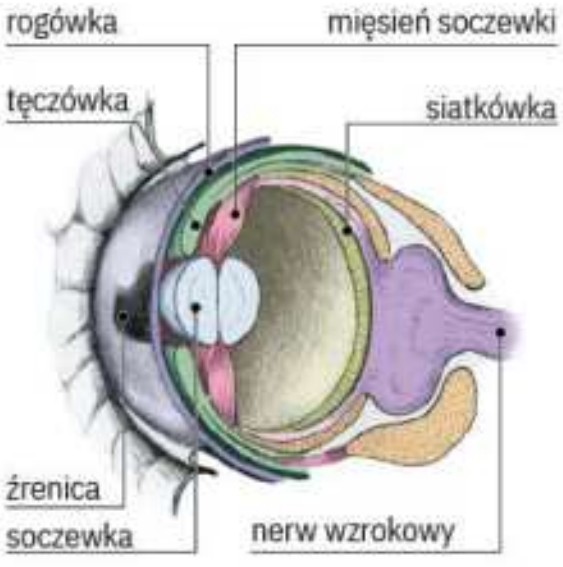
U kręgowców narząd wzroku tworzą **parzyste oczy**. Oczy umieszczone po bokach głowy u ryb, płazów i gadów oraz większości ptaków zwiększają pole widzenia, ale ograniczają widzenie przestrzenne. Natomiast u naczelnych i niektórych ptaków oczy znajdują się z przodu głowy, co pozwala na nakładanie się pól widzenia i skupianie się obu oczu na tym samym obiekcie (**ryc. II.26.5.**).



Ryc. II.26.5. Zwierzęta, u których oczy są umieszczone z przodu, potrafią dobrze ocenić odległość oglądanych obiektów.

widzenie dwuoczne

Dzięki **widzeniu dwuocznemu** (binokularne, stereoskopowe) zwierzęta mogą łatwiej ocenić odległość i głębokość, co nazywa się **widzeniem przestrzennym**. Widzenie stereoskopowe pozwala zwierzętom nocnym lepiej radzić sobie w ciemności. Wadą takiego widzenia jest ograniczenie kąta widzenia.



Ryc. II.26.6. Schemat budowy oka kręgowców.

Narząd wzroku u wszystkich kręgowców składa się z tych samych elementów (**ryc. II.26.6.**). Soczewka jest u tych zwierząt, z wyjątkiem ryb, dwuwypukła. U ryb budowa oka jest przystosowaniem do życia w wodzie. Aby zmniejszyć opór wody, oczy są pozbawione powiek. Akomodacja oka zachodzi przez zmianę położenia soczewki, która wystaje przez źrenicę. Daje to rybom szeroki kąt widzenia (do 180°C) i rekompensuje brak ruchomego połączenia głowy z tułowiem.

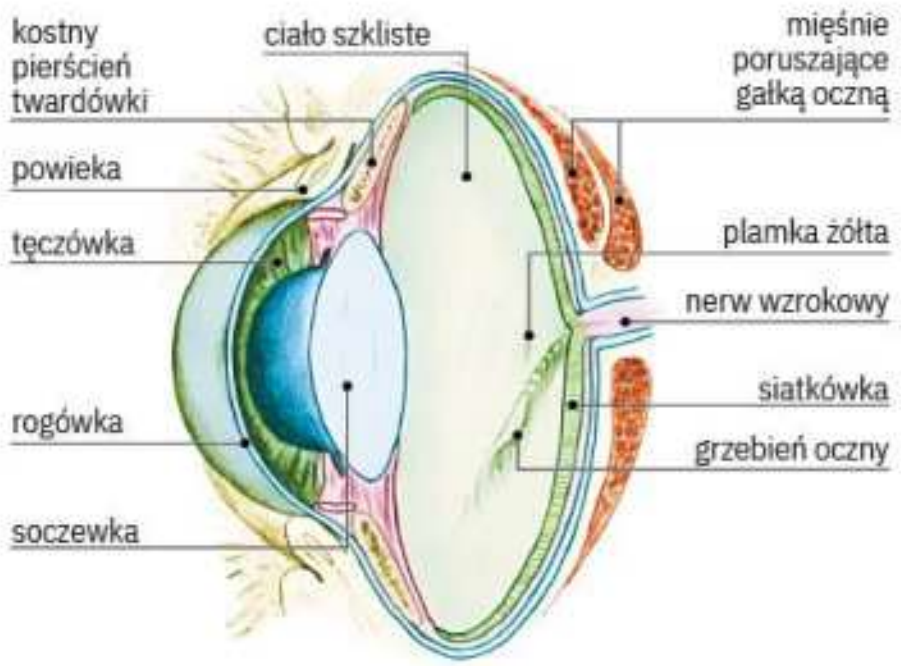
U płazów, które żyją w środowisku lądowym, oko jest chronione przed wysychaniem przez **dwie powieki**: górną i dolną oraz gruczoły nawilżające powierzchnię oka. Akomodacja oka zachodzi przez zmianę kształtu soczewki.

U gadów oczy są lepiej chronione niż u płazów. Oprócz powieki dolnej i górnej mają dodatkową osłonę w postaci ruchliwej i przezroczystej trzeciej powieki – **błony migawkowej** (migotka). Powierzchnia oka jest nawilżana przez wydzielinę gruczołów łzowych. U węży nie występują powieki, a ich oczy są pokryte przezroczystym rogowym wytworem naskórka, który jest zrzucany podczas linienia.

Oczy ptaków zapewniają dobrą orientację w środowisku podczas lotu. Dostosowanie oka do oglądania przedmiotów z różnej odległości następuje przez zmianę kształtu soczewki i zmianę kształtu całej gałki ocznej. Takie zjawisko nazywa się **podwójną akomodacją oka**. Spłaszczona gałka oczna zapewnia możliwość szerokiego pola widzenia, m.in. obserwowania środowiska bez poruszania głową.

Natomiast gatunki drapieżne, jak sępy, orły czy sowy, mają oczy skośne. Powstaje w nich obraz powiększony. Takie oczy ułatwiają polowanie na drobne gryzonie.

W siatkówce ptaków prowadzących dzienny tryb życia przeważają czopki (fotoreceptory umożliwiające widzenie kolorów w dobrym oświetleniu), a u nocnych – pręciki (fotoreceptory umożliwiające widzenie czarno-białe w słabym oświetleniu). U niektórych gatunków ptaków, np. mew i rybitw, w siatkówce oka mogą znajdować się **trzy plamki żółte** – miejsca najostrzejszego widzenia. Siatkówka może zawierać dodatkowe czopki do odbierania promieniowania UV, co pozwala ptakom na aktywność wczesnym porankiem i o zmierzchu. W oku ptaków występuje specjalna struktura – **grzebień.** Jego zadaniem jest odżywianie i dostarczanie tlenu do gałek ocznych (**ryc. II.26.7.**). Trzecia powieka zwilża oko bez konieczności zamykania. Dzięki temu ptaki nie tracą widzenia nawet na krótką chwilę.



Ryc. II.26.7. Schemat budowy oka ptaka.

Oko ssaków ma budowę typową dla kręgowców lądowych. Akomodacja oka następuje przez zmianę kształtu soczewki. Migotka zachowała się tylko u stekowców, u pozostałych ulega redukcji. Z oka ssaków wyrastają **rzęsy**, na których zatrzymują się zanieczyszczenia i ciała obce. Rozwój narządu wzroku ssaków zależy od trybu życia i sposobu zdobywania pokarmu. Gatunki nadrzewne mają dobrze rozwinięte oczy, co ułatwia im orientację w środowisku, dostrzeżenie drapieżnika czy zlokalizowanie pokarmu. Gatunki żyjące pod ziemią, np. krety, mają oczy silnie uwstecznione.

Termoreceptory

termoreceptory

U zwierząt bezkręgowych termoreceptory są rozmieszczone na powierzchni ciała lub na jego strukturach, np. u owadów znajdują się na czułkach i odnóżach. U kręgowców termoreceptory znajdują się w skórze, a u stałocieplnych kręgowców – także w rdzeniu kręgowym i podwzgórzu. W wysokiej temperaturze są pobudzane receptory ciepła, w niskiej – receptory zimna, a w temperaturach pośrednich – oba typy receptorów.

U niektórych gatunków gadów, jak węże grzechotniki i dusiciele, występuje zdolność odczuwania promieniowania podczerwonego, które jest wysyłane przez gorące obiekty. Służy do tego położona na głowie para otworów z receptorami temperatury. Gady mogą dzięki nim zlokalizować źródło ciepła, które może być stałocieplną ofiarą. Poprzez połączenie informacji z obu otworów węże mogą oszacować odległość od obiektu. U niektórych nietoperzy receptory podczerwieni znajdują się na nosie.

elektroreceptory

Elektroreceptory

Elektroreceptory odbierają i rozróżniają sygnały elektryczne wysyłane przez inne zwierzęta żyjące w wodzie. Występują u ryb, np. rekinów i płaszczek. Komórki receptorowe odbierające bodźce elektryczne są rozmieszczone w skórze ryb, głównie w przednim odcinku ciała.

magnetoreceptory

Magnetoreceptory

Zmysł magnetyczny pozwala orientować się zwierzętom w polu magnetycznym Ziemi. Występuje u niektórych bezkręgowców, np. owadów, homarów i kręgowców, m.in. ryb, żółwi, salamander, ptaków. Magnetorecepcja ułatwia wędrówki szczególnie na dużych dystansach owadom, ptakom i niektórym ssakom. Mechanizm mechanorecepcji nie jest do końca wyjaśniony, chociaż pewne przypuszczenia są związane z kryształami magnetytu, których obecność stwierdzono w komórkach nerwowych ptaków wędrujących.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Przedstaw ewolucję narządu wzroku zwierząt jako przystosowanie do środowiska życia.
2. Przedstaw ewolucję narządu słuchu u kręgowców w związku z trybem życia.
3. Wyjaśnij znaczenie linii bocznej ryb i larw płazów w przystosowaniu do życia w wodzie.

PODSUMOWANIE LEKCJI

s. 307
- U zwierząt tkankowych bodźce są odbierane przez pojedyncze komórki nerwowe lub zespoły komórek – **receptory**.

s. 308
- Receptory ze względu na rodzaj odbieranego bodźca dzielimy na **eksteroreceptory**, zlokalizowane na powierzchni ciała, reagujące na bodźce zewnętrzne, oraz **interoreceptory**, odbierające bodźce z wnętrza ciała, ułatwiające utrzymanie tzw. homeostazy.

s. 308
- Ze względu na **rodzaj odbieranych bodźców** wyróżniamy: mechanoreceptory, chemoreceptory, fotoreceptory, termoreceptory, elektroreceptory, magnetoreceptory.

s. 308
- **Mechanoreceptory** odpowiadają na ucisk, rozciąganie, wibrację, dotyk, prądy wody, grawitację. Są nimi m.in. słuch i równowaga oraz organ linii bocznej u ryb.

s. 311
- **Chemoreceptory** reagują na bodźce chemiczne. Zalicza się do nich smak i węch.

s. 312
- **Fotoreceptory** reagują na zmiany energii świetlnej. U zwierząt jest to zmysł wzroku.

s. 315
- **Termoreceptory** reagują na zmiany temperatury. Występują w postaci zakończeń nerwowych na powierzchni ciała lub w skórze.

s. 316
- **Elektroreceptory** reagują na zmiany natężenia i kierunek pola elektrycznego. Występują w postaci zakończeń nerwowych w naskórku.

s. 316
- **Magnetoreceptory** umożliwiają zwierzętom orientację w polu magnetycznym.

27. Budowa i funkcje receptorów człowieka

NA TEJ LEKCJI:

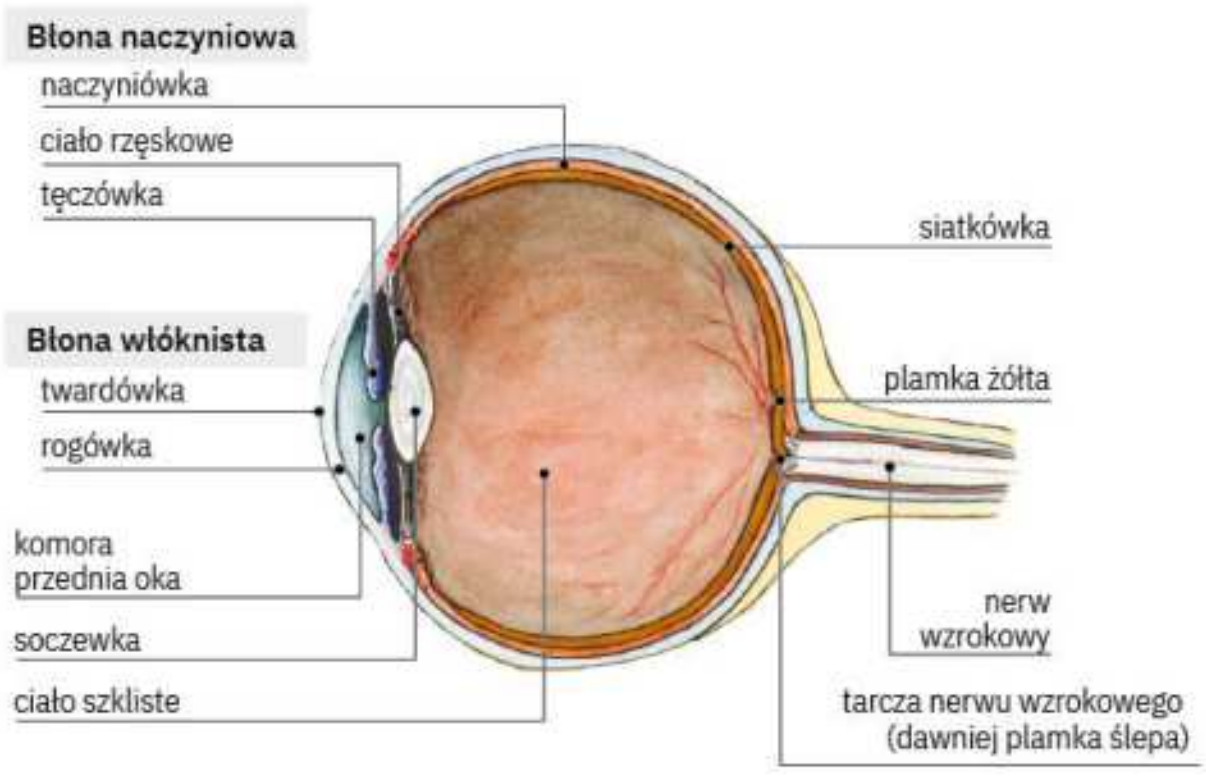
- poznasz budowę, mechanizm działania oraz wady i choroby narządu wzroku;
- poznasz budowę, mechanizm działania oraz choroby narządu słuchu i równowagi, narządu węchu oraz smaku.

Budowa i działanie narządu wzroku

narząd wzroku
gałka oczna i narządy dodatkowe

Narząd wzroku tworzą **gałka oczna** oraz narządy dodatkowe oka. Do **narządów dodatkowych oka** zaliczamy brwi, powieki, spojówki, narząd łzowy oraz aparat ruchowy oka. Brwi i rzęsy zatrzymują zanieczyszczenia. Powieki chronią gałkę oczną i ułatwiają rozprowadzanie łez. Ich wnętrze i część gałki ocznej pokrywa błona śluzowa – spojówka. Narząd łzowy produkuje łzy, które zawierają lizozym – substancję o właściwościach bakteriobójczych. Łzy nawilżają oraz oczyszczają spojówkę i rogówkę oka. Aparat ruchowy zbudowany z mięśni poprzecznie prążkowanych pozwala na poruszanie gałki ocznej w oczodole.

Gałka oczna to narząd o kształcie kulistym, położony w przedniej części oczodołu. W tylnej części jest wypełniona ciałem szklistym – substancją galaretowatą nadającą gałce kształt i amortyzującą wstrząsy (**ryc. II.27.1.**).



Ryc. II.27.1. Budowa gałki ocznej.

Ściana gałki ocznej składa się z trzech błon: **naczyniowej**, **włóknistej** i **siatkówki**.

W skład błony naczyniowej wchodzą:

- **naczyniówka** – zawiera liczne naczynia krwionośne, nerwy, a także komórki barwnikowe, odpowiada za odżywianie pozostałych warstw oka;
- **ciało rzęskowe** – zawiera mięsień rzęskowy regulujący kształt soczewki, co wpływa na ostrość widzenia;
- **tęczówka** – przednia część błony naczyniowej, reguluje wielkość przekroju źrenicy, a tym samym ilość promieni świetlnych wchodzących do oka;
- **źrenica** – otwór w tęczówce umożliwiający przejście promieni świetlnych do wnętrza oka.

Błona włóknista obejmuje:

- **rogówkę** – stanowi zewnętrzną część błony, chroni przed urazami oraz przepuszcza i załamuje światło;
- **twardówkę** – leży w wewnętrznej części błony włóknistej chroniącej głębiej położone części oka przed urazami.

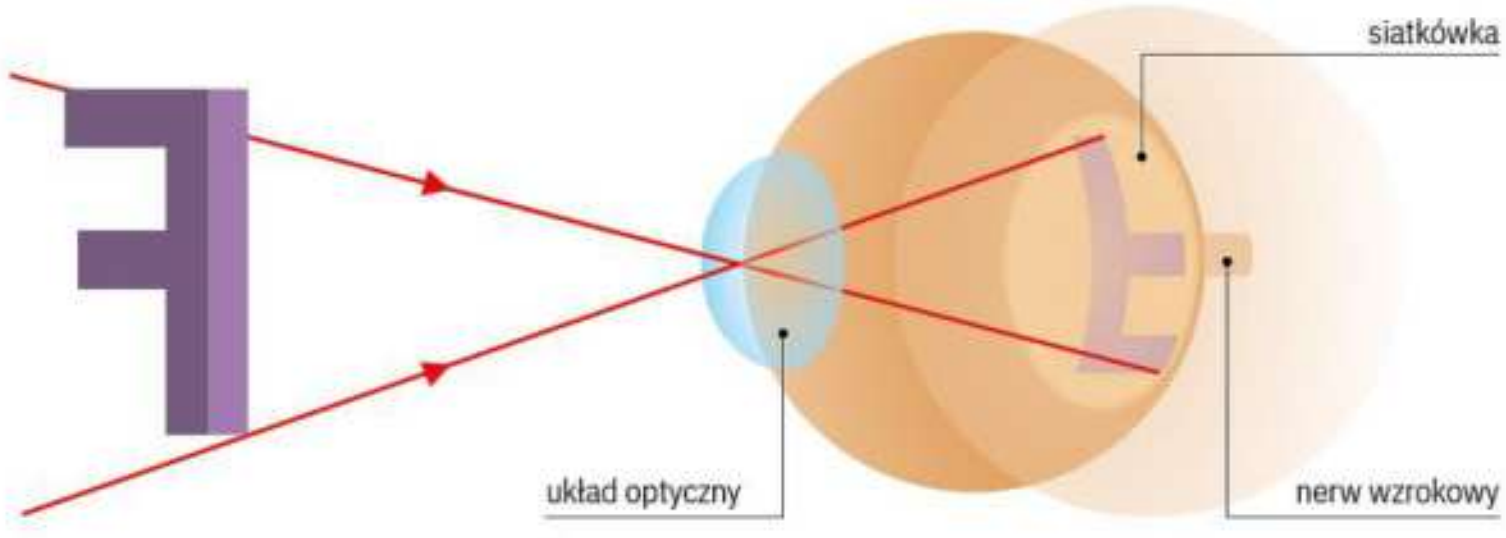
Siatkówka to błona bezpośrednio otaczająca gałkę oczną. Odpowiada za odbieranie bodźców świetlnych, ponieważ ma dwa rodzaje komórek światłoczułych – pręcikowe i czopkonośne. Zawierają one receptory światła – **czopki** i **pręciki**. Miejsce największego skupienia czopków na siatkówce, najbardziej wrażliwe na światło i najlepiej rozróżniające kolory, nazywamy **plamką żółtą**. Natomiast miejsce, od którego odchodzi nerw wzrokowy, całkowicie pozbawione pręcików i czopków, niewrażliwe na bodźce świetlne, nazywamy tarczą nerwu wzrokowego (dawniej **plamką ślepą**).

czopki i pręciki

soczewka

Ważną częścią oka jest **soczewka** w kształcie dwuwypukłego, przezroczystego dysku pomiędzy ciałem szklistym a tęczówką. Opowiada za ostrość widzenia i skupia na sobie promienie świetlne.

Wiązka światła przechodzi przez rogówkę, komorę przednią oka, źrenicę, soczewkę i ciało szkliste, a następnie pada na powierzchnię siatkówki, gdzie powstaje **obraz rzeczywisty**, **pomniejszony** i **odwrócony** (**ryc. II.27.2.**).

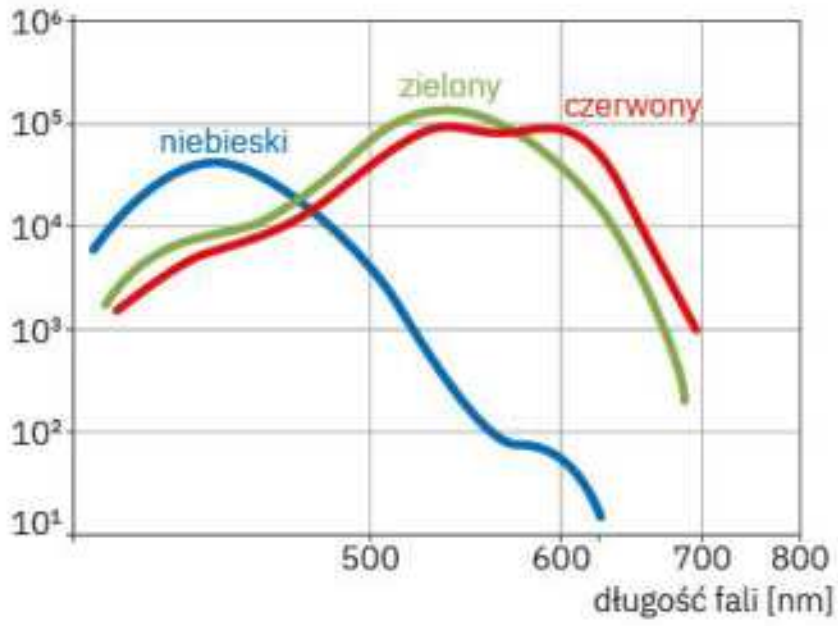


Ryc. II.27.2. Powstanie wrażenia wzrokowego.

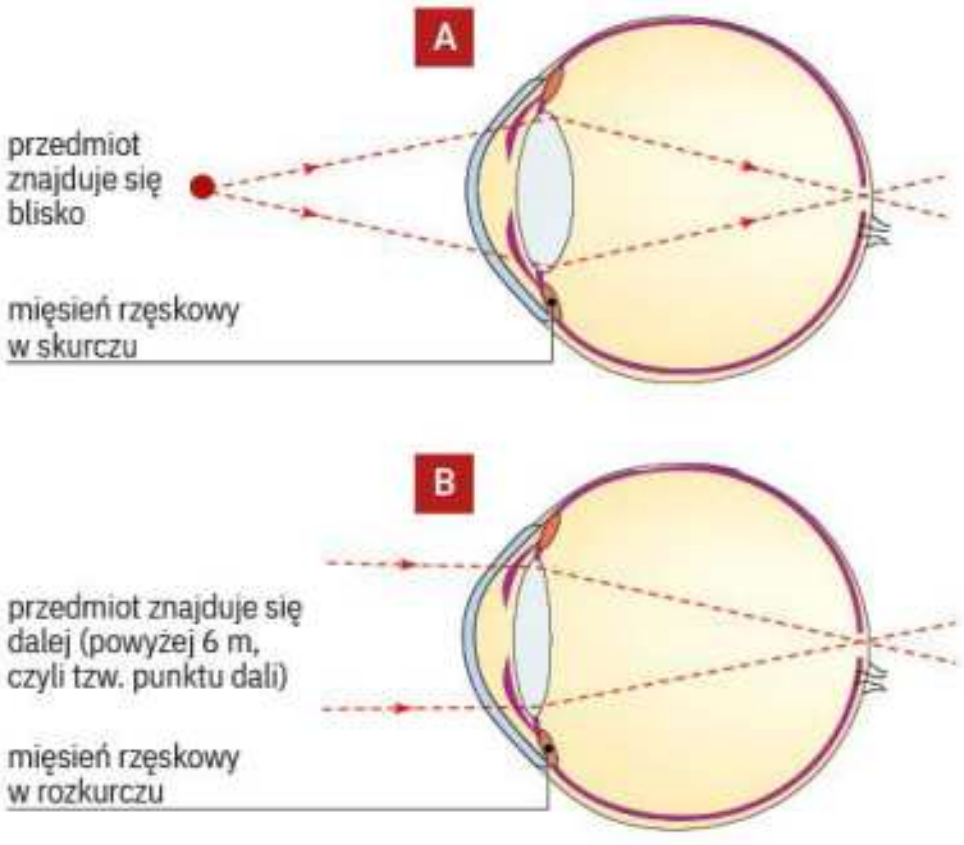
W siatkówce znajdują się komórki światłoczułe – pręciki i czopki – połączone z mózgiem nerwami, które tworzą nerw wzrokowy. W siatkówce jest około 130 mln czopków i pręcików. Czopki są to komórki o niższej czułości na natężenie światła niż pręciki. Odpowiadają one za widzenie barwne (zawierają światłoczuły barwnik jodopsynę). Najwięcej czopków znajduje się pośrodku siatkówki (**ryc. II.27.3.**).

Pręciki leżą w obwodowych partiach siatkówki i zawierają barwnik rodopsynę. Odpowiadają za widzenie kształtów i ruchów przedmiotów oraz wykrywają intensywność oświetlenia tak, że przy słabym oświetleniu dobrze rozpoznają kontury oglądanych przedmiotów. Światło widzialne dla człowieka mieści się pomiędzy **400 nm a 700 nm**. Oko ludzkie nie rejestruje ultrafioletu, podczerwieni, a także promieni X i promieni gamma.

Oko ludzkie przystosowuje się do obserwacji obiektów z różnej odległości. Taką zdolność oka nazywamy **akomodacją oka**. Mięsień rzęskowy, dostosowując kształt soczewki, zapewnia ostrość widzenia z bliska lub z daleka (**ryc. II.27.4.**).



Ryc. II.27.3. Przybliżone krzywe czułości trzech receptorów barw w czopkach. Czopki różnią się od siebie wrażliwością na fale światła niebieskiego, czerwonego i zielonego. Pobudzenie różnych czopków daje pełne wrażenie odbioru barw, a równomiernie wszystkich – wrażenie bieli.

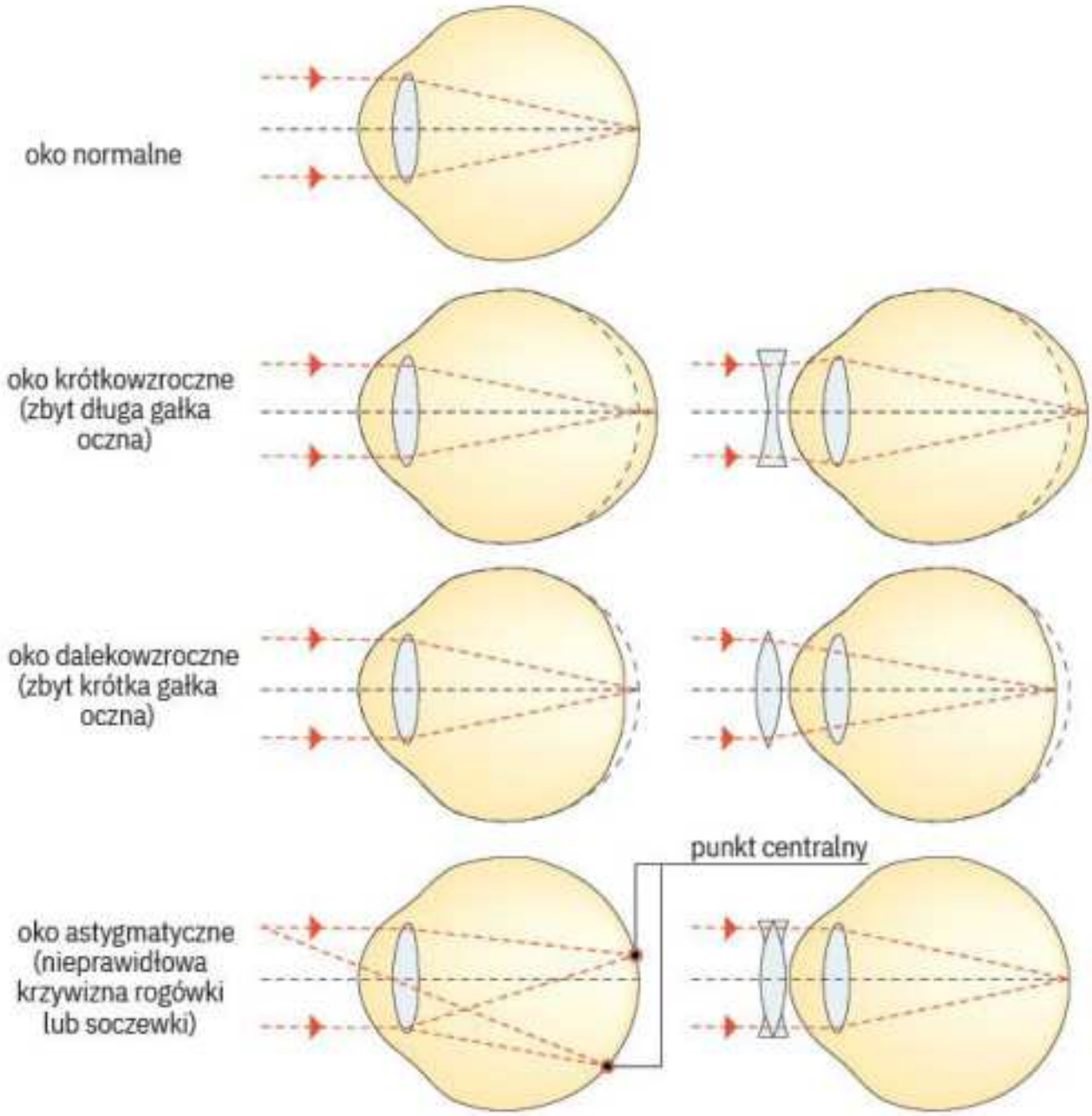


Ryc. II.27.4. Zmiana kształtu soczewki oka – widzenie z bliska (A), widzenie z daleka (B).

wady wzroku

Wady wzroku

Większość ludzi ma oczy miarowe, czyli prawidłowo skupiające promienie świetlne na siatkówce. Niektórzy mają oczy niemiarowe, są to krótkowidze, dalekowidze i astygmatycy (**ryc. II.27.5.**).



Ryc. II.27.5. Wady wzroku i ich korekta.

krótkowzroczność

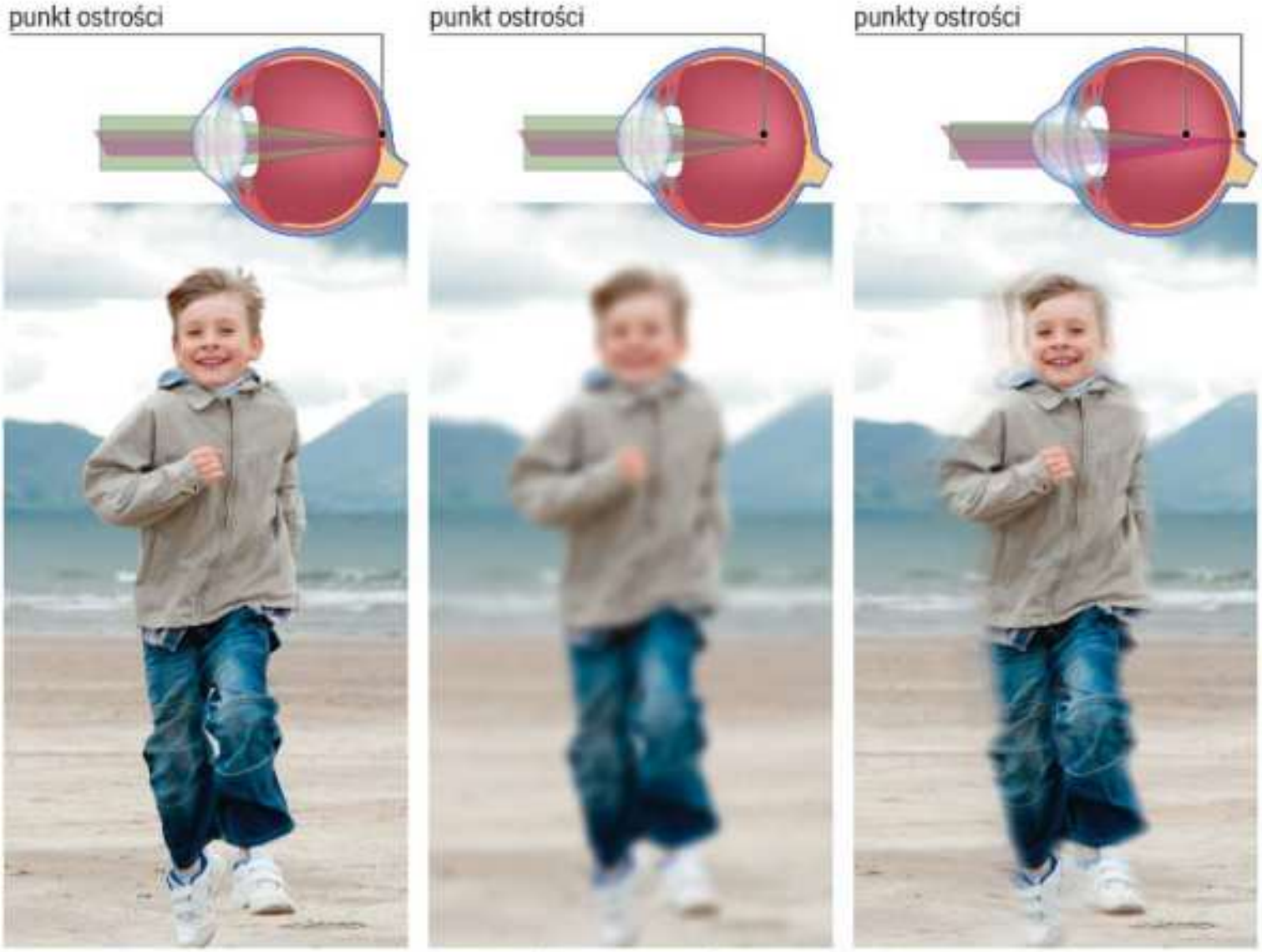
Krótkowzroczność przejawia się niewyraźnym widzeniem obiektów położonych daleko od obserwatora. Gałka oczna jest zbyt długa i promienie są skupiane przed siatkówką. Powstały obraz jest rozmazany. Wadę koryguje się soczewkami rozpraszającymi (–) lub laserowym modyfikowaniem krzywizny oka. Z kolei **dalekowzroczność**, nazywana inaczej nadwzrocznością, polega na dobrym widzeniu obiektów leżących bardzo daleko, a jednocześnie gorszym widzeniem rzeczy znajdujących się blisko patrzącej osoby. Gałka oczna jest zbyt krótka i promienie świetlne skupiają się za siatkówką. Korekta tej wady polega na stosowaniu soczewek skupiających (+). U małych dzieci spotyka się nadwzroczność związaną z małym rozmiarem gałki ocznej dziecka. Wada ta zanika z wiekiem. Dalekowzroczność

dalekowzroczność

często występuje u osób starszych, u których z wiekiem soczewka traci swoją elastyczność i zdolność do akomodacji.

Astygmatyzm to wada, która często towarzyszy krótko- lub dalekowzroczności. To zaburzenie widzenia jest wywołane nieprawidłową krzywizną rogówki lub soczewki oka. Zamiast kształtu kulistego rogówka przyjmuje kształty zbyt spłaszczone. Oko nieprawidłowo ogniskuje wiązki światła. Obraz jest wówczas zniekształcony i rozmazany. Wadę koryguje się soczewkami cylindrycznymi (wycinek walca) lub torycznymi (wycinek beczki) (**ryc. II.27.6.**).

◂ astygmatyzm



Ryc. II.27.6. Obraz w zdrowym oku, u krótkowidza i astygmatyka.

Zez powstaje pod wpływem działania mięśni zewnętrznych oka, które w rezultacie jest skierowane w stronę nosa lub na zewnętrzny bok. Oko zezujące można ćwiczyć, aby skorygować jego pracę, poprzez zakrywanie oka działającego prawidłowo. Stosuje się ponadto szkła korekcyjne, a w ostateczności – zabieg chirurgiczny.

◂ zez

Jaskra jest chorobą spowodowaną wzrostem ilości cieczy wodnistej gromadzącej się między rogówką a tęczówką. W oku wzrasta niebezpiecznie ciśnienie. Chorzy odczuwają ból w gałce ocznej i pogarsza się ich ostrość widzenia. Jaskra nieprawidłowo leczona może doprowadzić do utraty wzroku (**ryc. II.27.7.**).

◂ jaskra

Ryc. II.27.7. Widzenie w różnych etapach rozwoju jaskry.

Zapadalność na jaskrę zwiększają takie czynniki, jak: podwyższone ciśnienie wewnątrzgałkowe i nieprawidłowe ciśnienie krwi oraz czynniki genetyczne, wiek powyżej 40 lat i duża krótkowzroczność – powyżej –4 dioptrii. W diagnostyce jaskry oprócz podstawowych badań okulistycznych stosuje się gonioskopię (**ryc. II.27.8.**).

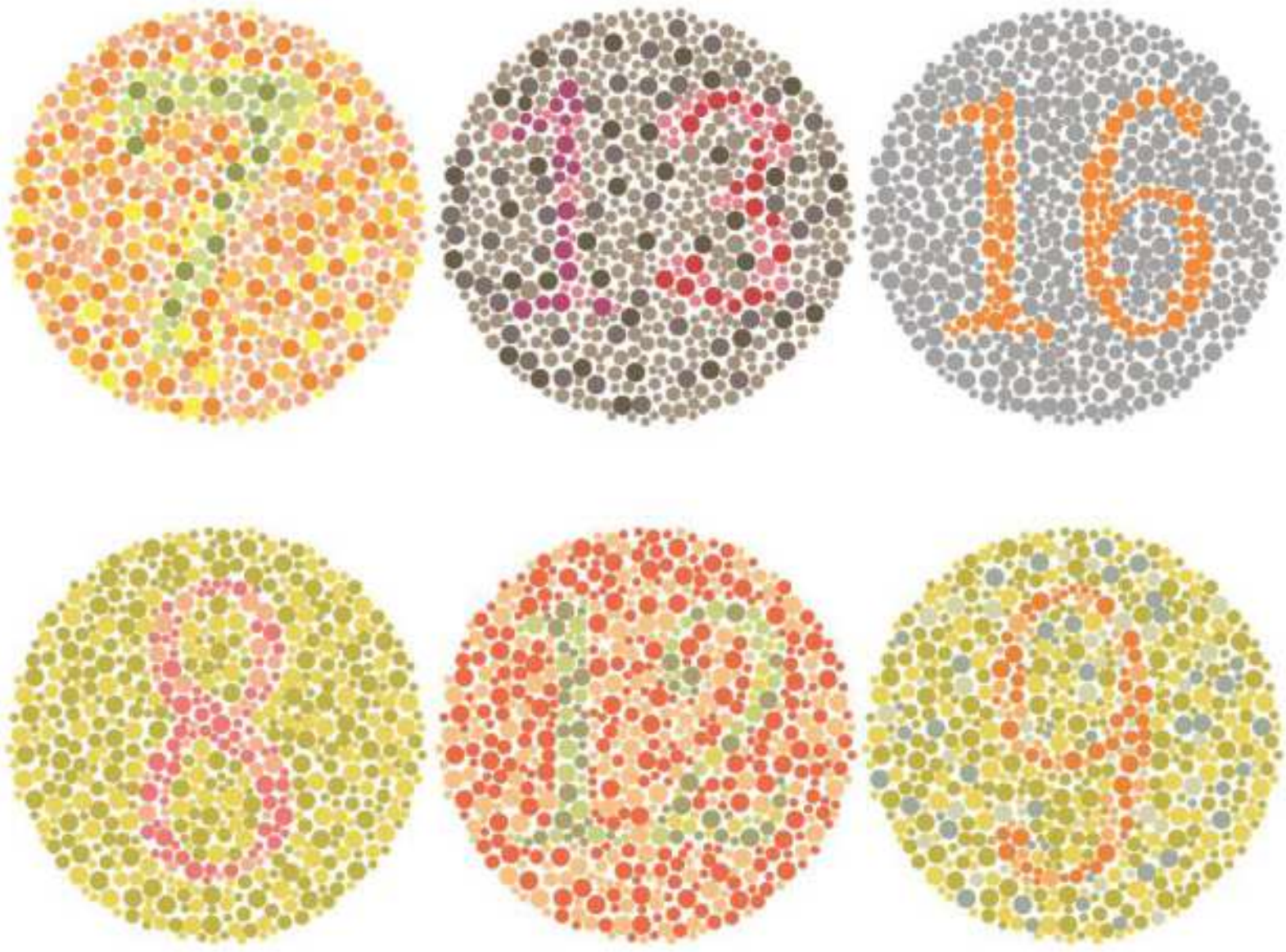
Ryc. II.27.8. Gonioskopia polega na badaniu kąta komory przedniej, zwanego też kątem przesączania, co jest podstawowym i koniecznym do wykonania badaniem w diagnostyce jaskry.

Leczenie jaskry polega na podawaniu środków farmakologicznych obniżających ciśnienie wewnątrzgałkowe i zmniejszające wytwarzanie cieczy wodnistej. Zaawansowana jaskra wymaga zabiegów operacyjnych polegających na poszerzaniu dróg, przez które może odpływać ciecz wodnista. Chorzy powinni dbać o zdrowy tryb życia, unikać stresów i używek oraz ostrego słońca, a także dbać o nawilżenie gałki ocznej i wietrzenie pomieszczeń, w których przebywają, oraz ograniczać eksponowanie wzroku na działanie komputera i telewizora. Zaleca się dietę bogatą w substancje poprawiające widze-

nie, np. kwasy omega-3, zeaksantynę, witaminy A, C i E obecne w zielonych i czerwonych warzywach, czarnych jagodach czy borówkach. Zaleca się profilaktyczne badania okulistyczne raz w roku dla osób z okiem miarowym, w diagnostyce jaskry po 30. roku życia raz na dwa lata, a po 40. roku życia raz w roku.

Zaćma jest spowodowana zmętnieniem soczewki, przez co chory widzi niewyraźnie, jakby za mgłą. Choroba ta pojawia się u ludzi starszych. Można ją leczyć poprzez stosowanie odpowiednich szkieł skupiających lub operacyjnie poprzez usunięcie zmętniałej soczewki i zastąpienie jej sztuczną. ◂ **zaćma**

Daltonizm polega na braku umiejętności rozpoznawania kilku barw, najczęściej barwy czerwonej z zieloną, rzadziej koloru fioletowego czy żółtego. Daltonizm wynika z genetycznie uwarunkowanej wady wzroku u mężczyzn, a także przebytych chorób siatkówki albo drogi wzrokowej między gałką oczną a mózgiem. Schorzenie to wiąże się z brakiem możliwości wykonywania niektórych zawodów: lotnika, maszynisty kolejowego czy zawodowego kierowcy (**ryc. II.27.9.**). ◂ daltonizm

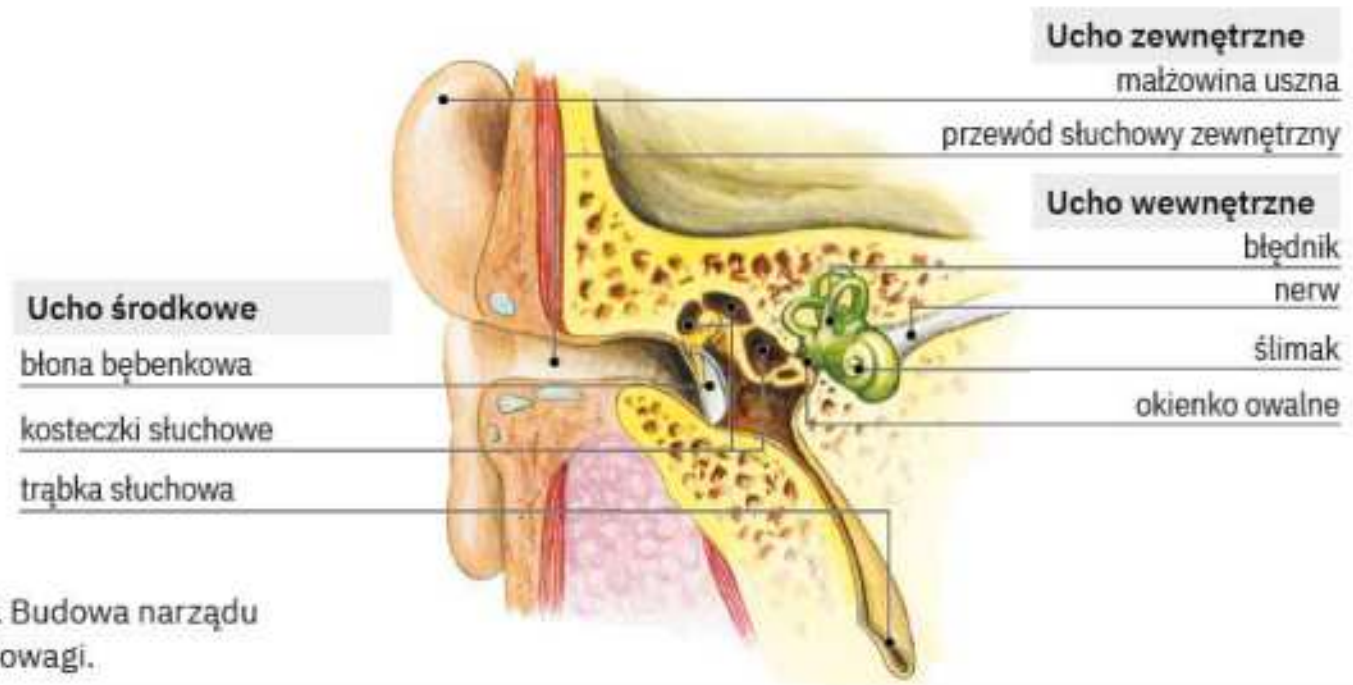


Ryc. II.27.9. Pseudoizochromatyczne barwne tablice do diagnostyki daltonizmu. Każda tablica składa się z koła utworzonego z okrągłych plam, różniących się rozmiarami i w nieznaczny sposób barwami. Układy plam tworzą liczbę – zadaniem pacjenta jest ją odczytać. Kolor na każdej tablicy jest inny, co umożliwia zdiagnozowanie różnych zaburzeń widzenia barw.

ucho

Ucho – narząd słuchu i równowagi

Ucho spełnia funkcje narządu słuchu (odbiera fale dźwiękowe) i narządu równowagi (odbiera informacje o zmianach położenia całego ciała lub jego części). Składa się z ucha zewnętrznego, środkowego i wewnętrznego (**ryc. II.27.10.**).



Ryc. II.27.10. Budowa narządu słuchu i równowagi.

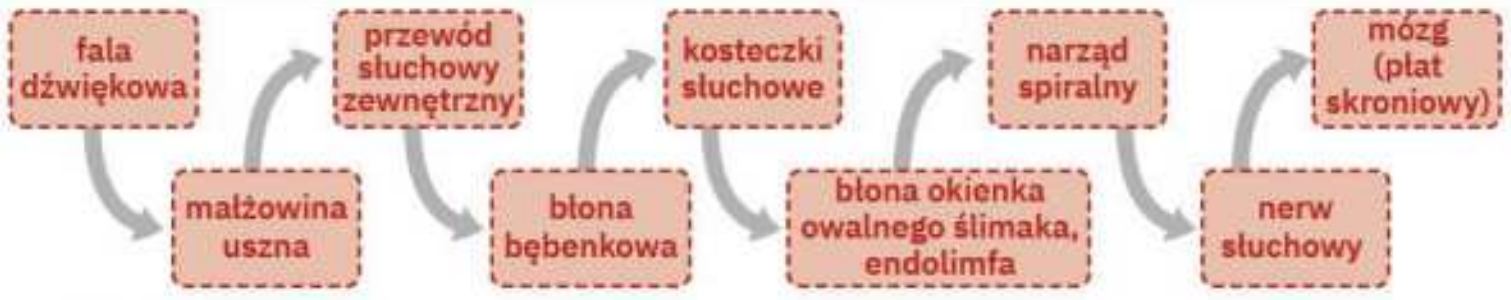
ucho zewnętrzne

Ucho zewnętrzne tworzą małżowina uszna oraz przewód słuchowy zewnętrzny. Małżowina skupia i kieruje fale dźwiękowe do ucha środkowego. **Ucho środkowe** jest zbudowane z jamy bębenkowej, w której znajdują się trzy kosteczki słuchowe: młoteczek, kowadełko i strzemiączko. Do jamy bębenkowej prowadzi trąbka słuchowa (Eustachiusza), która łączy jamę bębenkową z jamą nosowo-gardłową. Trąbka słuchowa wyrównuje ciśnienie po obu stronach błony bębenkowej. Położone obok siebie i połączone stawowo kosteczki słuchowe wzmacniają drgania i przenoszą je z błony bębenkowej na okienko owalne ucha wewnętrznego.

ucho wewnętrzne

Ucho wewnętrzne obejmuje położony w kości skroniowej błędnik kostny oraz znajdujący się w jego wnętrzu błędnik błoniasty z narządem spiralnym będącym właściwym narządem słuchu. Przestrzeń pomiędzy nimi wypełnia płyn – endolimfa. Błędnik kostny tworzą ślimak oraz przedsionek, który łączy się z trzema kanałami półkolistymi oraz błoną bębenkową przez okienko owalne. Błędnik błoniasty budują woreczek i łagiewka (położone w przedsionku) oraz ślimak błoniasty (położony w ślimaku kostnym).

Ślimak błoniasty odpowiada za odbiór dźwięku (**ryc. II.27.11.**).



Ryc. II.27.11. Schemat powstawania wrażenia słuchowego.

Fale akustyczne przez małżowinę uszną przechodzą do przewodu słuchowego zewnętrznego i wprawiają w drgania błonę bębenkową, która je przekazuje kosteczkom słuchowym. Drgania młoteczka są przekazywane na kowadełko, które przenosi je na strzemiączko przylegające do okienka owalnego. Okienko owalne wprowadza w drgania endolimfę ucha wewnętrznego. W zależności od wysokości i natężenia dźwięków drgania pobudzają różne komórki urzęsionego nabłonka w ślimaku, co prowadzi do powstania impulsu nerwowego przekazywanego do ośrodków w mózgu.

Woreczek, łagiewka i kanały półkoliste rejestrują ruchy głowy, dzięki czemu umożliwiają utrzymanie równowagi ciała.

Pokryte urzęsionym nabłonkiem wnętrze łagiewki i woreczka wypełnia endolimfa, w której znajdują się kamyki błędnikowe (drobne kryształki soli wapnia), zwane otolitami, oraz komórki zmysłowe. Poruszające się otolity uciskają komórki zmysłowe i umożliwiają utrzymanie równowagi oraz określenie przyspieszeń liniowych. Podobną funkcję spełniają ustawione względem siebie pod kątem prostym kanały półkoliste, w których nie występują otolity, tylko w rozszerzonych zakończeniach urzęsione komórki zmysłowe odbierające informacje o przyspieszeniach kątowych oraz ruchach obrotowych. Zgięcie rzęsek powoduje powstanie impulsów nerwowych, które są przekazywane do ośrodków w mózgu (móżdżek i kora mózgowa). Nadmierne pobudzenie narządu równowagi prowadzi do choroby lokomocyjnej (np. podczas podróży statkiem, samochodem, samolotem). Objawia się ona zawrotami głowy, nudnościami, zaburzeniami pracy serca i koordynacji ruchów. Aby złagodzić objawy, stosuje się środki farmakologiczne obniżające wrażliwość narządu równowagi.

Wysokość i głośność dźwięków

Zakres słyszalności dźwięków człowieka wyraża się częstotliwością dźwięku (odczuwaną jako wysokość dźwięku) oraz poziomem głośności. Częstotliwość mierzy się w hertzach (Hz), a natężenie dźwięku (inaczej głośność) – w decybelach (dB). Najniższa częstotliwość, jaką słyszy ucho ludzkie, to około 20 Hz, a górna granica to 20 000 Hz. Jednak słuch człowieka jest najczulszy w zakresie częstotliwości między 2000 a 5000 Hz. Dźwięki powyżej 85 dB są bardzo głośne i mogą być groźne dla słuchu, jeśli człowiek jest narażony na nie przez dłuższy czas (**ryc. II.27.12.**).

Ryc. II.27.12. Poziomy dźwięków dla różnych źródeł hałasu.

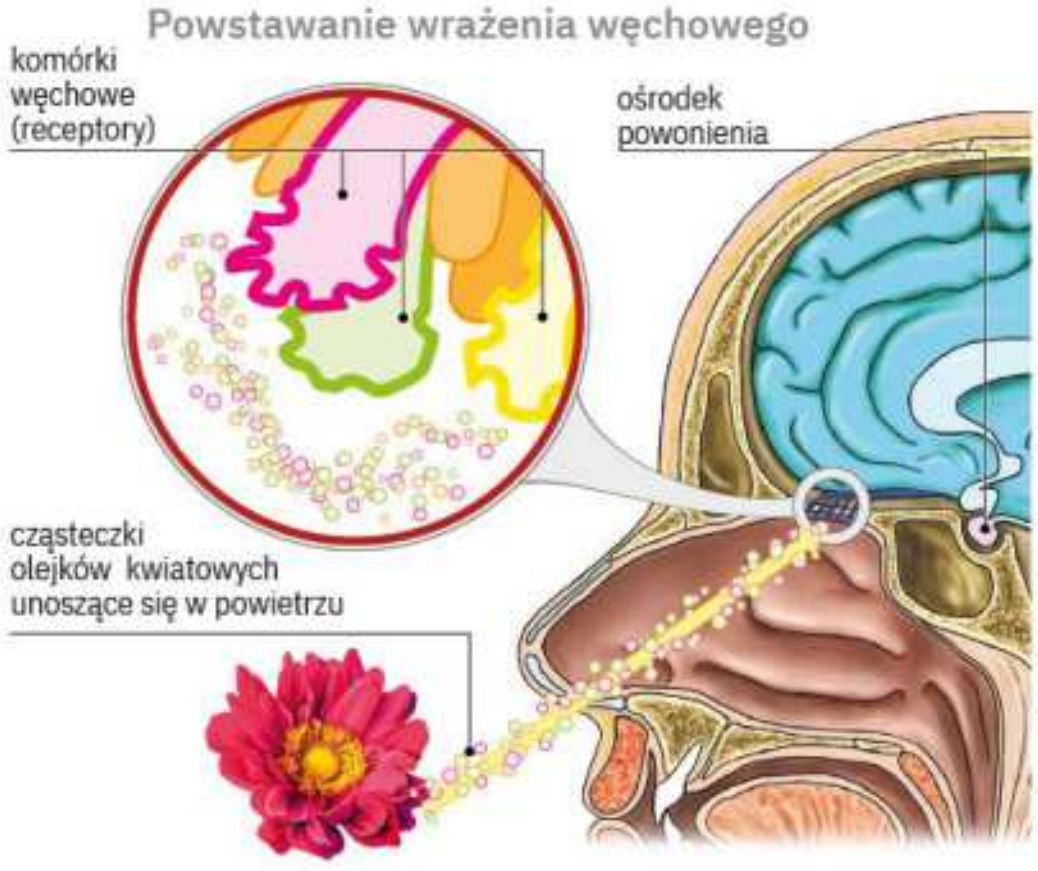
Hałas jest niebezpieczny dla człowieka, zmniejsza wydajność pracy, utrudnia wypoczynek i koncentrację. Przebywanie w pomieszczeniu o natężeniu hałasu między 130 a 150 dB wywołuje drganie niektórych organów wewnętrznych, co może powodować trwałe schorzenia prowadzące do głuchoty (**ryc. II.27.13.**). Bardzo niebezpieczne jest słuchanie głośnej muzyki przez słuchawki, ponieważ może to trwale uszkodzić komórki słuchowe. Pierwszym objawem są uszkodzenia słuchu są szumy w uszach.

Ryc. II.27.13. Implant ślimakowy jest urządzeniem elektronicznym przekształcającym dźwięki w sygnały elektryczne, które są wysyłane prosto do nerwu słuchowego z ominięciem uszkodzonych obszarów ucha.

Po spędzeniu 5 minut w hałasie ponad 150 dB następuje paraliż pracy organizmu, mdłości, zaburzenia równowagi oraz stany lękowe. Hałas wyzwala wzrost napięcia nerwowego i jest czynnikiem stresowym. Powoduje również zaburzenia pracy układu krążenia, czynności gruczołów dokrewnych, pogorszenie widzenia i pracy układu pokarmowego, a także obniżenie masy ciała potomstwa kobiet narażonych w ciąży na wysokie dźwięki. Współcześnie przeprowadza się wiele badań pozwalających na wykrycie ubytków słuchu. Jeśli ubytku słuchu nie można wyleczyć farmakologicznie, stosuje się aparaty słuchowe oraz **implanty ślimakowe** (**ryc. II.27.13.**).

Zmysł smaku i węchu

zmysł węchu ▸ **Narząd węchu** znajduje się w górnej części jamy nosowej i jest pokryty zmysłowym nabłonkiem węchowym. Okolica węchowa zawiera kilkanaście tysięcy komórek węchowych wrażliwych na substancje wonne. Są nimi ciała lotne, dostające się z prądem wdychanego powietrza. Ich obecność drażni receptory nabłonka węchowego. Powstałe pobudzenie zostaje przeniesione do okolicy węchowej mózgu.

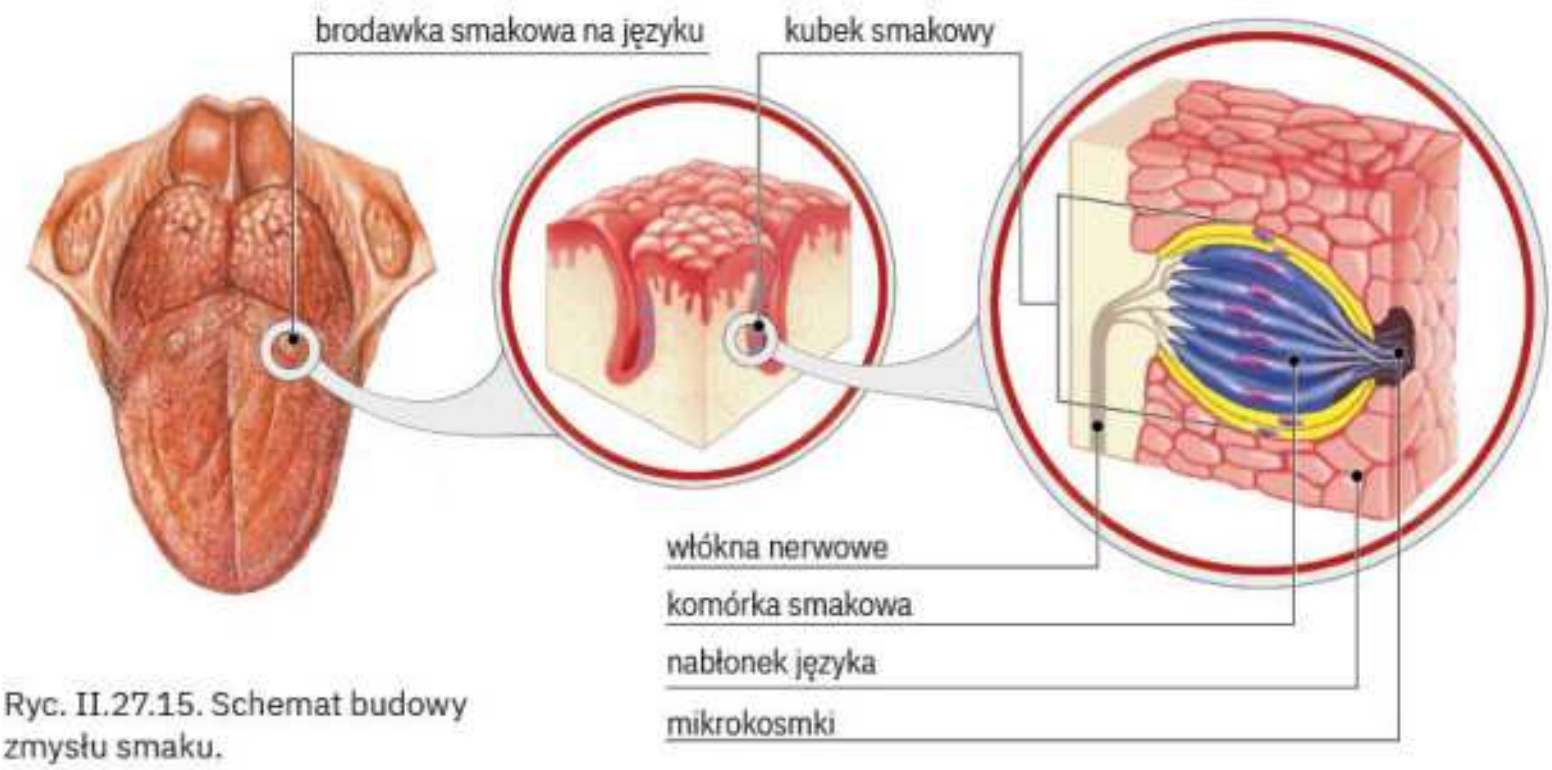


Ryc. II.27.14. Schemat działania zmysłu węchu.

Pobudzenie z komórek węchowych trafia do opuszki węchowej mózgu. Długotrwałe drażnienie receptorów węchowych może spowodować adaptację, a następnie zupełny zanik odczuwania zapachu (**ryc. II.27.14.**).

Narząd smaku znajduje się w jamie ustnej, głównie na języku. Smak odbierają kubki smakowe rozmieszczone także na podniebieniu miękkim i na tylnej ścianie gardła. Kubki smakowe rejestrują pięć smaków: słony, słodki, kwaśny, gorzki oraz umami (mięsny, specyficzny smak zawartego w mięsie glutaminianu sodu). Odczuwanie smaku np. glutaminianu sodu działa silnie pobudzająco na apetyt, dlatego ta substancja jest często stosowana jako wzmacniacz smaku koncentratów spożywczych, m.in. w kostkach rosołowych czy zupach w proszku. Każdy kubek smakowy ma receptory odbierające wszystkie smaki, dlatego cała powierzchnia języka jest na nie wrażliwa (**ryc. II.27.15.**).

zmysł smaku



Ryc. II.27.15. Schemat budowy zmysłu smaku.

Substancje chemiczne rozpuszczone w płynnym środowisku jamy ustnej pobudzają receptory smaku, a powstałe pobudzenie jest przekazywane do ośrodków w mózgu. Smak zależy od zmysłu powonienia oraz wrażeń wzrokowych i temperaturowych.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Porównaj metody korekcji wad wzroku w przypadku krótkowzroczności, dalekowzroczności i astygmatyzmu.
2. Na podstawie analizy narządu równowagi wyjaśnij, dlaczego po zejściu z kręcącej się karuzeli odczuwasz zawroty głowy.
3. Porównaj mechanizm działania narządu smaku i narządu węchu.

PODSUMOWANIE LEKCJI

- **Narząd wzroku** odbiera bodźce wzrokowe, ucho jest narządem słuchu i równowagi, a narządy smaku i węchu odbierają bodźce chemiczne ze środowiska.

s. 317

s. 317 ▸ • Narząd wzroku składa się z **gałki ocznej i narządów dodatkowych** (powiek, brwi, gruczołów łzowych). Światło dochodzące do oka przechodzi przez rogówkę, soczewkę, ciało szkliste i dociera do siatkówki, gdzie jest odbierane przez komórki światłoczułe – czopki i pręciki – oraz zamienia się w impulsy nerwowe analizowane w mózgu.

s. 320 ▸ • **Wady wzroku** są wywołane nieprawidłowym skupianiem się promieni świetlnych na siatkówce.

s. 321 ▸ • **Jaskra i zaćma** są często spotykanymi chorobami narządu wzroku u osób starszych.

s. 324 ▸ • **Ucho** jest zbudowane z ucha zewnętrznego, środkowego i wewnętrznego. Ucho zewnętrzne zbiera fale dźwiękowe i przekazuje je do ucha środkowego, gdzie ulegają one wzmocnieniu dzięki trzem kosteczkom słuchowym. W uchu wewnętrznym odebrane fale dźwiękowe zostają przekształcone na impulsy nerwowe.

s. 324 ▸ • W **uchu wewnętrznym** znajduje się narząd równowagi, który kontroluje ruchy i położenie głowy.

s. 327 ▸ • **Zmysł smaku** jest pobudzany przez substancje rozpuszczone w wodzie i pozwala na odbiór czterech podstawowych smaków: słodkiego, słonego, kwaśnego, gorzkiego, i smaku mięsnego – umami.

s. 326 ▸ • **Receptory węchu** są rozmieszczone w nabłonku węchowym górnej części jamy nosowej i odbierają bodźce węchowe ze środowiska zewnętrznego.

28. Choroby układu nerwowego

NA TEJ LEKCJI:

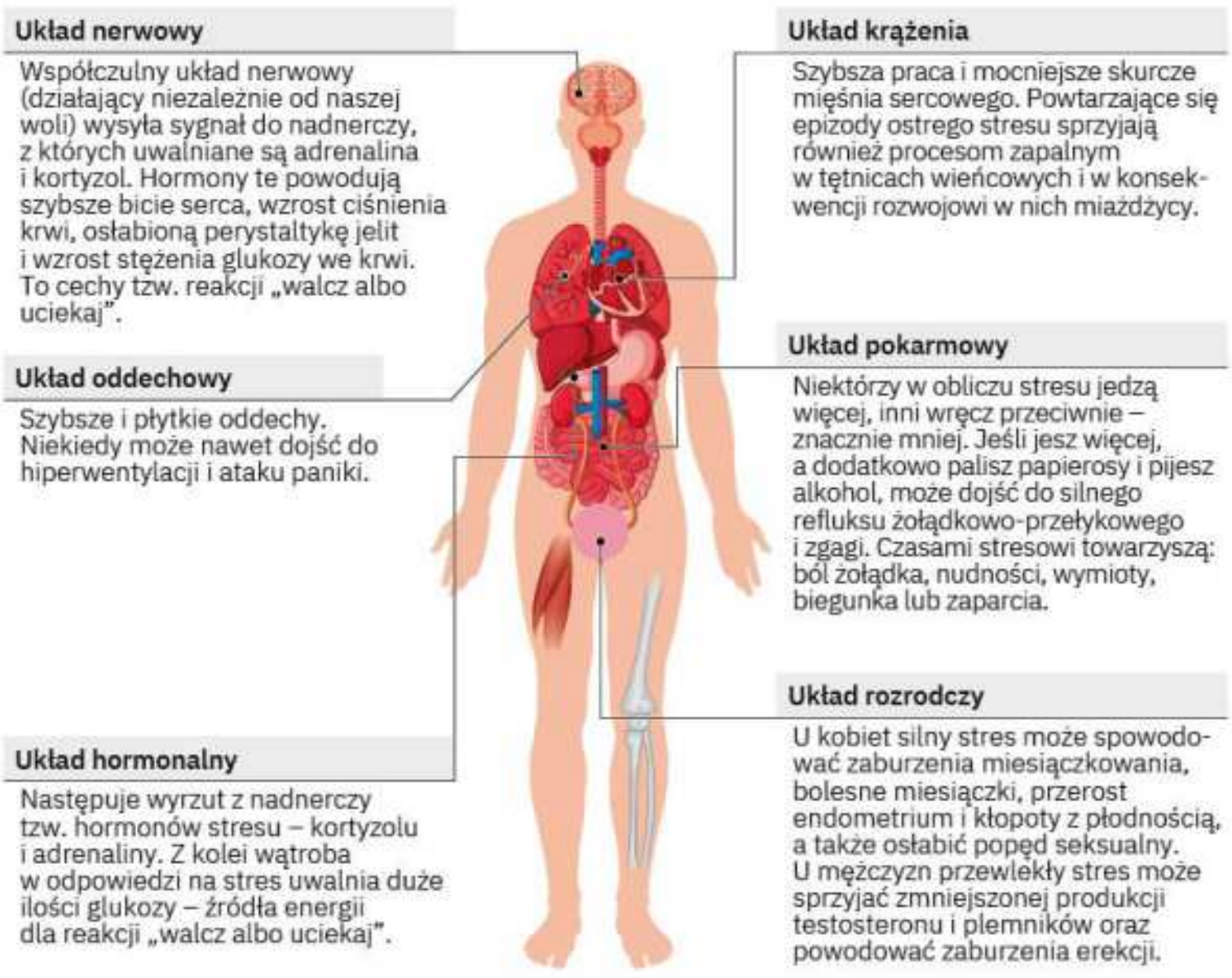
- dowiesz się, w jaki sposób emocje, stres i uzależnienia wpływają na organizm człowieka;
- zrozumiesz biologiczne znaczenie snu;
- poznasz choroby neurologiczne i metody ich rozpoznawania.

Badaniem i rozpoznawaniem chorób układu nerwowego zajmuje się dział medycyny – **neurologia**. Na układ nerwowy istotnie wpływają **emocje** – strach, gniew, przyjemność, nienawiść, agresja. Towarzyszą one powstawaniu i zaspokajaniu podstawowych potrzeb człowieka. Emocje silne, trudne do kontrolowania mogą doprowadzić do zaburzeń życia emocjonalnego i prowadzić do powstania **lęków**, **fobii** czy **psychoz**. Czynnikiem prowadzącym do takich zaburzeń jest stres, czyli odpowiedź organizmu na niekorzystne działanie czynników środowiskowych zewnętrznych i wewnętrznych. Do najczęstszych przyczyn stresu zalicza się problemy w pracy i w związku, śmierć bliskiej osoby, rozwód, nadmierne tempo życia, natłok informacji, a także konieczność nieustannego współzawodnictwa.

Stres wywołuje uczucie lęku, niepokój oraz szereg zaburzeń somatycznych, objawiających się jako choroby i dolegliwości ze strony ciała. Objawy stresu ze strony psychiki to m.in.: lęk, depresja, drażliwość, częste zmiany nastrojów, gniew, zwięk-

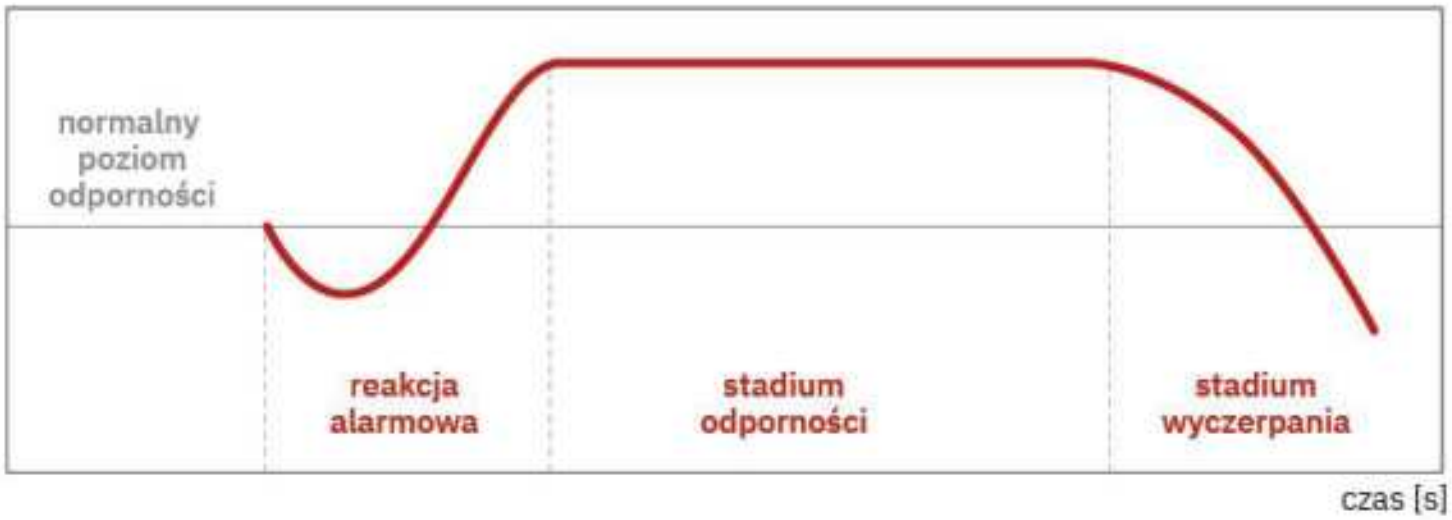
szona nerwowość, obniżona samoocena, agresja, drżenie, tiki nerwowe, zwiększone spożycie kofeiny, alkoholu i pociąg do innych używek, zaburzenia snu, nieradzenie sobie, a w skrajnych przypadkach nawet myśli samobójcze.

Ze strony fizjologii, czyli pracy ciała, stres może objawiać się spadkiem odporności (częste infekcje, przeziębienia, grypa), kołataniem serca, kłopotami z oddychaniem, uciskiem w klatce piersiowej, bezsennością i częstym wybudzaniem się w nocy, omdleniami bez wyraźnej przyczyny, częstymi bólami migrenowymi i ciśnieniowymi głowy, bólami kręgosłupa (szczególnie w odcinku lędźwiowym – tzw. bóle w krzyżu), niestrawnością, biegunkami, zaparciami, problemami skórnymi i alergiami, astmą, drżeniem i lepkością rąk, zaburzeniami miesiączkowania oraz przyrostem bądź spadkiem wagi (**ryc. II.28.1.**).



Ryc. II.28.1. Mobilizacja organizmu na skutek działania stresu.

Stres podnosi ciśnienie krwi, a także poziom glukozy. Ponadto prowadzi do wzrostu poziomu adrenaliny i zahamowania procesów trawienia – organizm przygotowuje się do sytuacji, która może wymagać ucieczki. Stres jest najczęściej zjawiskiem krótkotrwałym, ale jeśli utrzymuje się przez dłuższy czas, może doprowadzić do bardzo poważnych chorób, takich jak: nadciśnienie tętnicze krwi, miażdżyca, choroba wrzodowa żołądka oraz osłabienie odporności organizmu (**ryc. II.28.2.**).



Ryc. II.28.2. Fazy reakcji stresowej. Reakcja alarmowa – mobilizacja sił obronnych organizmu, stadium odporności – adaptacja do czynników wywołujących stres, stadium wyczerpania – czynnik szkodliwy działa zbyt długo i uogólnione pobudzenie organizmu nie służy już zwalczaniu stresora, lecz skutkuje utratą zdolności obronnych.

Długotrwały stres prowadzi do **nerwic**, czyli ciągłych napięć nerwowych, lęków, poczucia zagrożenia. Często lęki są nieuzasadnione i prowadzą do tzw. **fobii**, np. **arachnofobii** (lęk przed pająkami), **klaustrofobii** (lęk przed przebywaniem w zamkniętych pomieszczeniach), **agorafobii** (lęk przed przebywaniem na otwartej przestrzeni).

Brak snu oraz życie w nieustannym stresie przyczyniają się do występowania zaburzeń w przewodnictwie impulsów nerwowych i wydzielaniu neuroprzekaźników, co prowadzi do schorzeń ośrodkowego układu nerwowego. Najczęściej spotykanym
depresja ▸ zaburzeniem układu nerwowego jest **depresja**, na którą choruje około 10% populacji świata (kobiety częściej niż mężczyźni) (**ryc. II.28.3.**).

Ryc. II.28.3. Schemat objawów depresji.

Przyczyną depresji mogą być obciążenia genetyczne (wrodzona skłonność), ciężkie i przewlekłe choroby, stosowanie leków, alkoholizm czy reakcje na wydarzenia traumatyczne (śmierć bliskiej osoby, rozwód, utrata pracy czy pozycji społecznej, kalectwo, kryzys rodzinny), a także niedobór serotoniny – nazywanej hormonem szczęścia. Depresja dotyka ludzi w różnym wieku, a często pojawia się u ludzi starszych. Jej przyczyną mogą być choroby oraz samotność. Leczenie depresji może wymagać zażywania środków farmakologicznych w powiązaniu z psychoterapią. Bardzo ważne w depresji jest stosowanie profilaktyki poprawiającej nastrój i funkcjonowanie układu nerwowego. Do takich działań należą:

- dbanie o wypoczynek w ciągu dnia;
- regularne wysypianie się;
- prowadzenie aktywnego trybu życia;
- prawidłowe odżywianie bogate w witaminy i minerały, z niskim poziomem tłuszczów, wysokim poziomem białka;
- utrzymywanie kontaktów z osobami bliskimi i przyjaciółmi;
- unikanie środków zmieniających nastrój, takich jak: alkohol, narkotyki, leki uspakajające i środki pobudzające.

Szczególnie niebezpieczne jest uleganie różnym przyzwyczajeniom, które wielokrotnie powtarzane przekształcają się w **nawyki**. Do złych nawyków należą: picie alkoholu, palenie papierosów, zażywanie narkotyków i dopalaczy. Jeśli nawyki są silnie utrwalane, to prowadzą do **nałogu**. To negatywne i bardzo szkodliwe dla naszego zdrowia zjawisko prowadzi często do zakłócenia życia społecznego. Przyczynami popadania w nałogi mogą być porażki w szkole i pracy, brak akceptacji ze strony rówieśników, problemy rodzinne, brak perspektyw życiowych, zranione uczucia, a nierzadko konflikty z innymi lub z samym sobą, a także chęć poprawienia swojego samopoczucia czy nadmiar wolnego czasu. W takich sytuacjach najczęściej następuje sięganie po środki psychoaktywne, m.in.: alkaloidy, leki psychotropowe, narkotyki, alkohol, które działają na ośrodkowy układ nerwowy i powodują zmianę nastroju lub samopoczucia. Jeśli taki środek jest przyjmowany regularnie, to organizm się od niego uzależnia, a uzależnienie prowadzi do nałogu.

nałogi

Lekomania oznacza uzależnienie się od leków, w tym psychotropowych (leków przeciwdepresyjnych, uspakajających, przeciwlękowych, nasennych). Nadużywanie leków prowadzi do niszczenia różnych organów, np. żołądka, serca, wątroby czy nerek. W związku z takim niebezpieczeństwem firmy farmaceutyczne mają obowiązek na opakowaniach leków umieszczać informacje dotyczące niepożądanych skutków stosowania farmaceutyków.

Alkoholizm jest uzależnieniem od alkoholu (piwo, wino, wódka). Nałóg ten prowadzi do zapalenia błony śluzowej żołądka, zapalenia trzustki, osłabienia lub uszkodzenia mięśnia serca, choroby nerek, marskości wątroby, a także do nowotworów krtani, przełyku, żołądka i trzustki.

Narkomania to wyjątkowo groźne uzależnienie od narkotyków – zarówno tzw. **twardych**, np. kokainy i heroiny, jak i **miękkich** – marihuany, ecstasy (czytaj: eks-

tazy) czy LSD. Pod ich wpływem dochodzi do silnych i długotrwałych zaburzeń percepcji, a w ostatniej fazie – do paranoi narkotycznych. Do głównych objawów tego nałogu należą zmiany w wyglądzie i zachowaniu, przekrwione białka oczu i rozszerzone źrenice, nadpobudliwość przeplatana sennością i apatią, zamykanie się w sobie oraz agresywne zachowania. U osoby uzależnionej może dochodzić do wybuchów agresji, które prowadzą do kłopotów z prawem.

Szczególnie niebezpiecznymi środkami psychoaktywnymi są **dopalacze**. Składniki zawarte w dopalaczach są tak samo szkodliwe, jak narkotyki. Główny z nich to benzylopiperazyna (BZN). Jego działanie jest podobne do amfetaminy – przyspiesza tętno, odwadnia organizm i prowadzi do uzależnienia. Do najczęstszych objawów stosowania dopalaczy należą: nudności, bóle i zawroty głowy, stany lękowe, bezsenność, drgawki, problemy z oddychaniem, urojenia, ataki szału, śpiączka czy brązowienie skóry. W środkach masowego przekazu coraz częściej pojawiają się informacje o przypadkach śmiertelnych po zażyciu dopalaczy.

Narkomania i alkoholizm mogą prowadzić do trwałych uszkodzeń mózgu, a także płodu u kobiet w ciąży. Ponadto zaburzają czynności rozrodcze u mężczyzn (powodują impotencję).

Leczenie narkomanii i innych uzależnień polega na **detoksykacji** (odtruciu) organizmu uzależnionej osoby substancjami farmakologicznymi, a następnie indywidualnej lub grupowej psychoterapii chorego i jego rodziny. Leczenie często odbywa się w specjalistycznych zamkniętych ośrodkach lub poradniach. Po takiej terapii pacjenci pozostają pod stałą opieką i często uczestniczą w pracach tzw. grup wsparcia, jak Anonimowi Alkoholicy (AA).

Uzależnienia od środków psychoaktywnych mogą wynikać z różnych przyczyn, np. z braku umiejętności radzenia sobie z negatywnymi emocjami i reakcjami. Sposoby, które mogą pomóc się od tego uwolnić, to m.in.:

- oderwanie myśli od emocji, zajęcie ich czynnościami przyjemnymi lub zupełnie neutralnymi;
- pozytywne myślenie;
- wyjście z domu;
- aktywność fizyczna;
- umiejętność relaksowania się;
- rozwijanie pasji, hobby;
- kontakty z bliskimi osobami;
- kontakty ze zwierzętami;
- częsty śmiech wyzwalający serotoninę.

sen ▸ Do prawidłowego funkcjonowania organizmu jest potrzebny **sen**. Jego brak może doprowadzić do poważnych zaburzeń układu nerwowego. Przesypiamy około 1/3 naszego życia. Sen poprawia zdolność zapamiętywania, czynności ruchowych i ko-

ordynacji, co tłumaczy większą liczbę godzin snu u dzieci niż u dorosłych. W czasie snu mózg wykazuje się inną aktywnością, dzięki czemu się relaksuje. Ponadto we śnie następuje porządkowanie i utrwalanie informacji, a także utrwalenie wiedzy i wspomnień. Sen wzmaga skuteczność układu immunologicznego, dlatego w jego czasie skuteczniej są zwalczane infekcje wirusowe i bakteryjne. Również niektóre hormony, np. hormon wzrostu, są wydzielane tylko podczas snu, a poziom hormonów stresu wyraźnie spada.

Podczas snu człowieka występują pewne cyklicznie powtarzające się zmiany, m.in. zmienia się szybkość ruchów gałek ocznych. Na tej podstawie wyróżnia się dwa rodzaje snu: **sen wolnofalowy** (NREM – wolne ruchy gałek ocznych) oraz **sen paradoksalny REM** (szybkie ruchy gałek ocznych), zwany snem z marzeniami sennymi. Po zaśnięciu zapadamy w sen wolnofalowy, podczas którego ustaje ruch oczu, zwalnia praca serca, spada temperatura ciała, obniża się ciśnienie krwi, następuje rozkurcz mięśni szkieletowych, szybciej goją się rany i oparzenia oraz spowalniają procesy trawienia. Mniej więcej co 90 minut człowiek śpiący wchodzi w fazę snu paradoksalnego trwającego około 20 minut. Podczas tej fazy następuje szybkie poruszanie się gałek ocznych pod zamkniętymi powiekami, oddech i puls stają się nieregularne, często zdarza się mówienie przez sen i lunatykowanie. Podczas tej fazy powstają marzenia senne, które mają charakter wizualny, obejmują dźwięki, zapachy, smaki, obrazy są czarno-białe lub kolorowe. Jeśli przebudzimy się w tej fazie, to jesteśmy w stanie opisać nasze sny. Sen kończy się zwykle fazą paradoksalną, z której łatwo się wybudzić. Do właściwego wypoczynku potrzeba obu faz snu w odpowiednich proporcjach.

Choroby neurologiczne

choroby neurologiczne

Choroba Alzheimera jest wynikiem zanikania kory mózgowej. Występuje u osób po 65. roku życia. Czynnikiem zwiększającym ryzyko zachorowania jest płeć żeńska, cukrzyca, a także występowanie w rodzinie takiej choroby. Przyczyny tej choroby nie zostały dotychczas poznane. W mózgu osoby chorej powstają niewłaściwie zbudowane białka, które gromadzą się i tworzą toksyczne złogi wewnątrz i na zewnątrz neuronów. Choroba ta prowadzi do stopniowych kłopotów z pamięcią, problemów z koncentracją, snem i czynnościami ruchowymi, a w stadium zaawansowanym chory wymaga całodniowej opieki. Jest to choroba postępująca, której sposobu leczenia jeszcze nie odkryto. Stosuje się rehabilitację oraz leczenie farmakologiczne, które ma na celu spowolnienie jej rozwoju i łagodzenie objawów. Stała aktywność umysłowa opóźnia pojawienie się choroby Alzheimera. Diagnostyka choroby polega na przeprowadzeniu przesiewowych testów neuropsychologicznych oraz wywiadzie rodzinnym i tomografii komputerowej.

choroba Parkinsona

Przyczyną **choroby Parkinsona** jest uszkodzenie komórek nerwowych śródmózgowia, które produkują neuroprzekaźnik **dopaminę**. Niskie stężenie tego przekaźnika powoduje zaburzenia równowagi i trudności z wykonywaniem ruchów. Ta choroba najczęściej objawia się drżeniem jednej ręki, ograniczoną mimiką twarzy i zmienioną barwą głosu. Dotyka głównie mężczyzn około 60. roku życia. Nie ma skutecznego leku na zwalczenie jej. Stosuje się leczenie farmakologiczne łagodzące skutki

choroby, a także rehabilitację lub operacje neurochirurgiczne. Chorobę diagnozuje się na podstawie obserwacji pacjenta i tomografii komputerowej.

schizofrenia ▸ Nie do końca poznaną chorobą jest **schizofrenia**. Prawdopodobnie ma podłoże genetyczne, a przyczyniać się mogą do niej także podatność na stres i urazy psychiczne. Ponadto za jedną z przyczyn tej choroby uznaje się powikłania powstałe w okresie życia płodowego i okołoporodowego. Wśród najczęstszych objawów można wymienić zaburzenia emocjonalne, urojenia, omamy, bierność, apatię oraz zaburzenia w funkcjonowaniu w społeczeństwie. Leczenie polega na podawaniu środków farmakologicznych, stosowaniu psychoterapii, konsultacji psychologicznej czy terapii zajęciowej. Tylko u niewielkiej grupy osób chorych takie środki prowadzą do poprawy stanu zdrowia. W sporadycznych wypadkach dochodzi do prób samobójczych. Diagnostykę prowadzi się na podstawie obserwacji pacjenta.

Ryc. II.28.4. EEG mózgu pozwala na wykrycie m.in. padaczki (epilepsji), która jest spowodowana zaburzeniami czynności mózgu w wyniku przebytych urazów lub czynnikami genetycznymi. Objawia się atakami drgawek, utratą przytomności, a także bezdechem.

W rozpoznaniu wielu chorób układu nerwowego pomaga **badanie elektroencefalograficzne** (**EEG**). Pozwala ono za pomocą impulsów elektrycznych zobrazować pracę mózgu (**ryc. II.28.4.**).

diagnostyka chorób układu nerwowego ▸ W diagnostyce chorób układu nerwowego stosuje się także tomografię komputerową. Tomografia komputerowa polega na wykorzystaniu promieniowania rentgenowskiego w uzyskaniu obrazu głównie głowy.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Na wybranych przykładach przedstaw fizjologiczne skutki stresu.
2. Omów rolę snu dla właściwego funkcjonowania organizmu człowieka.
3. Scharakteryzuj na wybranym przykładzie wpływ substancji psychoaktywnych na zdrowie człowieka.

PODSUMOWANIE LEKCJI

s. 331 ▸ • Silnie utrwalone nawyki prowadzą do **nałogów**, takich jak: lekomania, narkomania, alkoholizm. Nałogi działają szkodliwie na układ nerwowy, a także na cały organizm.

s. 332 ▸ • **Sen** pozwala na uwolnienie organizmu od stresu i napięć oraz regeneruje siły.

s. 333 ▸ • **Chorobami neurologicznymi** są choroba Alzheimera, choroba Parkinsona i schizofrenia.

s. 334 ▸ • W chorobach układu nerwowego istotna jest wczesna **diagnostyka**.

29. Sposoby poruszania się zwierząt

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz ruch rzęskowy i mięśniowy;
- dowiesz się, jaki związek ma sposób poruszania się ze środowiskiem życia zwierząt.

ruch

ruch w zależności od warunków środowiska

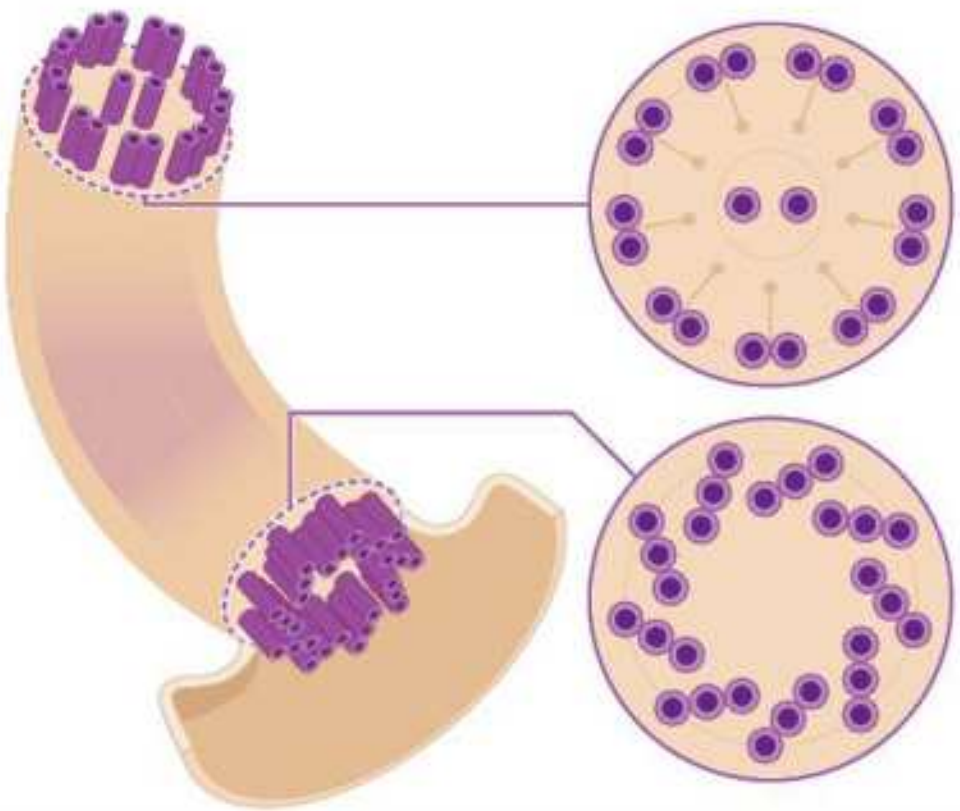
Jedną z podstawowych czynności życiowych zwierząt jest ruch. **Ruch** wynika z konieczności poszukiwania i zdobycia pokarmu, a także ucieczki przed drapieżnikiem. W zależności od warunków środowiska zwierzęta wykształciły **ruch rzęskowy** i **mięśniowy**.

W komórkach eukariotycznych za ruch organelli komórkowych odpowiada cytoszkielet – system włókien białkowych (tubuliny, aktyny, dyneiny). Cytoplazma wzmocniona cytoszkieletem może przelewać się do odpowiednich części komórki i tworzyć wypustki (pseudopodia), co umożliwia jej przesuwanie się po podłożu (**ryc. II.29.1.**). Jest to **ruch pseudopodialny.**

Ryc. II.29.1. Ruch za pomocą pseudopodiów występuje u ameb, śluzowców, a także u niektórych komórek układu odpornościowego – makrofagów.

ruch rzęskowy

Ruch rzęskowy występuje wyłącznie u zwierząt wodnych. Odbywa się za pomocą **wici** i **rzęsek**. Są to cylindryczne cytoplazmatyczne wypustki otoczone błoną komórkową. Zbudowane są z układu mikrotubul. Wici i rzęski mają taki sam plan budowy (**ryc. II.29.2.**).



Ryc. II.29.2. Trzon wici i rzęski składa się z jednej pary mikrotubul leżących w centrum i dziewięciu par położonych na obwodzie. Ich ruch względem siebie prowadzi do wyginania się wici. Ciałko podstawowe, na którym jest osadzony trzon, składa się z dziewięciu tripletów mikrotubul.

Wici są długie i zwykle występują pojedynczo lub po kilka, m.in. u wiciowców, w komórkach kołnierzykowatych (choanocytach) gąbek oraz w plemnikach. Natomiast **rzęski** są krótkie i jest ich wiele. Często pokrywają całą powierzchnię komórki, a wówczas ich ruch jest falowy. Rzęski występują np. u orzęsków czy w nabłonku jajowodu.

ruch mięśniowy ▸ **Ruch mięśniowy** występuje u zwierząt trójwarstwowych, ponieważ mięśnie podczas rozwoju zarodkowego powstają z mezodermy. Ruch mięśniowy zachodzi dzięki dwóm rodzajom filamentów białkowych: aktyny i miozyny. Podczas skurczu mięśnia następuje wsuwanie się filamentów białkowych między siebie i skracanie włókien mięśniowych, co powoduje ruch zwierzęcia.

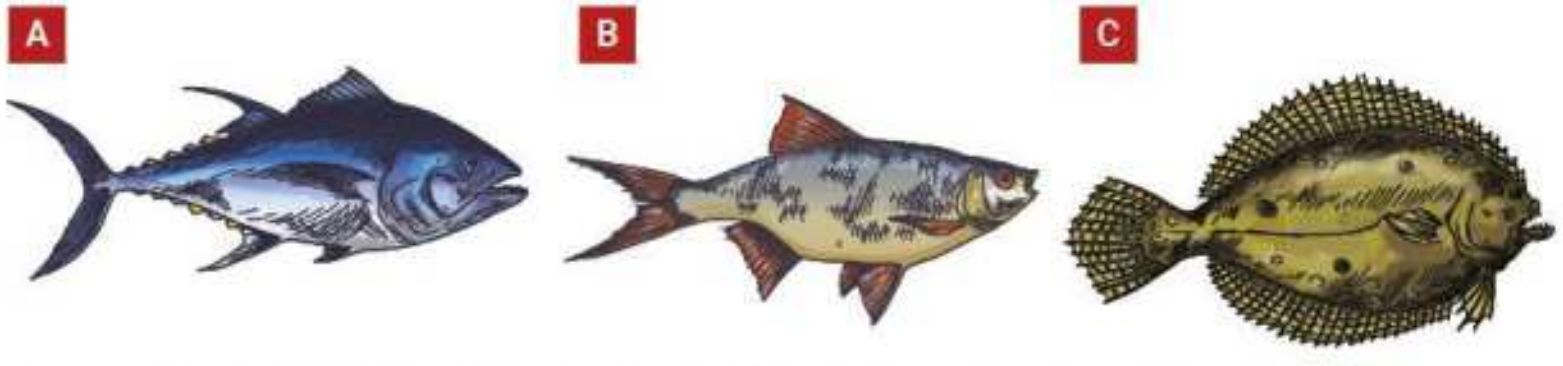
Drobnym zwierzętom korzystny stosunek powierzchni do objętości pozwala na poruszanie się ruchem rzęskowym, ale niektóre z nich mogą poruszać się ruchem mięśniowym. Wraz ze zwiększaniem się rozmiarów ciała zwierząt szybciej rośnie objętość niż powierzchnia pokryta rzęskami. W związku z powyższym zmniejsza się powierzchnia służąca do poruszania się. Dlatego zwierzęta o większych rozmiarach ciała muszą korzystać z ruchu mięśniowego. Ruch mięśniowy zależy od środowiska życia, trybu życia i kształtu ciała.

ruch w wodzie ▸

Ruch zwierząt w wodzie

Woda jako środowisko życia jest znacznie gęstsza od powietrza. Przy ruchu zwierząt stawia znaczny opór. Opór wody jest wprost proporcjonalny do wielkości przekroju przepływającego ciała i do kwadratu prędkości. Przy małej prędkości opór wody równa się kwadratowi prędkości, a przy większej – wzrasta nawet do trzeciej potęgi i wyżej. W związku z tym zwierzęta wytworzyły szereg **przystosowań do życia w wodzie**:

- opływowy kształt ciała;
- ciało pokryte śluzem, tłuszczem lub innymi wydzielinami;
- u ryb odpowiedni układ łusek;
- brak wyraźnie wystających części, np. wyrostków, kolców (**ryc. II.29.3.**).



Ryc. II.29.3. Ryby przystosowały się kształtem ciała do zmniejszenia oporu wody: ciało opływowe (hydrodynamiczne) mają ryby szybko pływające, np. tuńczyk, śledź czy makrela (A), ciało bocznie spłaszczone pozwala na manewrowanie między roślinnością (B), jest charakterystyczne dla ryb żyjących w spokojnych wodach, np. leszcza, płoci, ciało spłaszczone grzbietobrzusznie (C), półopływowe jest charakterystyczne dla ryb żyjących w strefie przydennej, np. flądry.

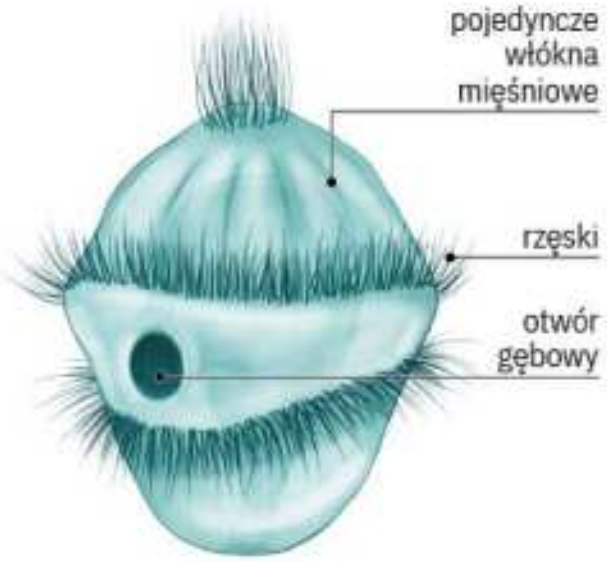
Zwierzęta żyjące w wodzie mogą się poruszać zarówno ruchem rzęskowym, jak i mięśniowym. Drobne zwierzęta wodne poruszają się ruchem rzęskowym, np. wirki, wrotki, larwy wielu bezkręgowców (**ryc. II.29.4.**).

ruch mięśniowy w wodzie

Ruchem mięśniowym w toni wodnej porusza się wiele gatunków zwierząt, m.in. większość ryb. Ryby pływając, wyginają na boki silnie umięśnioną ogonową część ciała oraz poruszają płetwami. Fala skurczów odpowiednich grup mięśni przebiega szybciej przez ciało niż się ono porusza. Amplituda tych fal wzrasta ku płetwie ogonowej, której uderzenia popychają rybę do przodu. Silnie umięśniona płetwa ogonowa skutecznie tłumi wiry, które powstają za rybą.

Opływowy kształt ciała i bocznie spłaszczony ogon pozwalają larwom płazów, czyli kijankom, podobnie jak rybom, na sprawne poruszanie się w wodzie.

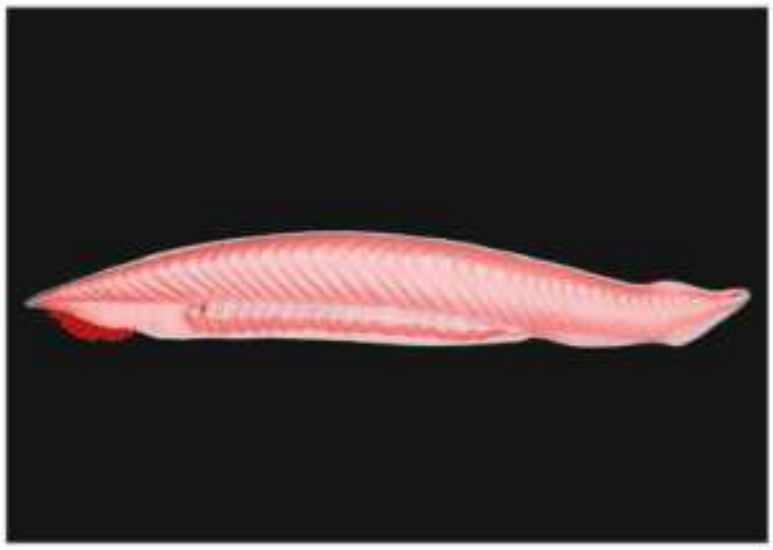
Lancetnik, mały strunowiec o ciele bocznie spłaszczonym i zwężającym się na obu końcach, spędzający większość życia w piasku, potrafi też pływać dzięki wygięciom ciała i fałdom skórnym pełniącym funkcję płetw (**ryc. II.29.5.**).



Ryc. II.29.4. Ruchem rzęskowym porusza się larwa pierścienic trochofora. Ma ona kształt kulisty i jest otoczona wieńcami rzęsek.

ruch wiosłowy

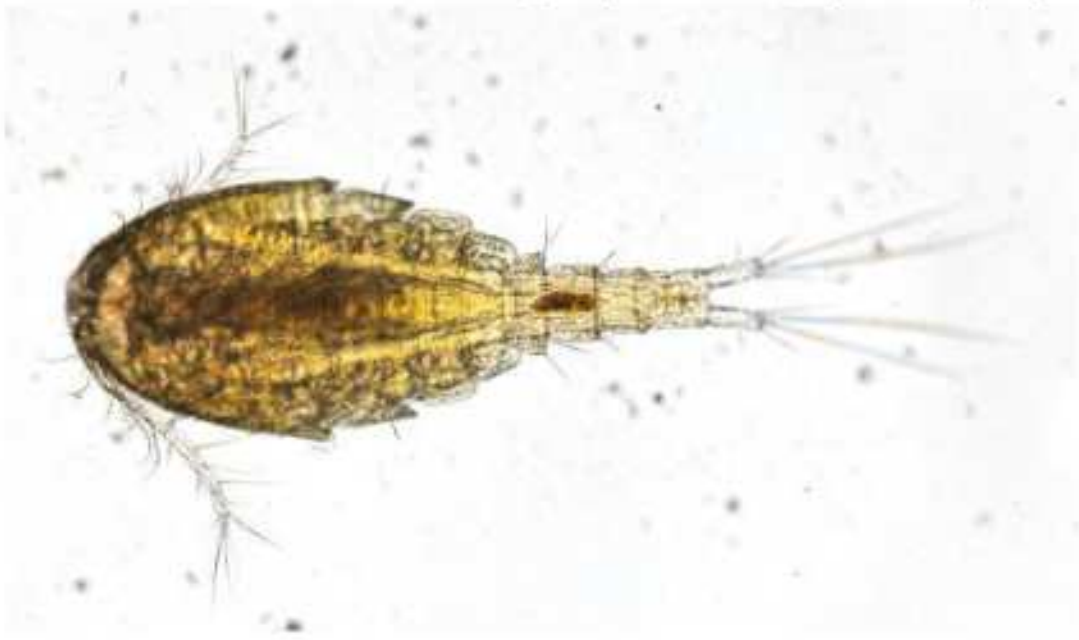
Ruchem mięśniowym jest **ruch wiosłowy**. Odbywa się on za pomocą wykształconych przez zwierzęta różnych wyrostków ciała – **czułków**, **odnóży**, **kończyn** czy **fałdów powłokowych** działających jak wiosła. Ruchem wiosłowym porusza się wiele gatunków zwierząt z różnych, często odległych grup systematycznych, np. skorupiaki, owady wodne, żółwie morskie, ptaki wodne (**ryc. II.29.6.**).



Ryc. II.29.5. Metamerycznie ułożone mięśnie (miomery) lancetnika w kształcie litery V są rozdzielone przegrodami łącznotkankowymi. Miomery po prawej stronie ciała są przesunięte względem miomerów lewej strony ciała. Taka asymetria ułatwia wyginanie się ciała na boki, co zapewnia sprawniejsze poruszanie się.

Ryc. II.29.6. U wioślarek narządem ruchu jest para dwugałęzistych czułków porośniętych włoskami, które zwiększają powierzchnię wiosłowania. Poszczególne gatunki wioślarek różnią się rytmem bicia czułkami.

U widłonogów do poruszania służą nogi tułowiowe i czułki (**ryc. II.29.7.**). Przedstawicielem widłonogów jest oczlik. W przedniej części jego ciała znajdują dwie pary jednogałęzistych czułków. Dłuższa pierwsza para jest narządem ruchu. Natomiast rozwidlone odnóża tułowiowe pełnią funkcję wioseł.



Ryc. II.29.7. Narządy ruchu widłonogów.

Owady wodne poruszają się za pomocą odnóży pływnych. Ich powierzchnia jest spłaszczona, często zaopatrzona w rząd włosków, które zwiększają powierzchnię służącą do pływania (**ryc. II.29.8.**).

U kręgowców wodnych – krągłoustych, ryb i waleni – do poruszania w wodzie służą płetwy oraz kończyny u pozostałych. Płazom ogoniastym wiosłowanie w wodzie ułatwia ogon, a bezogonowym – błona pławna między palcami kończyn tylnych, która występuje też u ptaków pływających (np. kaczki, gęsi, łabędzie). Kończynami przekształconymi w wiosła pływają żółwie wodne (**ryc. II.29.9.**).

Ryc. II.29.8. Pływak żółtobrzeżek to owad wodny o spłaszczonym grzbietobrzusznie, opływowym kształcie ciała. Pływa w wodzie za pomocą dwóch dłuższych tylnych odnóży, pokrytych po bokach gęstymi szczecinkami pływnymi.

Ryc. II.29.9. U żółwi wodnych wszystkie kończyny są szerokie i płaskie. Przednie kończyny są masywniejsze i głównie służą do wiosłowania, a tylne pełnią funkcję steru.

ruch odrzutowy ▸ Ruchem mięśniowym jest **ruch odrzutowy**. Występuje on u bezkręgowców – meduz (parzydełkowców), kałamarnic, ośmiornic (głowonogów) (**ryc. II.29.10.**).

Ryc. II.29.10. Meduzy poruszają się w głąb wody lub ku powierzchni, wykonując ruchy odrzutowe. Ruch ten polega na skurczu całego ciała, co powoduje wypchnięcie wody spod parasola i odrzucenie meduzy do góry (A). Ośmiornice dzięki rytmicznym skurczom mięśni płaszcza zasysają wodę do jamy płaszczowej, a następnie wyrzucają ją przez lejek na zewnątrz. Ruch odrzutowy wspomagają ruchy ramion (B). Małże przegrzebki poruszają się poprzez zamykanie i otwieranie muszli (C).

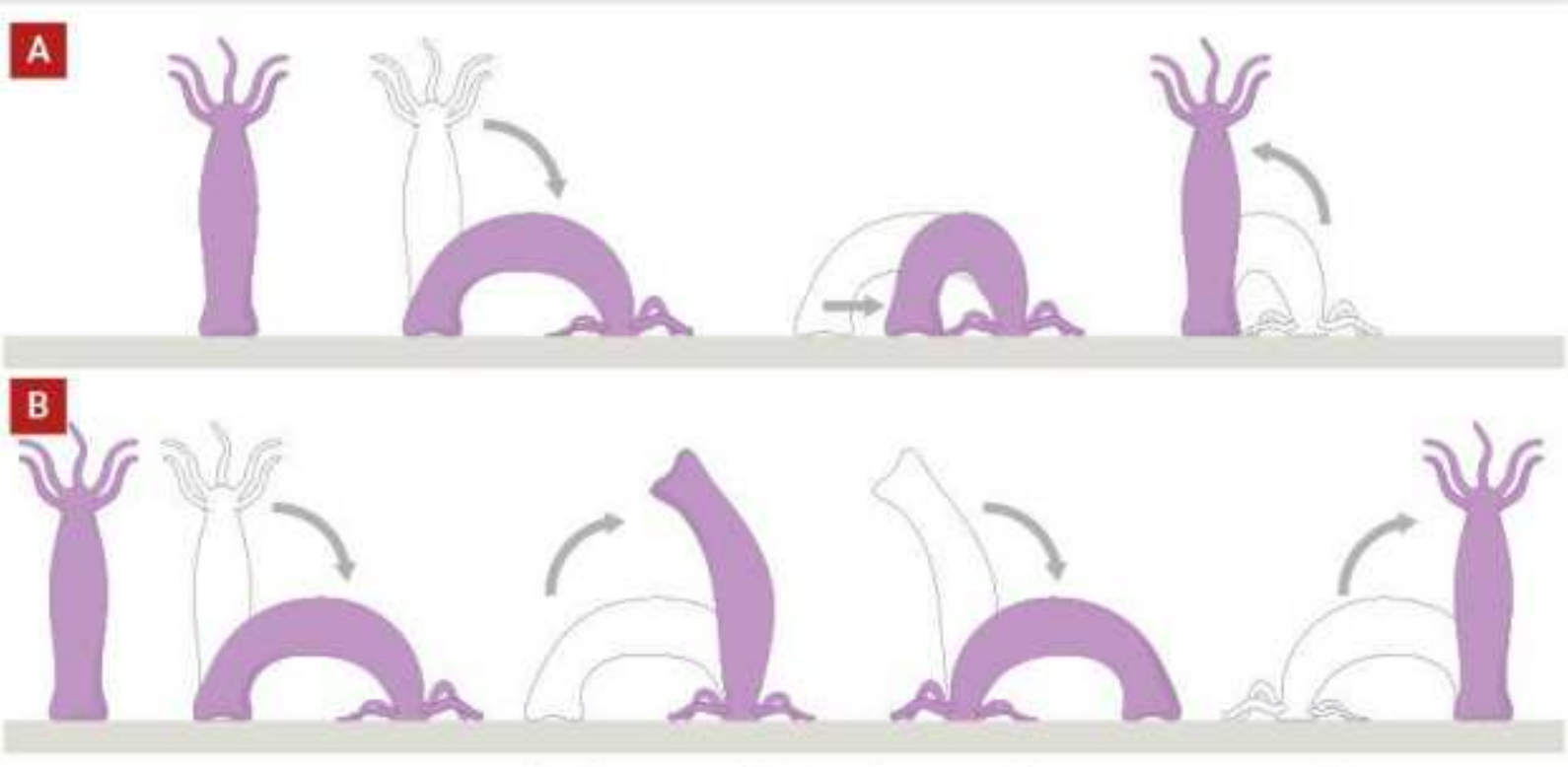
Zwierzęta zasiedlające dno zbiorników wodnych charakteryzują się różnymi przystosowaniami do dennego trybu życia. Mają znaczny ciężar właściwy, często ich ciało jest obciążone substancjami mineralnymi, z których są zbudowane szkielety zewnętrzne, np. muszle ślimaków i małży składające się z węglanu wapnia czy domki chruścików zbudowane z ziarenek piasku. Sposób poruszania się wiąże się z charakterem podłoża, które może być muliste, piaszczyste, żwirowe, kamieniste. Im twardsze dno, tym łatwiej utrzymać się na nim organizmom. Na dnie twardym np. raki, larwy i dorosłe owady kroczą. Inne zwierzęta pełzają – wykonują perystaltyczne ruchy ciała, np. wypławki, lub skręcają całe ciało, np. pijawki, czy wykonują faliste skurcze umięśnionej nogi, np. ślimaki.

Ryc. II.29.11. Noga ślimaków może być różnie wykształcona w zależności od gatunku i trybu życia. Masywną nogę z szeroką podeszwą mają gatunki żyjące w wartkim prądzie wody, np. błotniarki czy przytuliki. Pełzają powoli, a szeroka podeszwa zapewnia im dużą przyczepność do podłoża. Gatunki szybko pełzające, np. rozdepki, mają wąską nogę. Ślimaki przodoskrzelne, np. zawójki, przód nogi mają rozdwojony w dwa płaty boczne, które w czasie pełzania zwierzęcia odchylają się ku tyłowi ciała.

Poruszanie się po dnie miękkim jest dla zwierząt znacznie trudniejsze. W związku z tym szereg gatunków zagrzebuje się w mule, tak jak wodne skąposzczety, larwy niektórych owadów wodnych czy większość gatunków ślimaków słodkowodnych.

Zwierzęta osiadłe mogą wykonywać ruchy częściami ciała ułatwiające zdobycie pokarmu czy ochronę przed atakiem drapieżnika, np. parzydełkowce w stadium polipa, osiadłe wieloszczety czy pąkle (stawonogi).

Niektóre osiadłe parzydełkowce, jak stułbia, potrafią poruszać się: **kroczą** lub **koziołkują** (**ryc. II.29.12.**).



Ryc. II.29.12. Etapy poruszania stułbi: kroczenie (A), koziołkowanie (B). Poruszanie się stułbi opiera się na przemiennym przyczepianiu się do podłoża raz stopą, a raz czułkami.

błona powierzchniowa wody

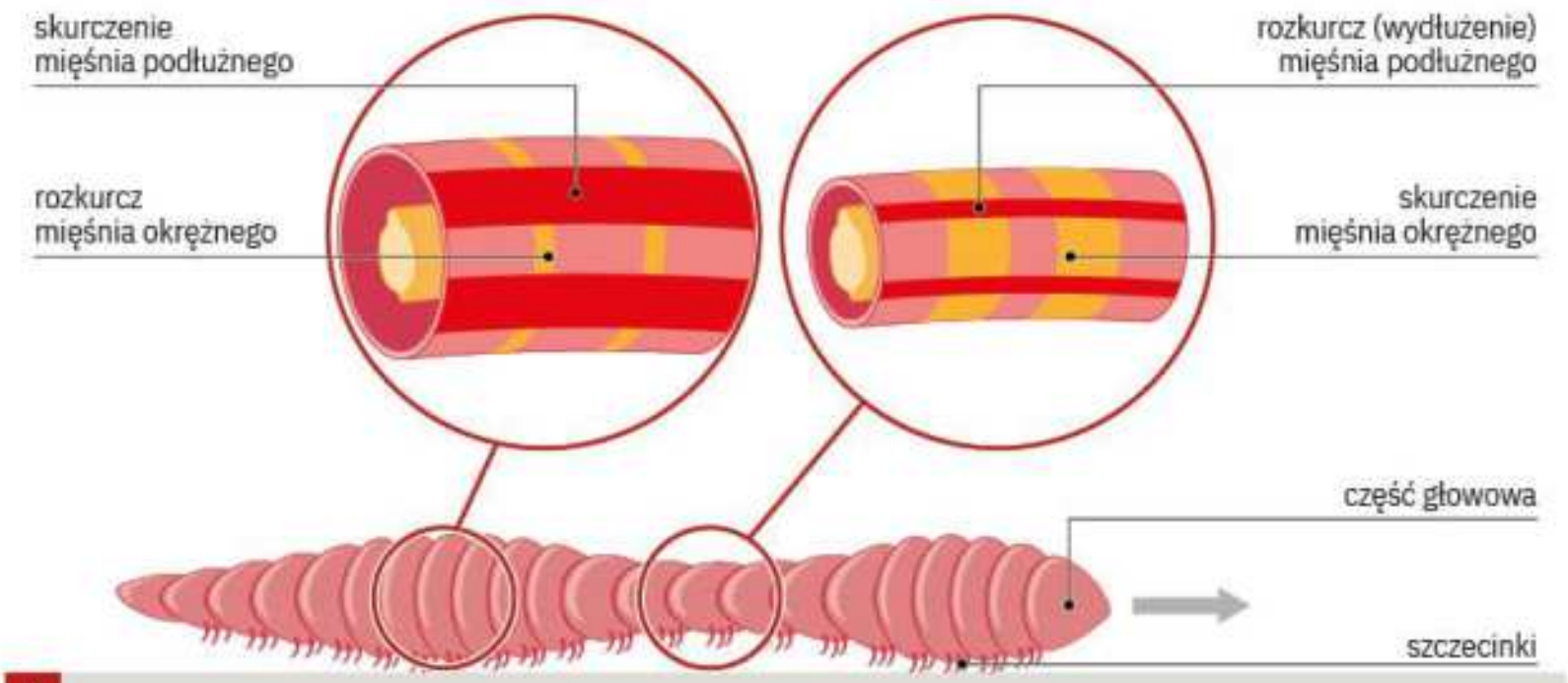
Specyficznym środowiskiem życia jest **błonka powierzchniowa wody** powstała wskutek silnego przylegania do siebie drobin wody oraz przylegająca do niej bezpośrednio warstwa wody i powietrza. Zwierzęta żyjące na jej powierzchni, np. niektóre chrząszcze wodne czy pluskwiaki, takie jak nartniki, skaczą i ślizgają się po uginającej się pod nimi błonce. Do lokomocji służą im specjalnie przystosowane odnóża, które podobnie jak wiosła przesuwają zwierzę o kilkadziesiąt centymetrów za każdym uderzeniem o błonkę.

Poruszanie się po lądzie

Ruch na lądzie jest ruchem typu mięśniowego. Środowisko lądowe stwarza odmienne warunki do poruszania się w porównaniu do środowiska wodnego. Poruszanie się po lądzie jest znacznie trudniejsze, ponieważ zwierzęta nie mogą wykorzystać siły wyporu. Energię podczas poruszania się zużywają nie tylko na wprawienie ciała w ruch, lecz także na powstrzymanie go przed upadkiem. W lokomocji na lądzie większą rolę odgrywają mięśnie i szkielet niż opływowy kształt ciała.

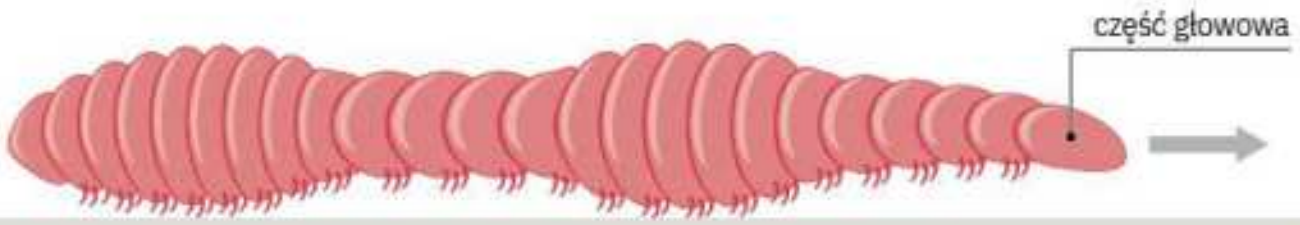
Dlatego poruszanie na lądzie wymagało wykształcenia specjalnych narządów i techniki poruszania. Zwierzęta, które nie wykształciły kończyn, **pełzają,** czyli poruszają się dzięki naprzemiennym skracaniu i wydłużaniu całego lub części ciała (**ryc. II.29.13.**).

◂ **pełzanie**



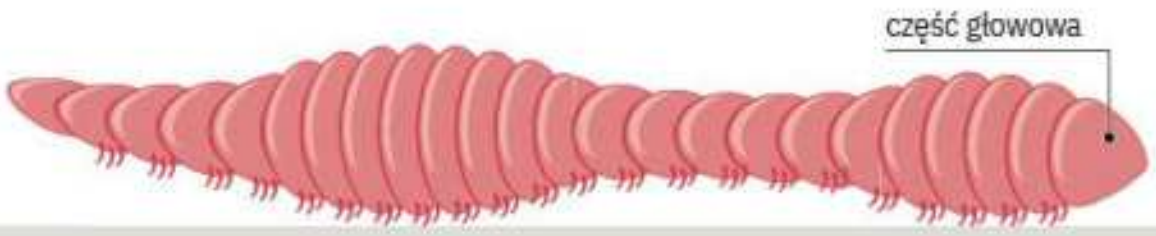
A

Krótkie i grube segmenty głowowej i tylnej części ciała są wynikiem skurczu mięśni podłużnych i rozkurczu mięśni okrężnych.



B

Skurcz mięśni okrężnych i rozkurcz mięśni podłużnych w odcinku głowowym spowodowały przesunięcie tego odcinka do przodu. Ślizganiu wstecz za odcinkiem głowowym i w tylnej części ciała zapobiegają szczecinki.



C

Segmenty części głowowej stają się znowu grube (skurcz mięśni podłużnych i rozkurcz mięśni okrężnych), a segmenty tylnej części ciała odrywają się od podłoża i przesuwają się do przodu.

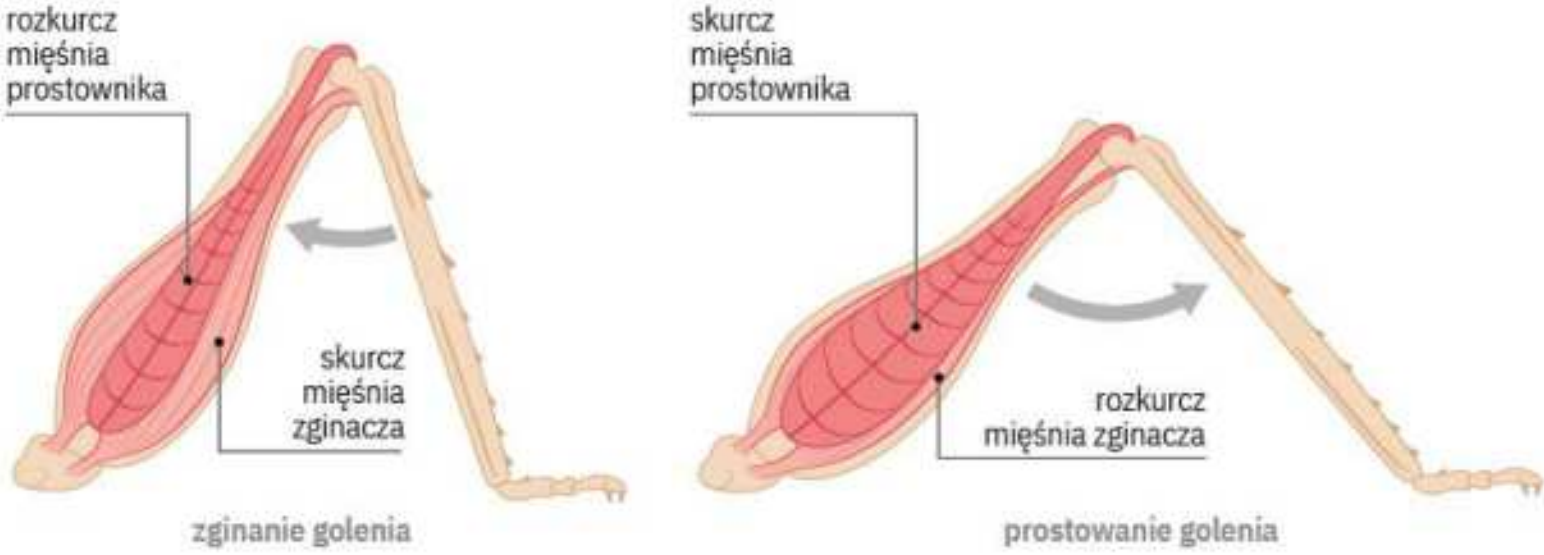
Ryc. II.29.13. Ruch pierścienic poprzez zmianę kształtu segmentów. Pełzanie pierścienic jest efektem przeciwstawnych skurczów mięśni okrężnych i podłużnych, które wytwarzają siły ciągnące ciało do przodu.

Gady niemające kończyn – węże – poruszają się także ruchem pełzającym. Przemieszczają się, wykonując falujący ruch całego ciała, opierając się o podłoże ruchomymi łuskami znajdującymi się po spodniej stronie ciała.

ruch kroczny ▸ **Ruch kroczny** jest najczęściej spotykanym sposobem poruszania się u zwierząt lądowych. Zwierzęta wykształciły odnóża kroczne na tyle silne, aby udźwignąć ciężar ciała. Pierwsze odnóża kroczne pojawiły się u stawonogów. Ich konstrukcja opiera się na odcinkach połączonych stawami. U kręgowców, np. ssaków, mięśnie są ułożone na zewnątrz kości i mogą wywierać dużą siłę na różne części kończyn. Umiejętność poruszania się na kończynach ssaki rozwinęły w stopniu doskonałym, osiągając niespotykaną szybkość i zręczność. U ssaków kroczących nastąpiła zmiana końcowych odcinków kończyn. Ssaki kroczące po ziemi mogą podpierać się dobrze wykształconymi częściami ręki i stopy, są **stopochodne**, np. niedźwiedzie. Obecność drapieżników spowodowała dalszą modyfikację kończyn, a tym samym sposobu przemieszczania się. Zwierzęta, które musiały uciekać przed drapieżnikiem lub polować na ofiary na otwartej przestrzeni, wykształciły nowe sposoby lokomocji – **bieg** i **skakanie**. Odnóża skoczne rozwinęły się m.in. u owadów, płazów i kangurów (**ryc. II.29.14.**). Pozwalają na szybkie przemieszczanie się na płaskim podłożu. Natomiast zwierzęta skaczące mają silnie wykształcone, wydłużone kończyny tylne.

stopochodność ▸

bieg i skakanie ▸



Ryc. II.29.14. Odnóża owadów są zaopatrzone w dwa rodzaje mięśni działających antagonistycznie – zginacze i prostowniki. Poruszają one twardym szkieletem zewnętrznym.

Kangury przemieszczają się, wykonując skoki kończynami tylnymi, które mają silne rozwinięte mięśnie. Energię do następnego skoku czerpią z energii zgromadzonej chwilowo w ścięgnach po każdym skoku. Utrzymanie równowagi podczas poruszania się na dwóch kończynach ułatwiają niechwytne ogony.

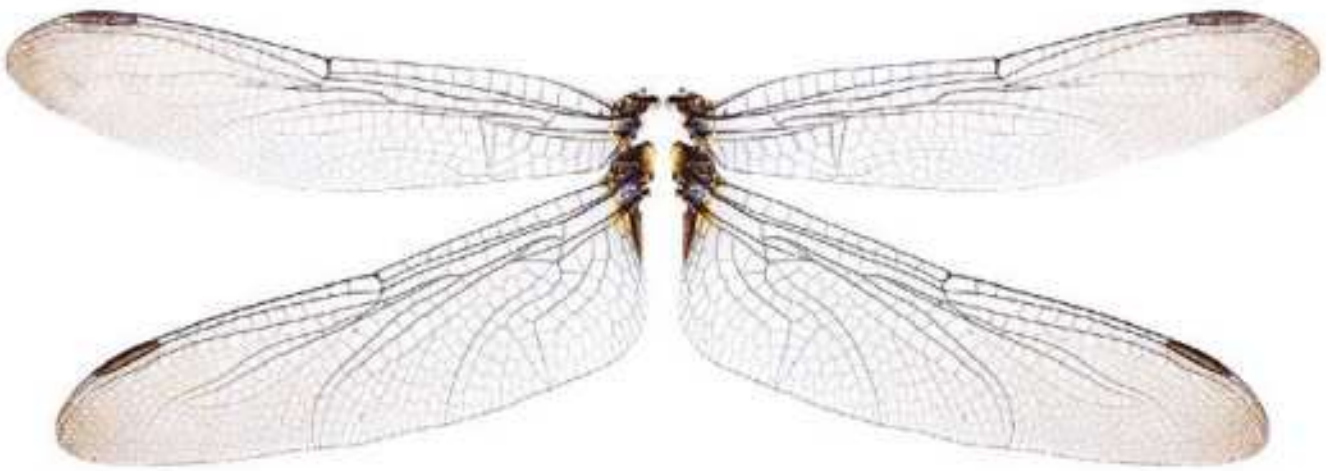
palcochodność ▸ Ssaki biegające podpierają się na podłożu czubkami palców, są **palcochodne.** Dalsza specjalizacja doprowadziła do opierania się o podłoże jedynie końcami ostatnich członów palców – **parzystokopytne** chodzą na palcach III i IV, a **nieparzystokopytne** – na palcu III (**ryc. II.29.15.**).

Ryc. II.29.15. Kończyny ssaków parzystokopytnych i nieparzystokopytnych.

U zwierząt lądowych rozwinęła się także zdolność lokomocji w powietrzu – **lot.** ◂ lot
Zdolność do lotu występuje u owadów, ptaków i niektórych ssaków.

Lot pozwala na opanowanie nowych siedlisk, ułatwia poszukiwanie pokarmu, znalezienie partnera do rozrodu, a także gwarantuje skuteczną ucieczkę przed drapieżnikiem. Zwierzęta wytworzyły szereg przystosowań do lotu. Aby pokonać opór powietrza, podobnie jak zwierzęta żyjące w wodzie, mają opływowy kształt ciała. Zmniejszają masę ciała przez wykształcenie odpowiednich struktur anatomicznych, np. kości pneumatycznych, czy mechanizmów fizjologicznych, np. podwójnego oddychania u ptaków. Jednak najważniejszym przystosowaniem jest powierzchnia nośna, którą tworzą **skrzydła**. U owadów jest ona wzmocniona szkieletem zewnętrznym, a u kręgowców – szkieletem wewnętrznym. Podstawa, na której opierają się skrzydła, ma mocną i zwartą budowę, wynikającą z występowania mięśni poruszających skrzydłami.

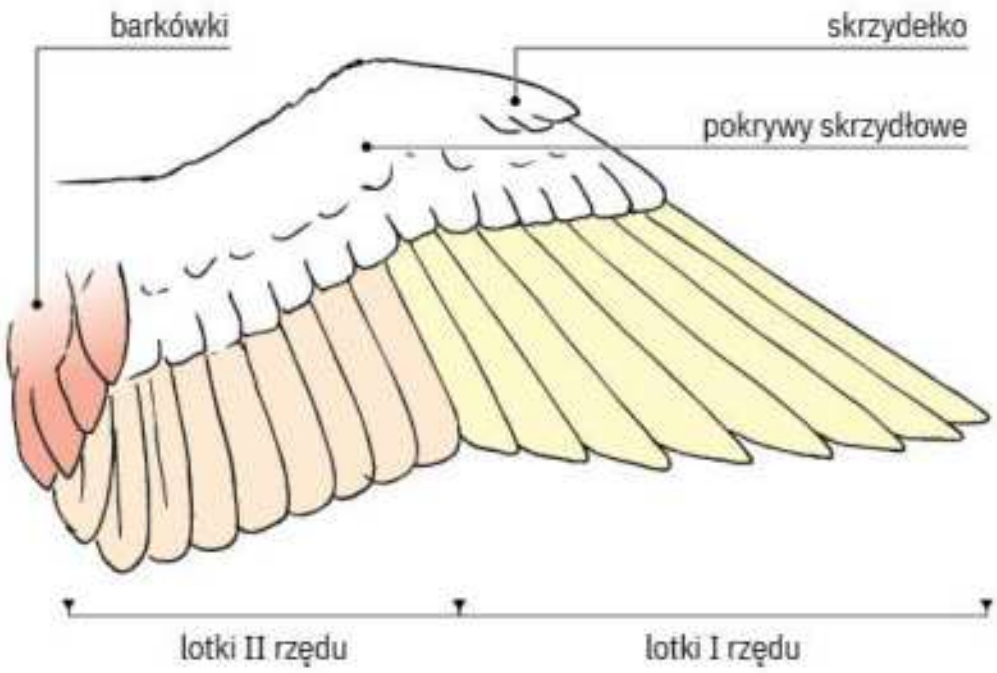
Skrzydła owadów są uwypukleniami powłok ciała. Z tułowiem są połączone błoną stawową, w której znajdują się specjalne struktury wzmacniające – płytki grzbietowa i brzuszna, nadające giętkość skrzydłom i decydujące o sposobie poruszania skrzydłami. Pozwalają na składanie i rozkładanie skrzydeł. Skurcz mięśni grzbietowo-brzusznych przyciąga płytki do pancerza chitynowego owada, co powoduje podnoszenie skrzydeł. Skurcz mięśni podłużnych unosi płytkę grzbietową, a tym samym opuszcza skrzydła. Podczas naprzemiennego skurczu mięśni następuje opuszczanie i unoszenie skrzydeł. Skrzydła owada są zbudowane z sieci chitynowych kanalików zwanych **żyłkami.** Stanowią one rusztowanie i wzmocnienie dla skrzydeł oraz pozwalają wytrzymać opór powietrza podczas lotu owadów.



Ryc. II.29.16. Skrzydła owada. W żyłkach płynie hemolimfa, dochodzą do nich nerwy i tchawki.

Podczas lotu owad porusza skrzydłami, co prowadzi do powstania różnych ciśnień wokół ciała zwierzęcia. Przed i nad owadem ciśnienie jest wyższe, natomiast z tyłu owada i pod nim jest niższe. Ta różnica wznosi owada i porusza do przodu. Można wyróżnić różne typy lotu owadów, m.in. najczęściej występujący **szybowcowy,** podczas którego owad wstrzymuje ruchy skrzydłami i porusza się do przodu, **spadochronowy** z rozchylonymi skrzydłami, **stojący,** w którym owad wstrzymuje ruchy skrzydeł i nieruchomo pozostaje w powietrzu.

Skrzydła ptaków powstały z przekształconej pierwszej pary kończyn. **Szkielet skrzydła** jest zbudowany z masywnej i grubej kości ramieniowej, wydłużonych dwóch zrośniętych ze sobą kości przedramienia (kość łokciowej i łokciowej) oraz częściowo zredukowanych i zrośniętych kości nadgarstka i śródręcza. Zredukowane są także palce, pozostały tylko pojedyncze paliczki I i III palca oraz dwa paliczki palca II (**ryc. II.29.17.**). Ułożenie kości dłoni pozwala na poruszanie nimi w jednej płaszczyźnie, co zapewnia usztywnienie podczas lotu.



Ryc. II.29.17. Budowa skrzydła ptaka.

Szkielet skrzydła jest połączony z silną obręczą barkową. **Obręcz barkowa** łączy się z mostkiem masywnymi kośćmi kruczymi, co stanowi dobre oparcie dla szkieletu skrzydeł. Na mostku ptaków latających znajduje się **grzebień kostny,** do którego przyczepiają się mięśnie poruszające skrzydłami: piersiowe odpowiedzialne za opuszczanie i podobojczykowe odpowiedzialne za podnoszenie skrzydeł. Skrzydła są pokryte piórami. Lotki występują głównie na kościach przedramienia i dłoni. Tworzą zwartą, nieprzepuszczalną dla powietrza powierzchnię lotną. Kiedy ptak unosi się w powietrzu, lotki ustawiają się tak, że powstają między nimi odstępy, a to wyraźnie zmniejsza opór powietrza. Na zmniejszenie oporu powietrza wpływa także opływowy kształt ciała okrytego w całości piórami pokrywowymi. Za sterowanie lotem odpowiadają osadzone w ogonie sterówki.

Bardzo istotny dla lotu ptaków jest kształt skrzydeł, np. długie i wąskie skrzydła, które stanowią dużą siłę nośną, są przydatne w lotach długodystansowych. Ze względu na ruch skrzydeł wyróżnia się różne rodzaje lotu, np. **szybowcowy** (ślizgowy), podczas którego ptak unosi się w powietrzu bez poruszania skrzydłami, czy **trzepoczący** pozwalający na zawisanie w powietrzu, a także na unoszenie się pionowo w górę.

Jedynymi ssakami, które wykształciły zdolność do aktywnego lotu, są **nietoperze.** Skrzydła nietoperzy powstały z wydłużonych palców przedniej kończyny (z wyjątkiem pierwszego), między którymi jest rozpostarta błona lotna. Błona rozciąga się aż do kończyn tylnych. Służy u wielu gatunków nietoperzy także do łapania i trzymania dużej zdobyczy. W porównaniu do ptaków nietoperze poruszają się w powietrzu wolniej, ale są bardziej zwrotne.

Ryc. II.29.18. Nietoperze potrafią naprzemiennie uderzać skrzydłami, zawisać pionowo w powietrzu, a także wykorzystywać do latania prądy powietrzne. Zwiększenie wypukłości skrzydeł zwiększyło ich siłę nośną, ograniczyło prędkość lotu, ale zwiększyło zwrotność nietoperzy.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Wyjaśnij, w jaki sposób rozmiary ciała wpływają na sposoby lokomocji zwierząt.
2. Porównaj sposoby poruszania się zwierząt w wodzie i podaj odpowiednie przykłady.
3. Porównaj przystosowanie do poruszania się w powietrzu owadów, ptaków i ssaków.

PODSUMOWANIE LEKCJI

s. 335
- **Ruch** jest jedną z podstawowych czynności życiowych zwierząt.

s. 335
- Rodzaj ruchu **zależy od warunków środowiska** życia oraz rozmiarów ciała.

s. 335
- **Ruch rzęskowy** występuje tylko u zwierząt wodnych, odbywa się za pomocą rzęsek i wici.

s. 336
- **W środowisku wodnym** zwierzęta poruszają się ruchem rzęskowym lub mięśniowym.

s. 337
- **Ruchem mięśniowym w wodzie** jest ruch wiosłowy i odrzutowy.

s. 337
- **Ruch wiosłowy** odbywa się za pomocą wykształconych przez zwierzęta różnych wyrostków ciała – czułków, odnóży, kończyn czy fałdów powłokowych. Występuje u bezkręgowców i kręgowców.

s. 338
- **Ruchem odrzutowym** poruszają się tylko bezkręgowce.

s. 342
- Zwierzęta na lądzie poruszają się za pomocą mięśni **ruchem krocznym**.

s. 341
- Zwierzęta lądowe, które nie wykształciły kończyn, poruszają się, **pełzając**.

s. 342
- Na otwartej przestrzeni zwierzęta wykształciły inne sposoby lokomocji – **bieg i skakanie**.

s. 343
- Zdolność do **lotu** mają owady, większość ptaków oraz niektóre ssaki (nietoperze).

30. Układ ruchu – przekształcenie pracy mięśnia w poruszanie się

NA TEJ LEKCJI:

- dowiesz się, jak mięśnie współdziałają z układem szkieletowym;
- poznasz różne typy szkieletu: hydrauliczny, zewnętrzny i wewnętrzny;
- prześledzisz przebieg ewolucji szkieletu wewnętrznego zwierząt jako adaptację do środowiska i trybu życia.

ewolucja układu mięśniowego

Ewolucja układu mięśniowego wynikała ze zwiększających się rozmiarów ciała zwierząt. Pierwsze prosto zbudowane zwierzęta o małych rozmiarach żyły w wodzie i poruszały się za pomocą rzęsek. W miarę powiększania się rozmiarów ciała lokomocja rzęskowa ze względu na niekorzystny stosunek orzęsionej powierzchni do objętości nie była efektywna. Stopniowo nastąpiło wykształcanie się układu mięśniowego z białkowych **włókien aktynowych** i **miozynowych**, budujących cytoszkielet komórek eukariotycznych. Początkowo były to komórki nabłonkowo-mięśniowe, które funkcjonują u współczesnych parzydełkowców. W dalszej ewolucji część komórek nabłonkowo-mięśniowych utraciła zdolność do skurczu i przekształciła się w komórki nabłonkowe budujące powłoki ciała zwierząt. Pozostałe komórki położone pod powłoką ciała dały początek właściwym komórkom mięśniowym.

skurcz komórek mięśniowych

U zwierząt tkankowych występują **dwa typy mięśni**: gładkie i poprzecznie prążkowane. Niższe bezkręgowce, np. płazińce, nicienie, mają tylko jeden typ mięśni – **gładkie**. Od stawonogów zaczęły się pojawiać mięśnie **poprzecznie prążkowane** odpowiedzialne za lokomocję. Natomiast mięśnie gładkie u tych zwierząt, budują mięśniówkę narządów wewnętrznych. Początkowo mięśnie miały **układ metameryczny** – były podzielone na powtarzające się odcinki, zwane miomerami. W momencie pojawienia się kończyn wykształciły się grupy wyspecjalizowanych mięśni związanych z ich poruszaniem się. Spowodowało to zanik metamerii mięśni. Dalsza ewolucja mięśni poszła w kierunku współdziałania ze szkieletem i wytworzenia układu ruchu.

mięśnie gładkie i poprzecznie prążkowane

Szkielet jest miejscem przyczepu mięśni. W wyniku przeniesienia siły wytworzonej przez mięśnie na szkielet jest możliwy ruch poszczególnych części ciała. Wyróżnia się szkielet typu hydraulicznego oraz szkielet sztywny – wewnętrzny i zewnętrzny.

szkielet

Szkielet hydrauliczny jest rodzajem szkieletu wewnętrznego. Występuje u niższych bezkręgowców, nicieni i pierścienic, których ciało pokrywa miękka powłoka – **wór skórno-mięśniowy,** a jama ciała jest wypełniona płynem. Szkielet hydrauliczny odpowiada za sztywność lub wiotkość zwierzęcia. Pozwala tylko na wykonywanie niezbyt precyzyjnych ruchów, np. wijących u nicieni czy perystaltycznych u pierścienic. Dzięki skurczom mięśni następuje wzrost ciśnienia płynu w jamie ciała, co umożliwia wykonywanie ruchów zwierzęcia. Szkielet hydrauliczny występuje także u ślimaków, u których służy do ruchów czułków. Prostowanie czułków jest wynikiem przepompowywania do nich płynu z pozostałych części ciała ślimaka. Natomiast wciąganie czułków następuje dzięki użyciu mięśni. Zasada działania szkieletu hydraulicznego jest wykorzystana także podczas chowania ciała w muszli lub wysuwania nogi z muszli.

szkielet hydrauliczny

Szczególnym rodzajem szkieletu hydraulicznego jest **układ wodny,** czyli ambulakralny, u szkarłupni. Ma on pięciopromienną budowę. Składa się z kanału okrężnego, od którego odchodzi pięć promienistych kanałów prowadzących do licznych nóżek ambulakralnych. Nóżki pełnią m.in. funkcje lokomotoryczne.

Szkielet zewnętrzny wykształcił się u zwierząt bezkręgowych. Można go spotkać u kolonijnych parzydełkowców – koralowców. U stawonogów jest zbudowany z oddzielnych elementów różnej wielkości połączonych stawowo. Ruch mięśni pozwala na przemieszczanie się tych elementów. Szkielet zewnętrzny występuje również u ślimaków i małży, u których praca mięśni połączonych ze szkieletem jest odpowiedzialna za wciąganie miękkich części ciała do muszli. Szkielet zewnętrzny stanowi ochronę przed drapieżnikami, a u zwierząt lądowych jest także ochroną przed wysychaniem. Ze względu na duży ciężar występuje tylko u zwierząt o niewielkich rozmiarach. Ogranicza wzrost i osiągnięcie maksymalnych rozmiarów ciała.

szkielet zewnętrzny

Szkielet wewnętrzny rozwinął się u strunowców i głowonogów. U najbardziej zaawansowanego podtypu strunowców – kręgowców – składa się z elementów zbudowanych z tkanki chrzęstnej i kostnej. Ruch poszczególnych grup mięśni powoduje wzajemne przemieszczanie się tych elementów szkieletu razem z połączonymi z nim tkankami miękkimi. Szkielet wewnętrzny pozwala na wykonywanie skompli-

szkielet wewnętrzny

kowanych i precyzyjnych ruchów ciała. Ponieważ stanowi niewielką część masy ciała, zwierzęta mają możliwość ciągłego wzrostu i osiągnięcia dużych rozmiarów ciała. Natomiast funkcja ochronna szkieletu wewnętrznego jest wyraźnie mniejsza od szkieletu zewnętrznego.

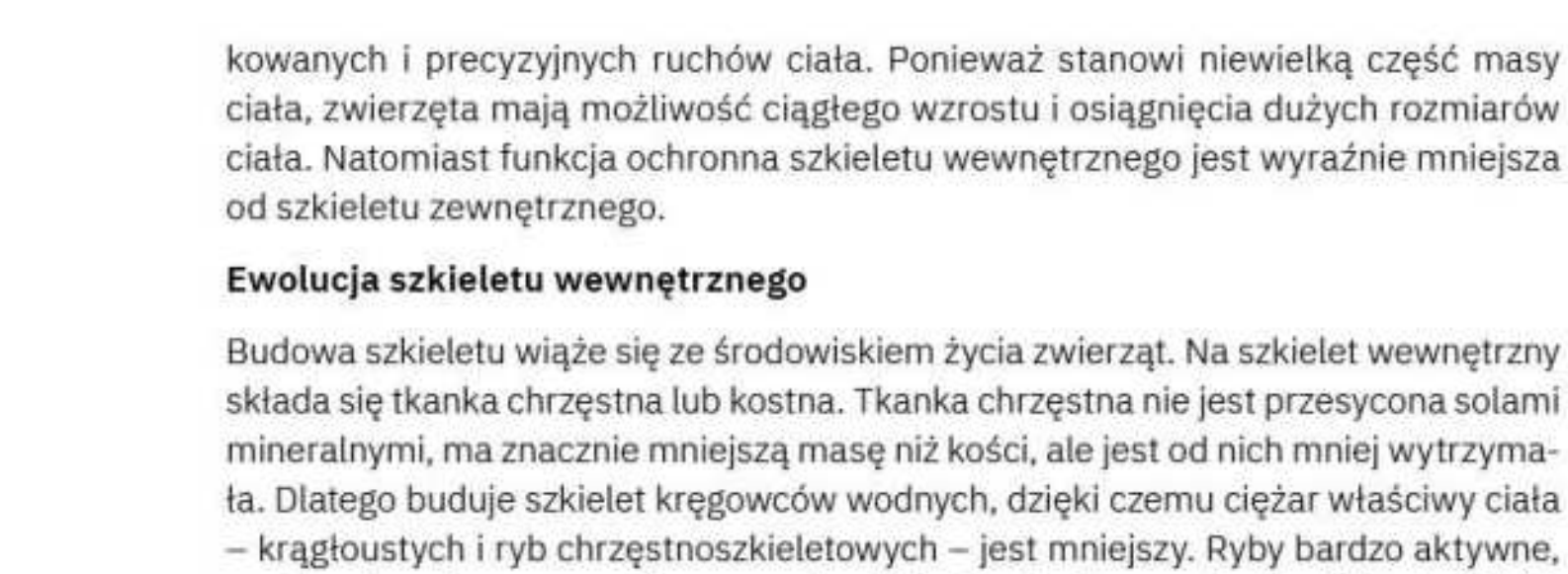
Ewolucja szkieletu wewnętrznego

Budowa szkieletu wiąże się ze środowiskiem życia zwierząt. Na szkielet wewnętrzny składa się tkanka chrzęstna lub kostna. Tkanka chrzęstna nie jest przesycona solami mineralnymi, ma znacznie mniejszą masę niż kości, ale jest od nich mniej wytrzymała. Dlatego buduje szkielet kręgowców wodnych, dzięki czemu ciężar właściwy ciała – krągłoustych i ryb chrzęstnoszkieletowych – jest mniejszy. Ryby bardzo aktywne, szybko pływające wymagają mocnych szkieletów zbudowanych z tkanki kostnej, która powstaje z wysycenia szkieletu chrzęstnego solami mineralnymi (ryby kostnoszkieletowe).

Zwierzęta lądowe, żyjące w środowisku o mniejszej gęstości w porównaniu z wodą, muszą pokonać wynikające z tego trudności. Wzrastający ciężar ciała wymaga solidnego i wytrzymałego szkieletu. Takie wymogi spełnia tkanka kostna, która staje się głównym budulcem szkieletu kręgowców lądowych.

Szkielet wewnętrzny rozwinął się w procesie ewolucji z przekształcenia struny grzbietowej. **Struna grzbietowa** powstaje w rozwoju zarodkowym wszystkich strunowców. Jako szkielet wewnętrzny zachowała się u dorosłych bezczaszkowców i larw osłonic. U dorosłych kręgowców – ryb i płazów – struna grzbietowa uległa dalszej redukcji do postaci szczątkowej między trzonami kręgów, a u dorosłych owodniowców zachowała się tylko w jądrach miażdżystych krążków międzykręgowych. U kręgowców została stopniowo zastąpiona przez **kręgosłup chrzęstny** lub **kostny**.

struna grzbietowa



Ryc. II.30.1. Części szkieletu wewnętrznego.

Czaszka

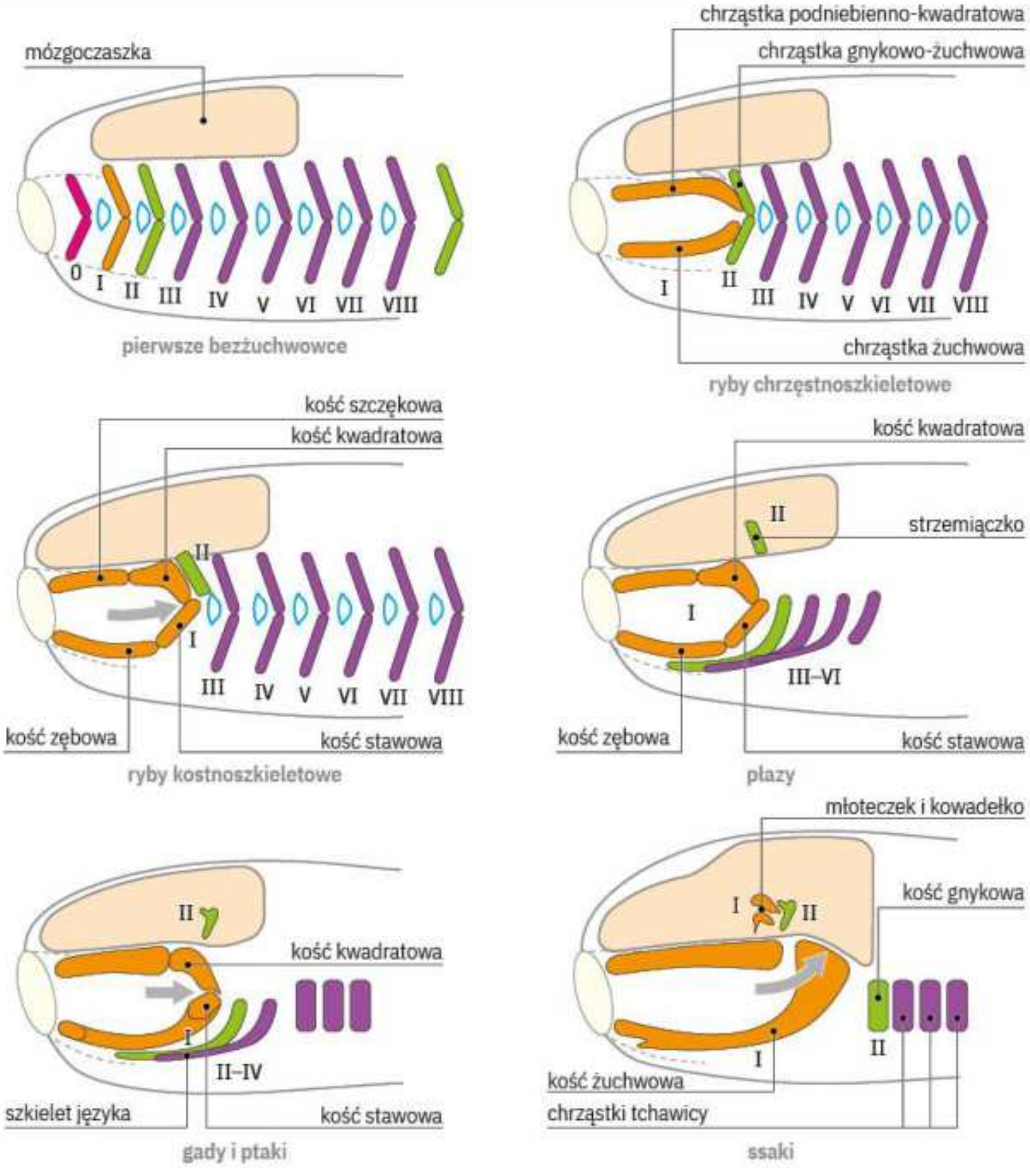
czaszka

Czaszka większości kręgowców składa się z **mózgoczaszki** osłaniającej mózg i narządy zmysłów oraz **trzewioczaszki**, która stanowi podporę i ochronę dla początkowych odcinków układu pokarmowego i oddechowego. U krągłoustych czaszka

jest zbudowana tylko z puszki mózgowej osłaniającej mózg z dołu i boków. W dalszych grupach kręgowców mózgoczaszka rozrosła się, a jej elementy chrzęstne przekształciły się stopniowo w kostne. Obserwujemy to u ryb kostnoszkieletowych i płazów. U owodniowców mózgoczaszka składa się wyłącznie z kości, które u ptaków i ssaków stopniowo się zrastają. Mózgoczaszka szczególnie rozrosła się u ssaków, często przerasta swoją objętością trzewioczaszkę.

Trzewioczaszka początkowo była zbudowana wyłącznie z **łuków skrzelowych**, które w trakcie rozwoju ewolucyjnego przekształciły się w struktury pełniące różne funkcje.

◂ **łuki skrzelowe**



Ryc. II.30.2. Schemat ewolucji szkieletu trzewioczaszki kręgowców.

U krągłoustych zachowało się osiem par chrzęstnych łuków skrzelowych, które tworzą szkielet podtrzymujący skrzela. **U ryb** pierwsza para łuków skrzelowych przekształciła się w **aparat szczękowy,** a druga utworzyła łuk **gnykowo-żuchwowy**, który łączy szczęki z mózgoczaszką. U ryb chrzęstnoszkieletowych funkcjonuje pięć par łuków skrzelowych, będących rusztowaniem dla skrzeli. Szczęka górna tych ryb powstała z chrząstki podniebienno-kwadratowej, a szczęka dolna – z chrząstki żuchwowej. Ryby kostnoszkieletowe mają cztery pary łuków skrzelowych. Szczękę górną tworzy kość podniebienno-kwadratowa, a dolna składa się z kości stawowej i zębowej.

U następnych grup kręgowców łuki skrzelowe uległy dalszej redukcji. Wiązało się to z przejściem do lądowego trybu życia. Kręgowce żyjące na lądzie oddychają płucami, w związku z tym redukują się łuki skrzelowe, które u zwierząt wodnych stanowiły rusztowanie skrzeli. Na lądzie z powodu mniejszej gęstości ośrodka do odbierania dźwięków konieczne jest wytworzenie odpowiednich struktur ułatwiających przekazywanie dźwięków do ucha wewnętrznego. Z łuków skrzelowych utworzyły się szkielet języka oraz elementy krtani i tchawicy. Nastąpił dalszy rozwój łuku gnykowo-żuchwowego.

U płazów trzewioczaszkę z mózgoczaszką łączy pierwszy łuk skrzelowy. Z górnej części chrząstki gnykowo-żuchwowej powstało **strzemiączko,** czyli jedna z trzech kosteczek słuchowych wchodzących w skład ucha środkowego. Z dolnej części II łuku skrzelowego zrośniętego z pozostałościami III i IV łuku powstał **szkielet języka**.

U gadów i ptaków kość kwadratowa tworzy z kością stawową **staw żuchwowy**. Łuki VI i VII pary budują chrzęstny **szkielet krtani i tchawicy**.

U ssaków powstały kolejne kosteczki słuchowe ucha środkowego: **kowadełko** z kości kwadratowej (część szczęki górnej) i **młoteczek** z kości stawowej (część szczęki dolnej). Z połączenia kości zębowej z kością skroniową utworzył się **wtórny staw żuchwowy**. Dolna część II łuku skrzelowego przekształciła się w **kość gnykową,** a pozostałe łuki skrzelowe zbudowały chrząstki krtani i tchawicy.

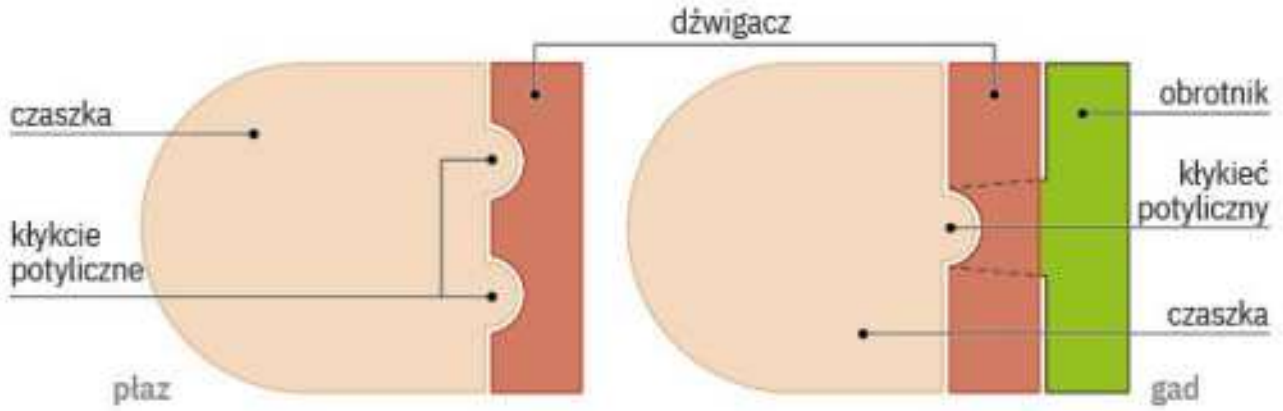
Sposób połączenia czaszki z kręgosłupem wiąże się ze środowiskiem życia zwierząt. U kręgowców wodnych, np. u ryb, czaszka łączy się nieruchomo, więc zwierzęta nie mogą poruszać głową na boki, co zmniejsza opór wody.

U kręgowców lądowych połączenie czaszki z kręgosłupem jest ruchome. Od płazów obserwuje się stopniową ewolucję, aż do osiągnięcia pełnego zakresu ruchów. Dzięki takiemu połączeniu zwierzęta zyskały dobrą orientację w środowisku, opanowały nowe biotopy, mogą ochronić się przed atakiem drapieżnika, a także łatwiej znaleźć pokarm.

U płazów, zwierząt wodno-lądowych, czaszka jest ruchomo połączona z kręgosłupem za pomocą dwóch wyrostków – **kłykci potylicznych**, które wchodzą w zagłębienia pierwszego kręgu szyjnego. Pozwala to na ruch głowy tylko w płaszczyźnie pionowej (ruchy góra – dół), a także podczas pływania – wystawianie głowy nad wodę.

U gadów czaszka łączy się z kręgosłupem za pomocą jednego kłykcia potylicznego. Wchodzi on w zagłębienie pierwszego kręgu szyjnego **dźwigacza**. Natomiast wyrostek trzonu drugiego kręgu – **obrotnika** – wchodzi w zagłębienie trzonu dźwigacza.

Takie połączenie czaszki z kręgosłupem znacznie zwiększa sprawność ruchów głowy gadów w porównaniu do płazów (**ryc. II.30.3.**).



Ryc. II.30.3. Schemat porównania połączenia czaszki płaza i gada z kręgosłupem.

U ptaków pomimo podobnego do gadów połączenia czaszki z kręgosłupem, ruchliwość głowy jest znacznie większa. Wynika to z większej liczby kręgów szyjnych ptaków.

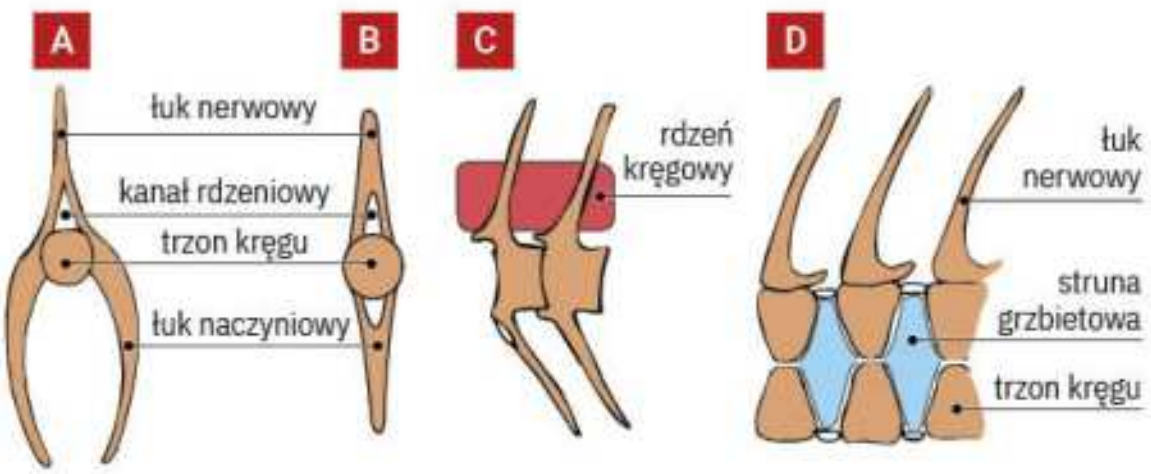
Czaszka ssaków łączy się z kręgosłupem za pomocą dwóch kłykci potylicznych – podobnie jak u płazów. Pełną ruchliwość, czyli wykonywanie ruchów głową na boki, umożliwia połączenie między pierwszym kręgiem kręgosłupa – atlasem – a drugim – obrotnikiem.

Szkielet osiowy

◂ szkielet osiowy

Z wyjątkiem krągłoustych kręgosłup wchodzi w skład szkieletu osiowego wszystkich kręgowców. Budują go kręgi, których liczba, kształt i wielkość są różne u poszczególnych grup zwierząt.

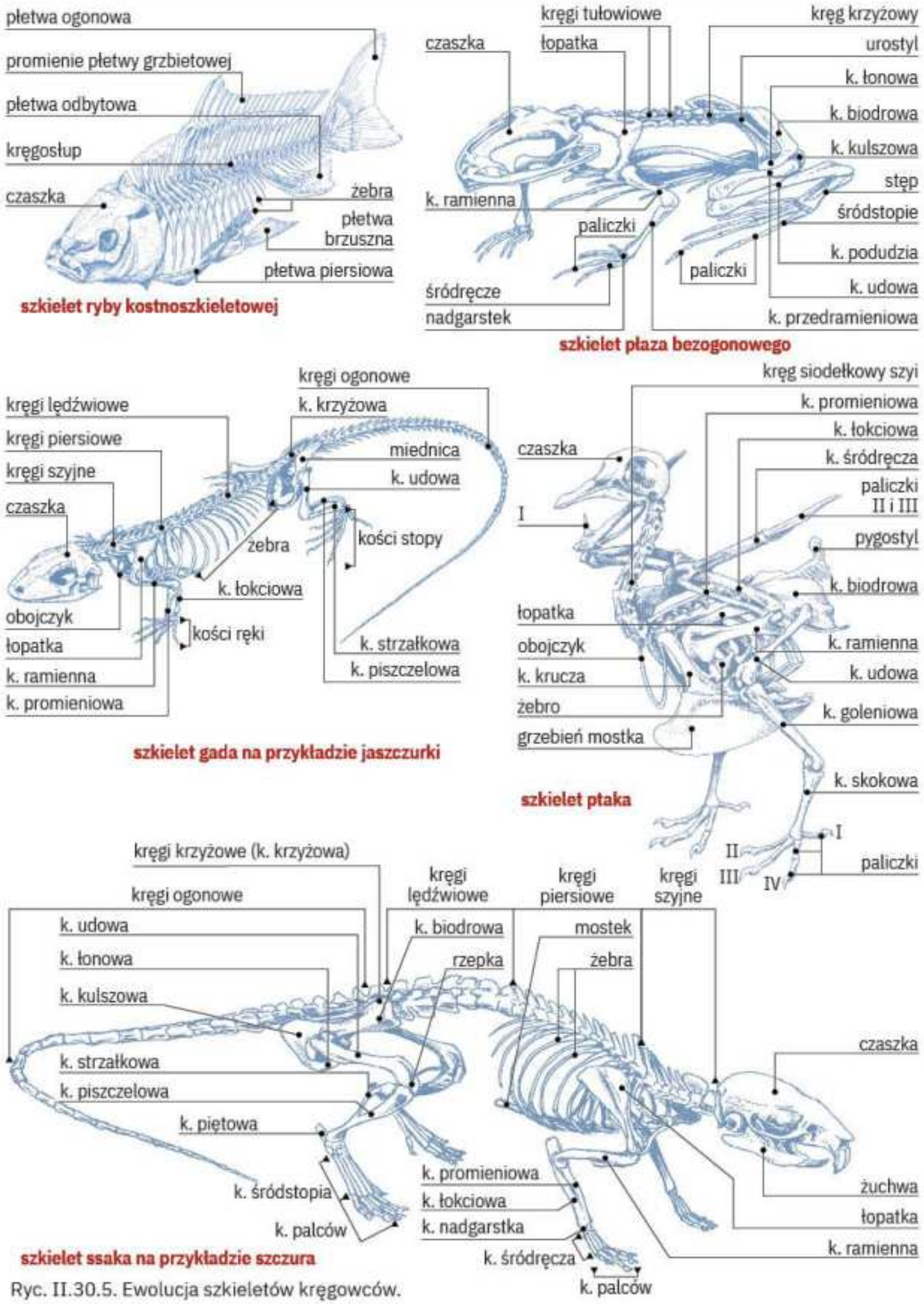
Typowy kręg jest zbudowany z trzonu oraz dwóch par łuków: po stronie grzbietowej nerwowych, po stronie brzusznej naczyniowych. Kręgi nerwowe na całej długości kręgosłupa zrastają się, tworząc kanał rdzenia kręgowego. Między trzonami kręgów znajdują się pozostałości struny grzbietowej (**ryc. II.30.4.**).



Ryc. II.30.4. Budowa kręgu tułowiowego (A) i ogonowego ryb (B), położenie rdzenia kręgowego (C), położenie struny grzbietowej (przekrój przez kręgi, D). Łuki kręgów po stronie grzbietowej tworzą kanał, przez który przebiega rdzeń kręgowy.

Dalsza ewolucja kręgów u lądowych kręgowców doprowadziła do wykształcenia masywnych trzonów oraz silnie wykształconych i zróżnicowanych łuków kręgowych w zależności od ich położenia w kręgosłupie.

Kręgosłup jest zróżnicowany na odcinki, których liczba jest różna u poszczególnych grup kręgowców (**ryc. II.30.5.**).



Ryc. II.30.5. Ewolucja szkieletów kręgowców.

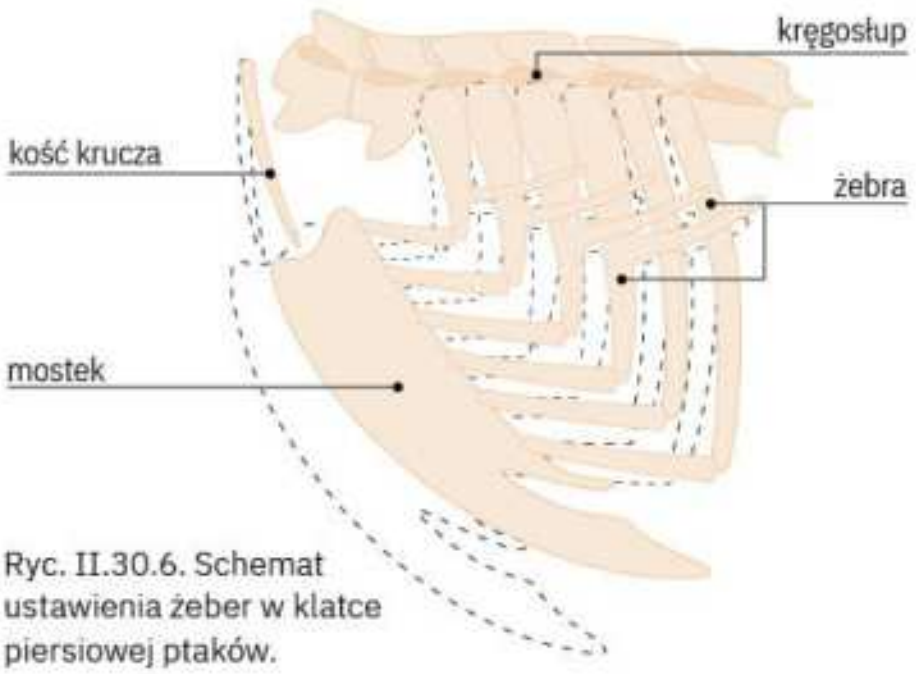
U ryb kręgosłup składa się z odcinka tułowiowego i ogonowego, zbudowanych z wielu kręgów. Kręgi tułowiowe są połączone z żebrami. U ryb nie występuje mostek. W szkielecie wielu ryb występują skostnienia międzymięśniowej tkanki łącznej – ości. Dzięki ich obecności elastyczność ciała ryb jest większa.

U kręgowców lądowych wyróżnia się pięć odcinków w kręgosłupie: szyjny, piersiowy, lędźwiowy, krzyżowy i ogonowy. Liczba kręgów budujących te odcinki różni się u poszczególnych grup kręgowców (**tab. II.30.1.**). Także same odcinki mogą się zrastać lub łączyć, co wiąże się z przystosowaniem do życia w środowisku. Przykładem są ptaki, w kręgosłupie których najbardziej ruchliwym odcinkiem jest odcinek szyjny. Odcinek piersiowy i lędźwiowo-krzyżowy zrosły się ze sobą, usztywniając ciało, co jest niezwykle istotne podczas lokomocji w powietrzu.

Tab. II.30.1. Porównanie odcinków kręgosłupa kręgowców lądowych

Gromada	Odcinki kręgosłupa				
	szyjny	piersiowy	lędźwiowy	krzyżowy	ogonowy
	liczba kręgów				
płazy	1 (atlas)	różna (bezogonowe 7, beznogie ok. 100)	0	1 (brak u płazów beznogich)	różna (bezogonowe zrastają się w jedną kość ogonową – urostyl)
gady	8 (I – dźwigacz, II – obrotnik)	piersiowo-lędźwiowy 22		2	różna
ptaki	8–25 (I – dźwigacz, II – obrotnik)	3–10	lędźwiowo-krzyżowy 10–22		różna, cztery ostatnie zrośnięte w kość ogonową – pygostyl
ssaki	7 (I – dźwigacz, II – obrotnik)	12–15	2–9	1–13	różna (3–49)

Od kręgów odchodzą **żebra**. Poza płazami, u których żebra nie występują lub są bardzo krótkie i nie sięgają mostka, u pozostałych kręgowców żebra są rozwinięte. Łączą się z kręgami w odcinku piersiowym kręgosłupa. U ptaków żebra składają się z dwóch odcinków złączonych pod kątem prostym i są zaopatrzone w haczykowate wyrostki. Obie części są ruchome względem siebie, co zabezpiecza je przed złamaniem podczas lotu (**ryc. II.30.6.**).



Ryc. II.30.6. Schemat ustawienia żeber w klatce piersiowej ptaków.

U ssaków żebra są połączone stawowo z kręgami piersiowymi. U niektórych ssaków, np. stekowców czy leniwców, występują wolne żebra szyjne.

mostek ▸ **Mostek** leży po brzusznej stronie ciała w okolicy piersiowej i obustronnie się łączy z żebrami, zamykając klatkę piersiową. Z przodu wiąże się z obręczą barkową. Mostek zanika w związku z redukcją kończyn. Nie występuje u płazów beznogich, węży, beznogich jaszczurek, a także u żółwi, których ciało pokrywa pancerz. U ptaków latających oraz nietoperzy mostek jest zaopatrzony w **grzebień**, stanowiący miejsce przyczepu mięśni poruszających skrzydłami.

klatka piersiowa ▸ **Klatkę piersiową** budują kręgi piersiowe, żebra i mostek. Jest częścią szkieletu charakterystyczną dla owodniowców. Stanowi podporę dla obręczy barkowej i przednich kończyn, co jest szczególnie ważne przy szybkim i długotrwałym przemieszczaniu się. Nie występuje u płazów, które słabo poruszają się na lądzie. Klatka piersiowa dzięki ruchomemu zestawieniu swoich elementów zwiększa i zmniejsza pojemność jamy ciała, co owodniowce wykorzystały do oddychania. U płazów niemających klatki piersiowej mechanizm oddychania jest inny.

Budowa szkieletu kończyn oraz obręczy wiąże się ze środowiskiem życia, a tym samym ze sposobem lokomocji. Początkowo u kręgowców pierwotnie wodnych głównym motorem napędowym był ogon. Jego ruchy przenosiły napęd na tułów nieruchomo połączony z głową. Płetwy parzyste stabilizowały ruch w wodzie.

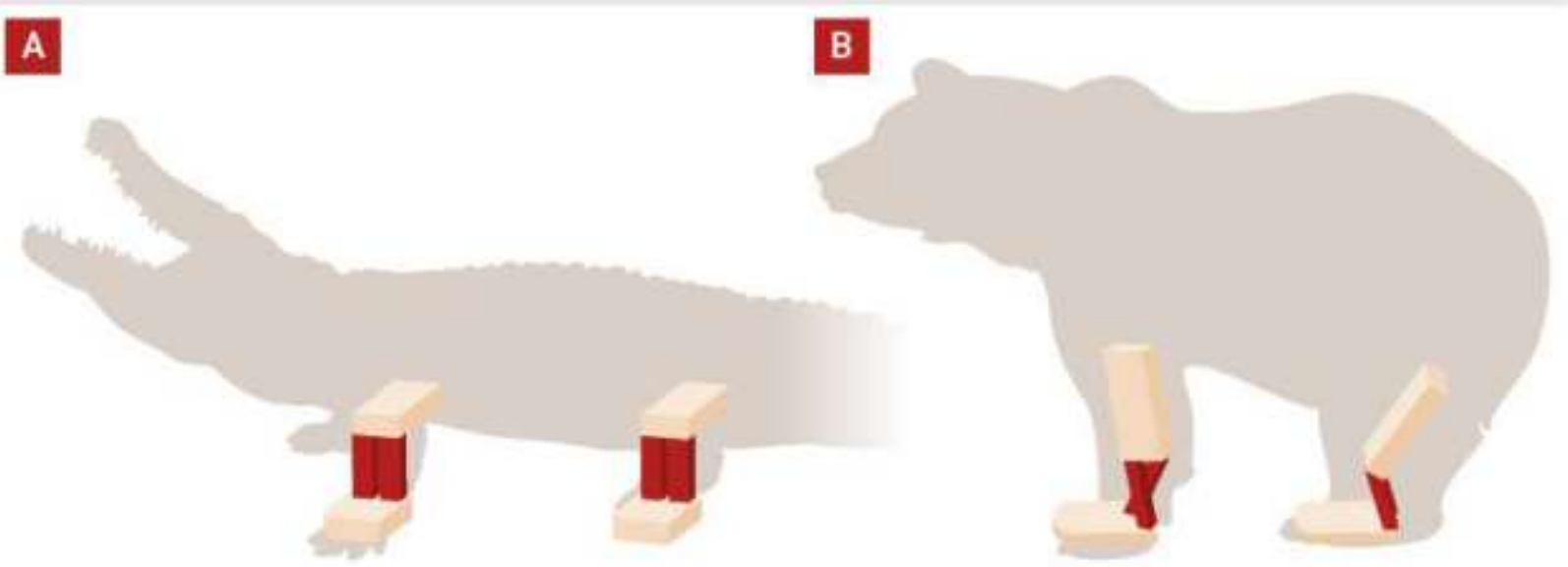
płetwy ▸ **Płetwy** u współczesnych ryb i krągłoustych służą do poruszania się. Są to fałdy skórne rozpięte na kostnych promieniach. Do płetw **parzystych** (brak u krągłoustych) należą **piersiowe** i **brzuszne,** a do **nieparzystych** – **grzbietowa, ogonowa i odbytowa**. U większości ryb organem lokomocji jest silnie wykształcona **płetwa ogonowa**, której symetria, ustawienie względem ciała, ma ścisły związek z mechanizmem ruchu u ryb (**ryc. II.30.7.**).Płetwy parzyste pomagają przy sterowaniu i powolnej lokomocji ryby do przodu.

Ryc. II.30.7. Zróżnicowanie płetw ogonowych u ryb: symetryczna (A), niesymetryczna (B), zewnętrznie symetryczna (C). Płetwa niesymetryczna występuje u rekinów. Jej górna część wnika w kręgosłup, co pozwala na unoszenie przodu ciała do góry.

Ryby trzonopłetwe, których jedynym obecnie żyjącym gatunkiem jest latimeria, używają płetw zarówno do pływania, jak i do przemieszczania się po mieliznach. Nowa funkcja płetw wiązała się ze środowiskiem życia ryb trzonopłetwych, które zamieszkiwały prawdopodobnie płytkie, muliste i często wysychające zbiorniki wodne. W takich warunkach zdolność przemieszczania się zapewniały tym zwierzętom **trzonkowate płetwy**. Prawdopodobnie w procesie ewolucji kończyn płetwy ryb trzonopłetwych dały początek kończynom kręgowców lądowych. Istotną cechą płetw latimerii jest ruchomość w stawie barkowym oraz silne umięśnienie. Plan budowy szkieletu tych ryb jest podobny do planu budowy szkieletu kończyn kręgowców lądowych.

W wyniku wyjścia kręgowców na ląd ogon nie spełnia już funkcji lokomocyjnej. Została ona przejęta przez układ szkieletowo-mięśniowy kończyn tylnych, połączonych z odcinkiem krzyżowym kręgosłupa. Kończyny przednie są słabiej rozwinięte i pełnią głównie funkcje podporowe. W sposobie ustawienia kończyn kręgowców lądowych zaznaczyły się dwie tendencje wynikające ze sposobu lokomocji:

- U płazów i gadów poruszanie polega na wyginaniu ciała na boki oraz jednoczesnym popychaniu rozstawionymi i wspartymi o podłoże kończynami. Ruch jest wspomagany przez jeszcze silnie wykształcony, długi i umięśniony ogon. Taki sposób poruszania wymaga dużej giętkości i elastyczności kręgosłupa. Niektóre grupy, takie jak: płazy beznogie, węże, niektóre jaszczurki, ulepszyły ten sposób poruszania przez redukcję kończyn, zanik zróżnicowania kręgosłupa na odcinki, zwiększenie ruchomości między stawami.
- W dalszym rozwoju ewolucyjnym nastąpiło podsunięcie kończyn pod tułów. Zostały do tego wykorzystane właściwości podporowe szkieletu. Zmieniło się położenie stawów – łokciowy został zwrócony do tyłu, a kolanowy – do przodu. Zmiany te doprowadziły do usprawnienia lokomocji (**ryc. II.30.8.**).



Ryc. II.30.8. Ustawienie kończyn u gadów (A) i ssaków (B).

Oparciem dla kończyn przednich i tylnych są **obręcze kostne**: **barkowe** i **miednicowe**. Krągłouste nie mają obręczy. Natomiast szkielet płetw parzystych ryb jest osadzony na obręczy barkowej i miednicowej. Obręcz barkowa zrośnięta

obręcz barkowa i miednicowa

z mózgoczaszką składa się z parzystych kości **kruczych, łopatek i kości skoblowych**. Stanowi oparcie dla płetw piersiowych. Obręcz miednicowa jest słabo wykształcona i niezwiązana z kręgosłupem. Składa się z dwóch zrośniętych kości bezimiennych.

U kręgowców lądowych obręcz barkowa traci połączenie z czaszką i łączy się z kręgosłupem. Nastąpiło to w wyniku wyodrębnienia się odcinka szyjnego w kręgosłupie. W skład obręczy barkowej kręgowców lądowych wchodzą pary następujących kości: **obojczyki, kości krucze i łopatki**. W zależności od sposobu lokomocji poszczególne elementy obręczy są różnie wykształcone. Zwierzęta mające kończyny grzebne, chwytne czy lotne, którymi wykonują ruchy w wielu płaszczyznach, mają dobrze wykształcone obojczyki. Zwierzęta wykonujące kończynami ruchy wahadłowe, np. ptaki nieloty, niektóre torbacze, drapieżne czy kopytne, mają obojczyki zredukowane. **Kość krzyżowa** łącząca łopatkę z mostkiem utrzymuje obręcz barkową w stałej pozycji i odpowiada za przenoszenie ucisku kończyny na klatkę piersiową. Występuje w obręczy barkowej u płazów, gadów

wyrostek kruczy ▸ i ptaków. Natomiast u ssaków zrosła się z łopatką, tworząc tzw. **wyrostek kruczy**. Wyjątek stanowią stekowce, u których kość krucza się zachowała. U większości węży w związku z redukcją kończyn i sposobem lokomocji obręcz barkowa uległa silnej redukcji.

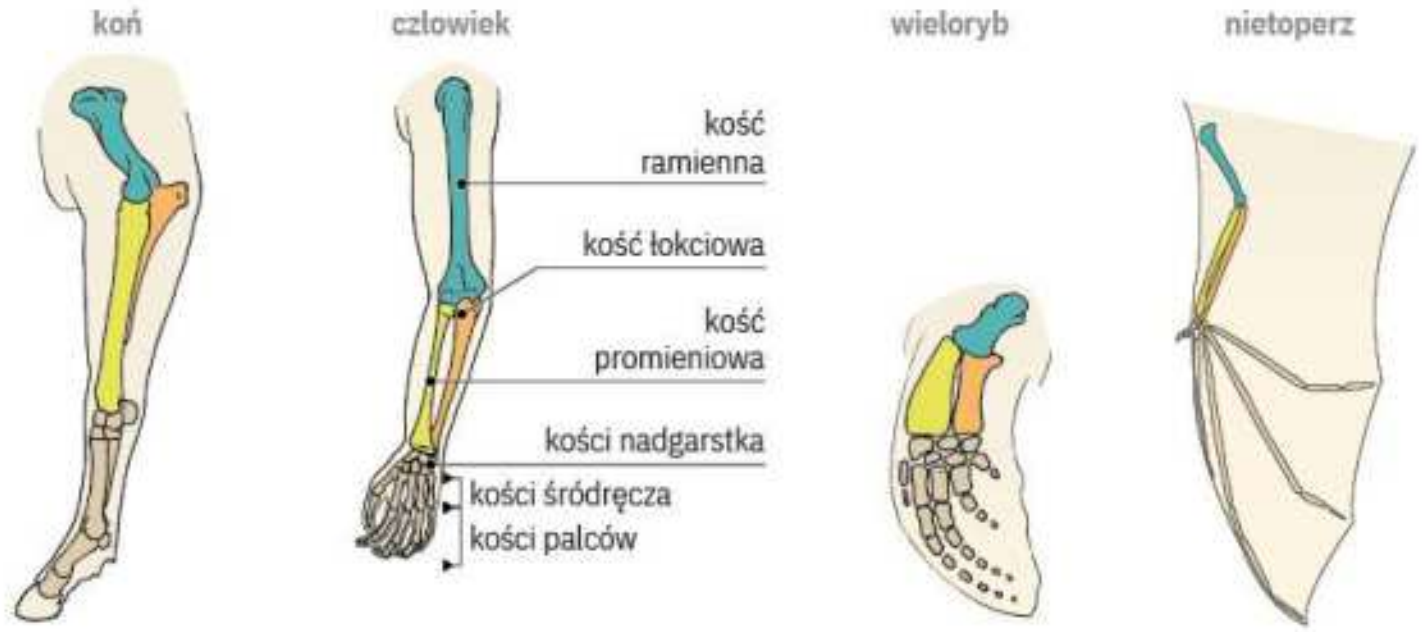
U kręgowców lądowych **obręcz miednicowa** rozrosła się i połączyła się z kręgosłupem. Wynika to z lokomocji na lądzie, która wymusza konieczność utrzymania właściwego położenia ciała. W skład obręczy miednicowej wchodzą trzy pary **kości: biodrowe, łonowe i kulszowe**. U niektórych gadów i większości ssaków kości łonowe połączyły się za pomocą chrząstki w zamkniętą obręcz. Natomiast u ptaków kości łonowe nie zrosły się i utworzyły **miednicę otwartą**. Pozwala ona na składanie dużych jaj. Obręcz miednicowa nie występuje u zwierząt, u których nastąpiła redukcja lub zanik kończyn, np. u węży, jaszczurek beznogich, waleni i syren.

kończyny kręgowców ▸ **Kończyny kręgowców** lądowych są zbudowane według tego samego schematu.

U płazów **kości przedramienia: łokciowa i promieniowa,** oraz **kości podudzia: piszczel i strzałka,** są zrośnięte. W kończynie górnej występują cztery palce, a w tylnej – pięć. Staw łokciowy i kolanowy są zwrócone na boki ciała.

U gadów kości przedramienia i podudzia są wyodrębnione. U ptaków kończyna górna przekształciła się w skrzydło, a w dolnej dobrze rozwinęła się kość piszczelowa (goleniowa). W szkielecie kończyny dolnej ptaka znajduje się kość skokowa powstała ze zrośnięcia się kości stopy i części śródstopia.

U ssaków w związku z przystosowaniem do trybu życia nastąpiła specjalizacja kończyn (grzebne, płetwowate, kroczne, chwytne) i modyfikacja szkieletów (**ryc. II.30.9.**).



Ryc. II.30.9. Modyfikacje kończyn u ssaków: koń – kończyna kroczna, człowiek – kończyna górna, wieloryb – kończyna pływna, nietoperz – kończyna lotna.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Przedstaw różnice w funkcjonowaniu szkieletu wewnętrznego i zewnętrznego.
2. Omów funkcje, jakie spełnia szkielet hydrauliczny w życiu zwierząt.
3. Wyjaśnij znaczenie ewolucji trzewioczaszki w rozwoju szkieletu krtani i tchawicy.

PODSUMOWANIE LEKCJI

- W procesie **ewolucji** zwierząt komórki mięśniowe wykształciły się z komórek nabłonkowo-mięśniowych. s. 346
- **Skurcz komórek mięśniowych** następuje w wyniku przesuwania się względem siebie filamentów aktynowych i miozynowych. s. 346
- Główne rodzaje mięśni występujące u zwierząt to mięśnie **gładkie i poprzecznie prążkowane**. s. 347
- Mięśnie wraz ze **szkieletem** tworzą układ ruchu pozwalający na lokomocję zwierząt. s. 347
- Zwierzęta mają **szkielet hydrauliczny** oraz sztywny szkielet zewnętrzny lub wewnętrzny. s. 347
- **Szkielet zewnętrzny** jest jednocześnie oskórkiem, a **wewnętrzny** jest tkankowy – chrzęstny lub kostny. s. 347
- **Szkielet osiowy** kręgowców składa się z czaszki i kręgosłupa. Czaszka jest zbudowana z mózgoczaszki i trzewioczaszki. s. 351
- W ewolucji kręgowców szczęki i kosteczki słuchowe rozwinęły się z **łuków skrzelowych**. s. 349
- **Kończyny kręgowców** lądowych powstały z płetw ryb trzonopłetwych i w wyniku ewolucji uległy specjalizacji do określonych środowisk życia. s. 356
- **Obręcz barkowa i miednicowa** stanowią oparcie dla kończyn i pośredniczą w ich połączeniu ze szkieletem osiowym. s. 355

31. Układ ruchu człowieka

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz rodzaje kości;
- nauczysz się rozpoznawać różne rodzaje połączeń kości i określać ich funkcje;
- opiszesz współdziałanie mięśni, ścięgien, stawów i kości w ruchu;
- dowiesz się, jak jest zbudowany mięsień szkieletowy.

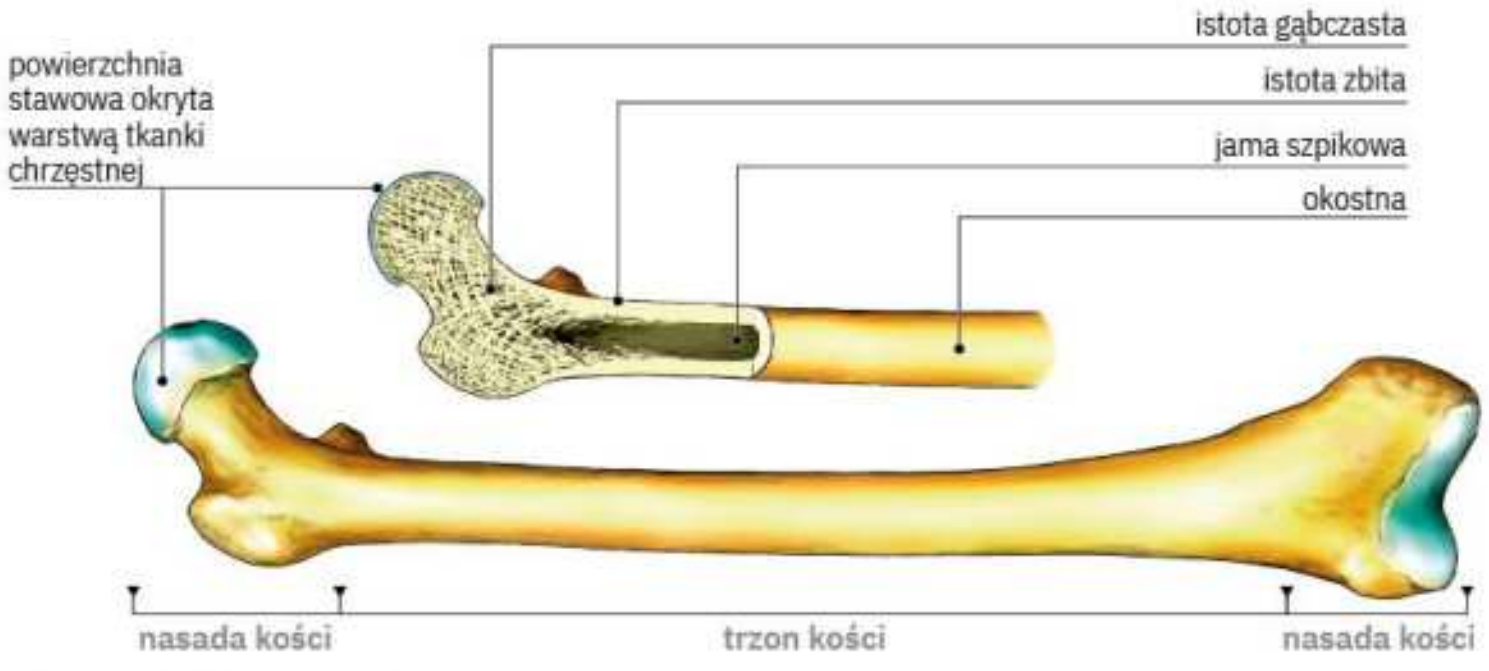
Ruch jest istotną czynnością życiową organizmu, która umożliwia reagowanie na bodźce ze środowiska.

układ ruchu ▸ **Układ ruchu człowieka** jest zbudowany z **układu szkieletowego** i **układu mięśniowego**. Układ mięśniowy stanowi część czynną aparatu ruchu, ponieważ mięśnie poruszają elementami szkieletu, który stanowi bierną część układu ruchu.

Podział i budowa kości

Szkielet dorosłego człowieka składa się z 206 kości. Podstawowym materiałem do budowy szkieletu człowieka są tkanka kostna oraz w znacznie mniejszym stopniu tkanka chrzęstna. Ze względu na kształt i długość kości dzielimy na: **długie**, **krótkie**, **płaskie** i **różnokształtne**.

kości długie ▸ **Kości długie**, których długość jest większa od szerokości, są zbudowane ze sztywnego trzonu znajdującego się pośrodku i sprężystych nasad na obydwu końcach. Wewnątrz trzonu znajduje się jama szpikowa, wypełniona szpikiem żółtym, który nie spełnia funkcji krwiotwórczych (**ryc. II.31.1.**).



Ryc. II.31.1. Przekrój przez kość długą.

Na zewnątrz kość pokrywa łącznotkankowa błona – okostna – zaopatrzona w liczne naczynia krwionośne i nerwy. Do jej zadań należą zaopatrywanie kości w tlen i składniki odżywcze oraz uczestnictwo w procesach regeneracyjnych. Kości długie występują głównie w kończynach, np. kość ramienna, łokciowa, promieniowa, udowa, piszczel i strzałka. Stanowią one podporę ciała. W **kościach krótkich** wszystkie trzy wymiary są do siebie zbliżone. Do tych kości należą kości nadgarstka oraz stępu. Odpowiadają one za precyzyjne i złożone ruchy. Następną grupę stanowią **kości płaskie**, których długość i szerokość znacznie przekraczają ich grubość. Przykładem tych kości są kości sklepienia czaszki, kość biodrowa, łopatka, mostek. Stanowią one osłonę narządów i powierzchnię przyczepu dla mięśni. Natomiast kości o nieregularnych wymiarach, jak kręgi, kości trzewioczaszki czy kosteczki słuchowe, nazywamy **kośćmi różnokształtnymi**.

kości krótkie

kości płaskie

kości różnokształtne

Chrząstka nasadowa (między trzonem a nasadami) do 15.–18. roku życia występuje w kościach długich. Dzięki jej obecności właśnie w tym okresie życia następuje intensywny wzrost zwany skokiem pokwitania. Po zakończeniu tego okresu chrząstka kostnieje, co hamuje wzrost (ok. 19.–20. roku życia, zależnie od czynników genetycznych i płci).

Połączenia w szkielecie

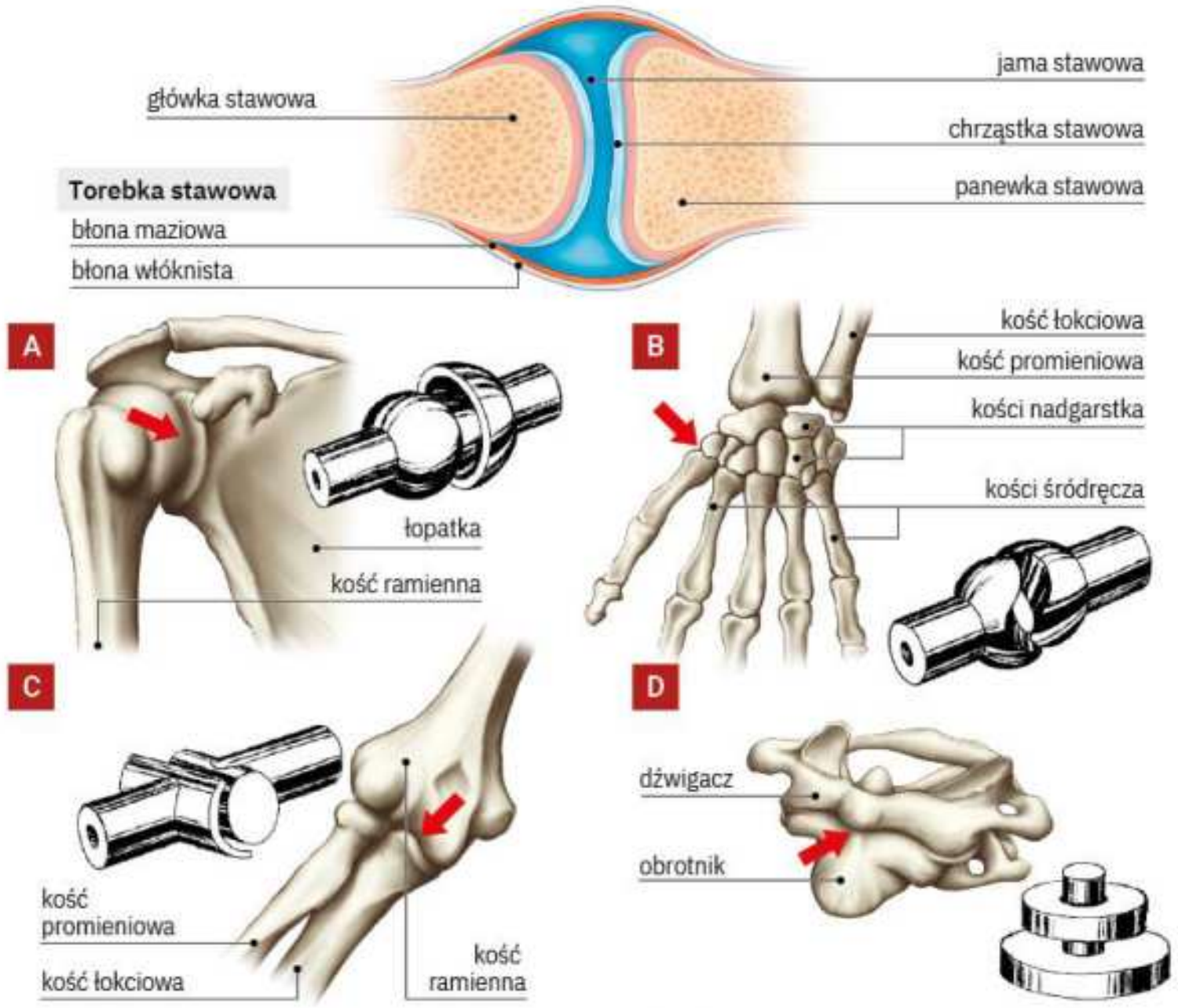
Kości w szkielecie są połączone ze sobą w sposób **ścisły** lub **ruchomy** (**ryc. II.31.2.**).

Ryc. II.31.2. Połączenia w szkielecie.

Połączenia ścisłe występują w tej części szkieletu, gdzie należy wzmocnić dość dużą jego część. Odznaczają się bardzo małą ruchomością (więzozrosty, chrząstkozrosty) lub całkowitym brakiem ruchomości (kościozrosty).

W miejscach szkieletu, które zmieniają względem siebie położenie, występują połączenia ruchome – **stawy** (**ryc. II.31.3.**).

stawy



Ryc. II.31.3. Schemat budowy stawu kulistego i rodzaje stawów: kulisty (staw ramienny, A); siodełkowy (nadgarstkowo-śródręczny kciuka, B); zawiasowy (staw łokciowy, C); obrotowy (między pierwszym a drugim kręgiem szyjnym, D).

Ponieważ stawy łączą dwie w różnym stopniu ruchome powierzchnie, są one narażone na ciągłe tarcie. Zapobiega temu odporna na ścieranie **chrząstka szklista** pokrywająca powierzchnie stawowe kości. Chrząstka stawowa ponadto amortyzuje wstrząsy i uderzenia kości podczas aktywności. Przestrzeń między kośćmi tworzy **jamę stawową** wypełnioną mazią. **Maź stawowa** zawierająca dużą ilość tłuszczów spełnia funkcję „smaru" zmniejszającego tarcie, a ponadto odżywia chrząstki stawowe. Kości w stawie otacza łącznotkankowa **torebka stawowa**, która spaja kości, chroni je przed wnikaniem substancji szkodliwych, a także zapobiega wypływaniu mazi stawowej. Stawy w poszczególnych częściach szkieletu spełniają różne funkcje i do nich przystosowały swoją budowę i ruchomość. Stawy pozwalające na ruch we wszystkich płaszczyznach (zginanie, prostowanie, podnoszenie, opuszczanie) nazywamy **wieloosiowymi**. Przykładem stawów wieloosiowych są kuliste stawy biodrowy i barkowy. Wykonywanie ruchów w dwóch płaszczyznach (prostowanie i zginanie, przywodzenie i odwodzenie) umożliwiają **stawy dwuosiowe**, np. siodełkowy staw nadgarstkowo-śródręczny kciuka czy elipsoidalny staw promieniowo-

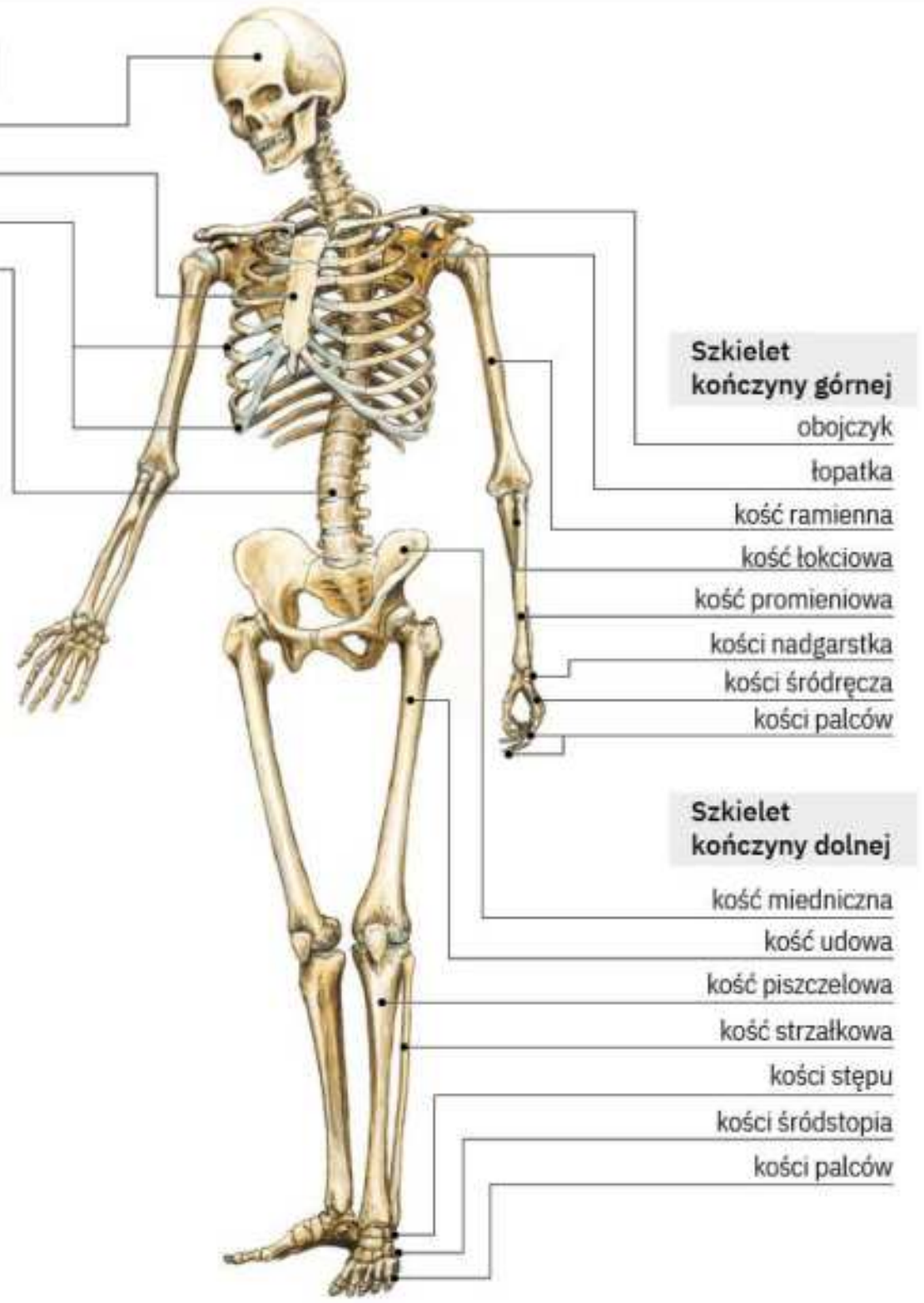
-nadgarstkowy. Najmniejszą ruchomość – tylko zginanie i prostowanie (przywodzenie i odwodzenie) – wykazują **stawy jednoosiowe**. Przykładem takich stawów jest zawiasowy staw ramienno-łokciowy czy obrotowy staw między pierwszymi kręgami kręgosłupa.

Budowa szkieletu człowieka

Szkielet człowieka spełnia szereg istotnych funkcji. Przede wszystkim stanowi podporę dla całego organizmu i miejsce przyczepu mięśni. Ponadto szkielet (czaszka, klatka piersiowa) chroni narządy przed urazami mechanicznymi, magazynuje wapń (w kościach) i jest narządem krwiotwórczym (czerwony szpik kostny).

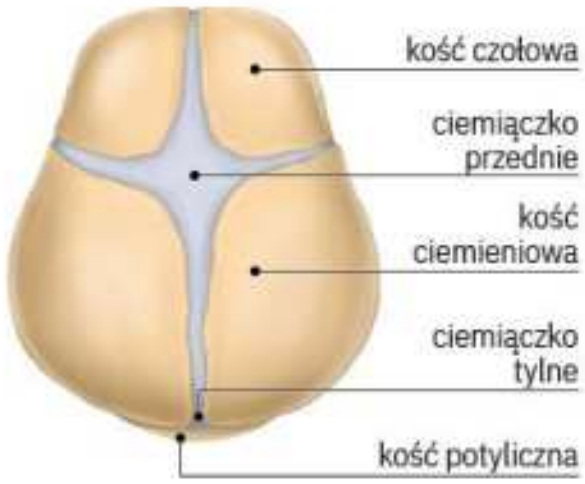
szkielet osiowy i kończyn

Szkielet człowieka składa się z dwóch części: **szkieletu osiowego** oraz **szkieletu kończyn górnych** i **dolnych** wraz z ich **obręczami**. Szkielet osiowy tworzą: czaszka, kręgosłup, żebra oraz mostek (**ryc. II.31.4.**).



Ryc. II.31.4. Szkielet człowieka.

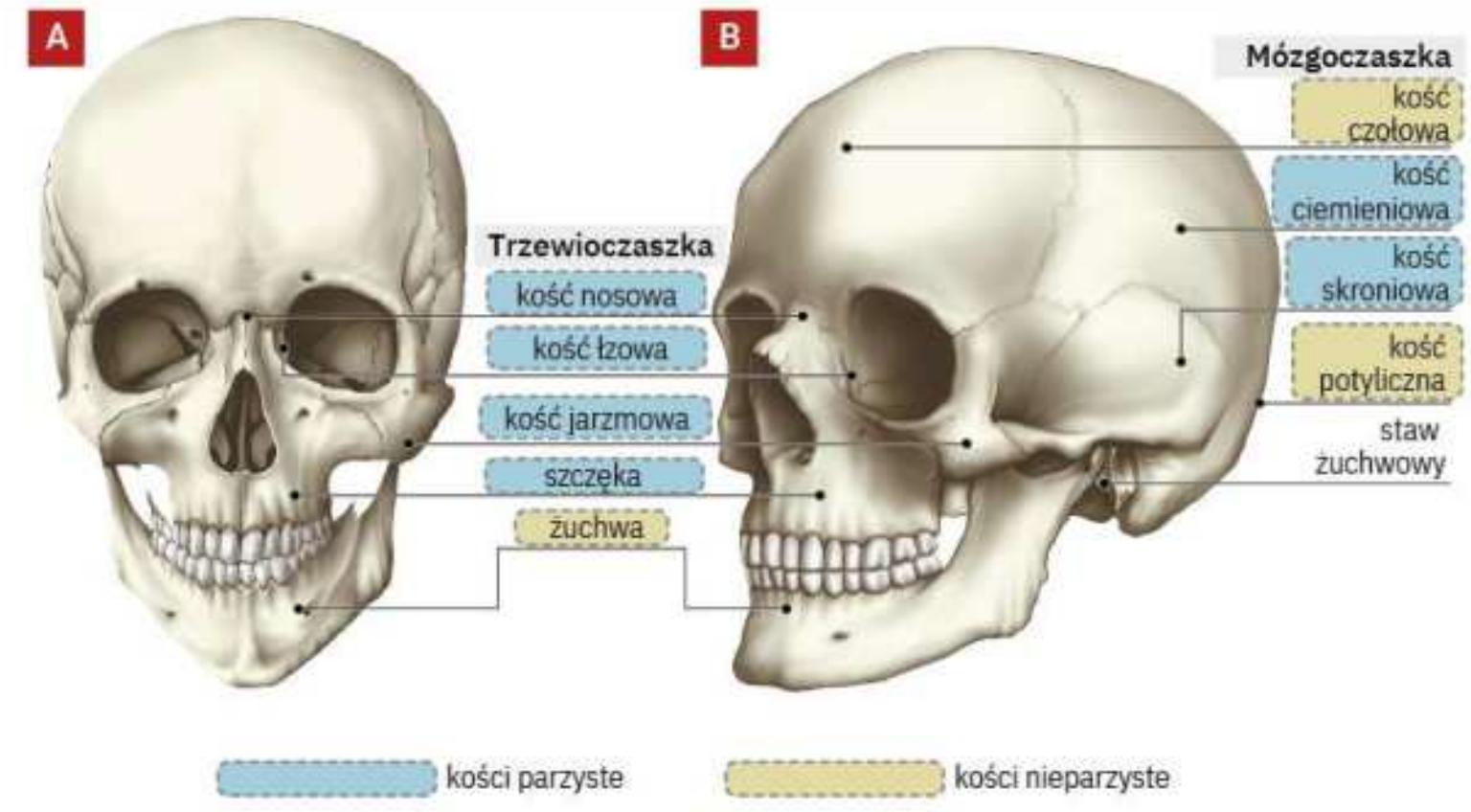
Czaszka



Ryc. II.31.5. W okresie noworodkowym i niemowlęcym kości czaszki nie są ze sobą bezpośrednio połączone, tworzą tzw. ciemiączka, co ułatwia przejście główki dziecka przez kanał rodny podczas porodu, a także dalszy wzrost i rozwój mózgowia.

Wzrost czaszki zachodzi podczas życia płodowego i przez krótki okres po urodzeniu. Kości czaszki są połączone łącznotkankowymi ciemiączkami (umożliwiającymi przejście główki dziecka przez kanał rodny podczas porodu), które w ciągu pierwszych kilku lat życia ulegają kostnieniu. Wiąże się to z funkcją ochrony mózgu przez **mózgoczaszkę** (**ryc. II.31.5.**).

Druga część czaszki – **trzewioczaszka** – ochrania początkowe odcinki dróg pokarmowych, a także narządy zmysłów (wzrok, smak, węch). Mózgoczaszkę i trzewioczaszkę budują parzyste oraz nieparzyste kości (**ryc. II.31.6.**).

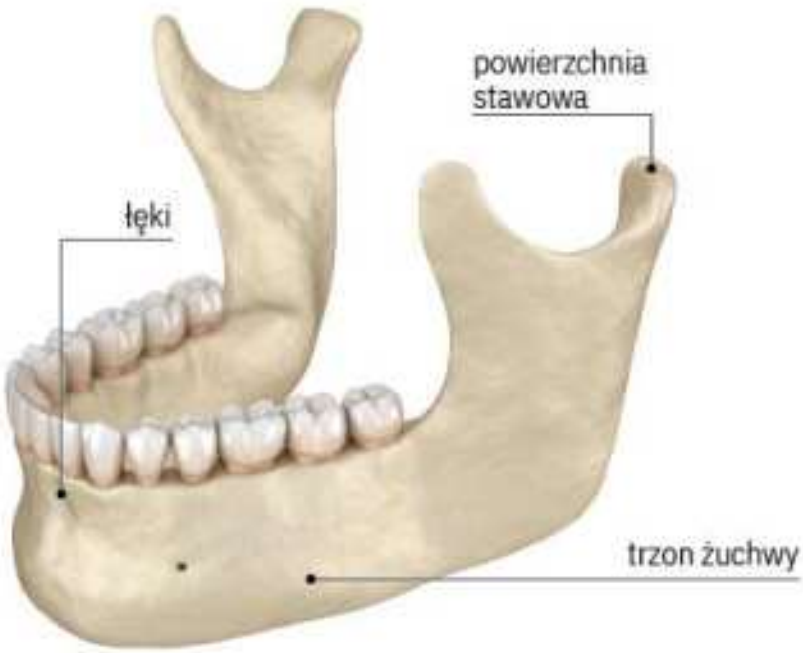


Ryc. II.31.6. Budowa czaszki.

Mózgoczaszkę współtworzą m.in. kość czołowa (w której znajdują się puste przestrzenie zwane zatokami czołowymi) chroniąca z przodu mózgowie i budująca oczodoły, dwie kości ciemieniowe, dwie kości skroniowe oraz kość potyliczna. Kości skroniowe stanowią ochronę dla mózgowia (po bokach) oraz narządu słuchu i równowagi. W podstawie kości potylicznej występuje otwór potyliczny wielki, przez który jama mózgoczaszki łączy się z kanałem rdzenia kręgowego. Po obydwu

jego stronach znajdują się kłykcie potyliczne. Są to wyrostki łączące czaszkę z kręgosłupem (dokładnie z pierwszym kręgiem szyjnym).

Trzewioczaszka składa się m.in. z parzystych kości szczękowych, nosowych i jarzmowych Jedyną ruchomą część czaszki stanowi **żuchwa**. Jest ona połączona stawowo z kością skroniową (stawem żuchwowo-skroniowym) (**ryc. II.31.7.**).

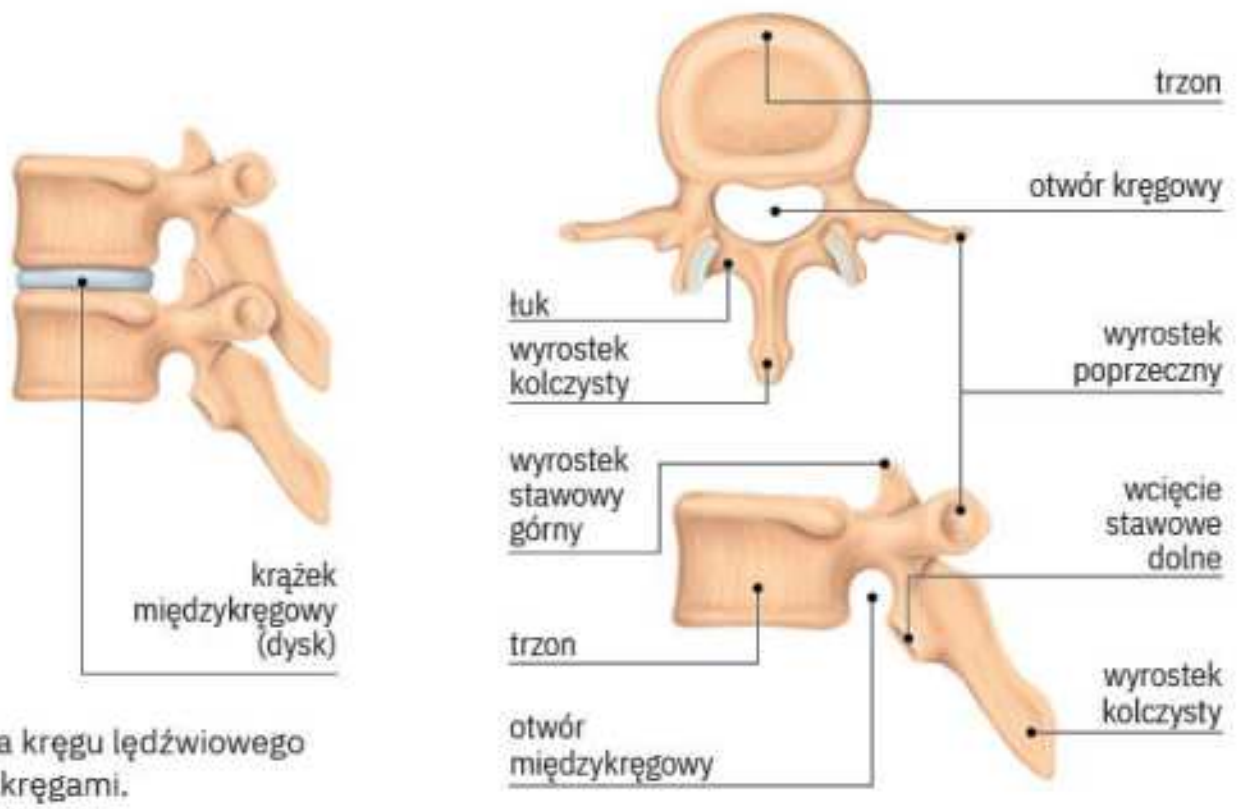


Ryc. II.31.7. Połączenia ruchome w części twarzowej czaszki.

Kręgosłup

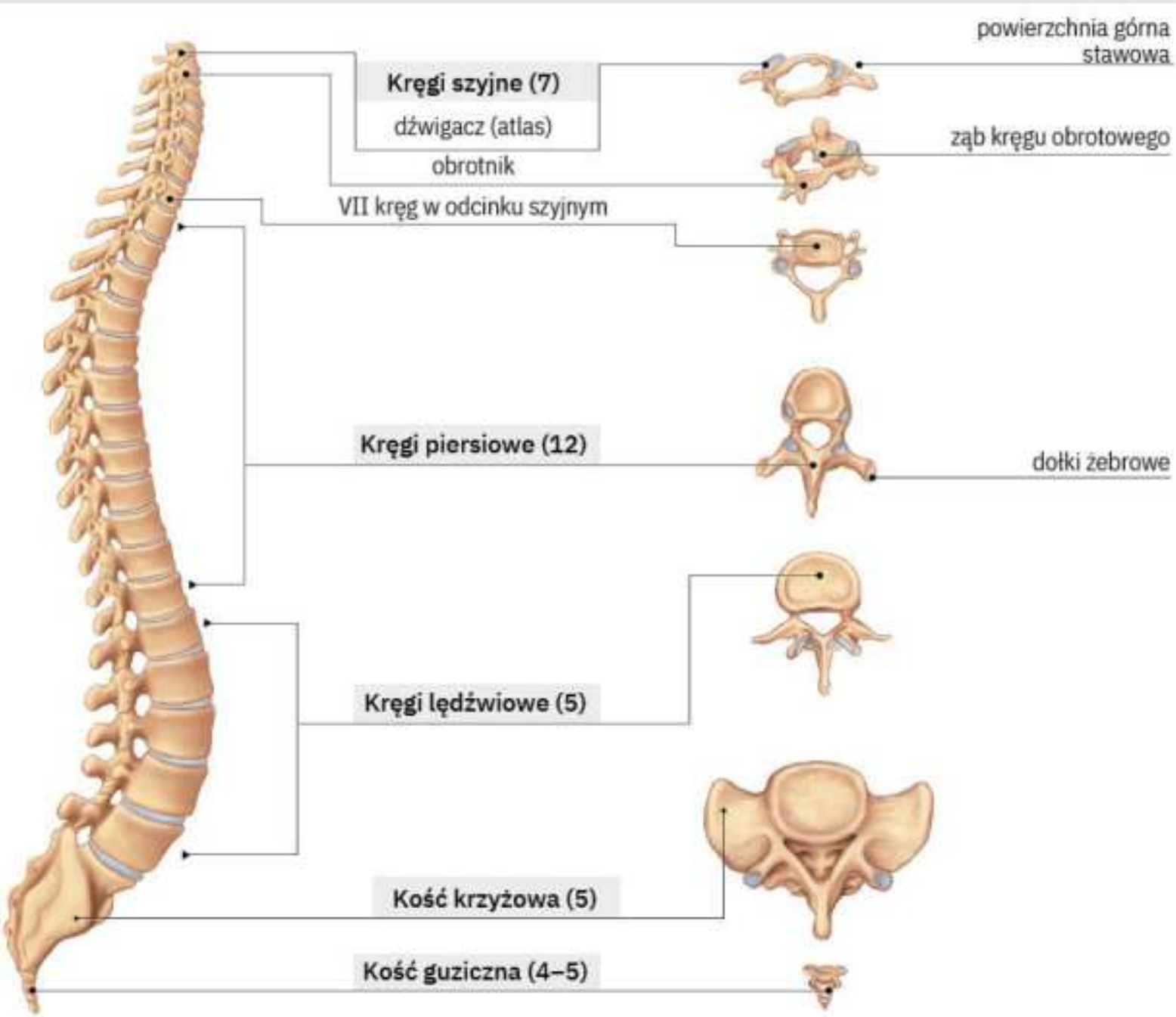
Kręgosłup stanowi podporę ciała, a także ochrania rdzeń kręgowy i pośrednio jest przyczepem dla kończyn. Budują go 33–34 kręgi. Kręgosłup dzieli się na 5 odcinków: **szyjny** zbudowany z 7 kręgów, **piersiowy –** z 12, **lędźwiowy –** z 5, **krzyżowy –** z 5 kręgów zrośniętych w kość krzyżową. Ostatni odcinek **guziczny** (ogonowy) składa się z 4–5 kręgów zrośniętych w kość ogonową (**ryc. II.31.8.**). Liczba tych kręgów różni się u poszczególnych osób, co jest przejawem zmienności wewnątrzgatunkowej. Typowy kręg składa się z trzonu i pierścienia tworzącego łuk kręgowy. Otacza on znajdujący się wewnątrz rdzeń kręgowy. Od łuku kręgowego odchodzą wyrostki. Sąsiednie kręgi są oddzielone elastycznymi krążkami zbudowanymi z tkanki chrzęstnej – tzw. **dyskami** (**ryc. II.31.8.**). Ich funkcją jest amortyzacja wstrząsów podczas ruchów ciała. Wysunięcie krążka nazywamy dyskopatią. To schorzenie jest bardzo niebezpieczne i bolesne. Silny ucisk na rdzeń kręgowy może doprowadzić do niedowładu ciała.

◀ dyski



Ryc. II.31.8. Budowa kręgu lędźwiowego i połączenia między kręgami.

Kręgosłup ma naturalne krzywizny, które powodują jego esowate wygięcie. Odcinki szyjny i lędźwiowy są wygięte do przodu – **lordozy**, natomiast odcinki piersiowy i krzyżowy – ku tyłowi – **kifozy** (**ryc. II.31.9.**).



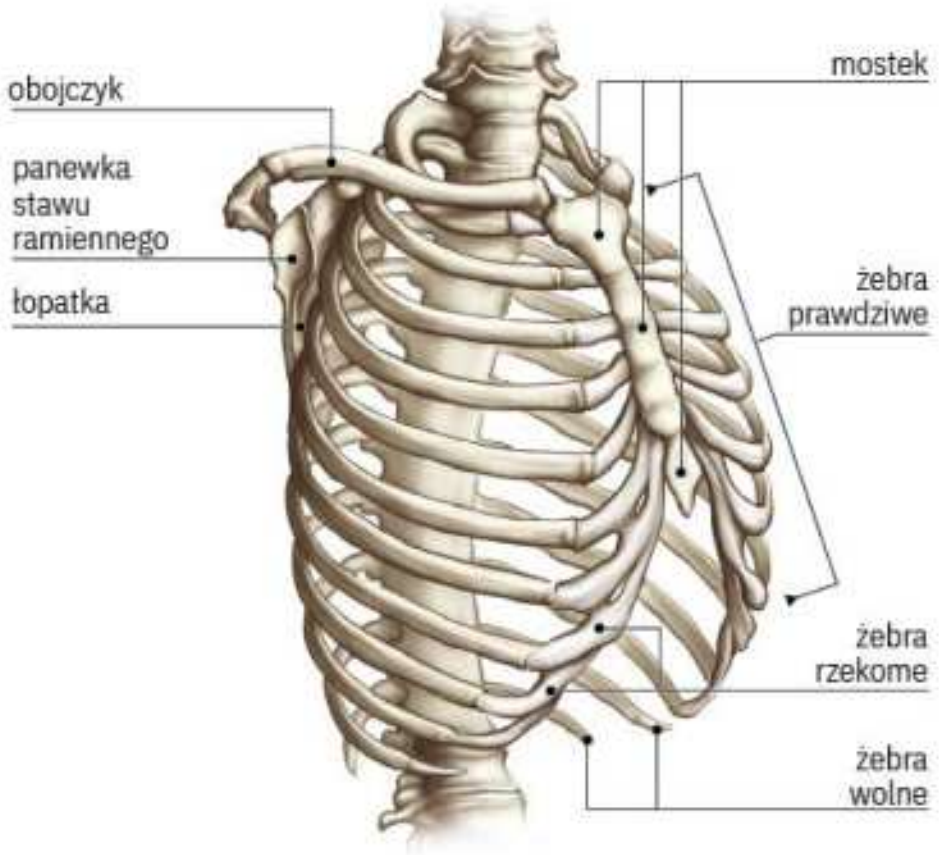
Ryc. II.31.9. Budowa kręgosłupa.

Pierwszy kręg szyjny, zwany **dźwigaczem** (atlas), nie ma trzonu, a jedynie łuki kręgowe i jest połączony stawowo z kłykciami potylicznymi (kostne wyrostki) czaszki. Takie połączenie pozwala na wykonywanie potakujących ruchów głowy. Drugi kręg – **obrotnik** – ma na trzonie ząb, który łączy się z dolną powierzchnią stawową dźwigacza. Taka budowa i połączenie pozwalają na wykonywanie przeczących (obrotowych) ruchów głową. Pozostałe kręgi odcinka szyjnego nie różnią się powierzchnią i kształtem. Są wyposażone w powierzchnie stawowe, którymi łączą się z żebrami. Najbardziej masywne w kręgosłupie są kręgi lędźwiowe, ponieważ na nich spoczywa ciężar górnej części ciała.

Klatka piersiowa

Klatka piersiowa stanowi ochronę dla płuc, serca, tchawicy, przełyku i pozwala na wykonywanie ruchów oddechowych. Składa się z **kręgów piersiowych kręgosłupa** (12 kręgów), **12 par żeber** oraz **mostka** (**ryc. II.31.10.**).

Pierwsze 7 par żeber – tzw. **żebra prawdziwe** – bezpośrednio zrastają się z mostkiem. Chrzęstne części 3 następnych par tzw. **żeber rzekomych** zrastają się z chrząstkami żeber położonych wyżej, a 2 ostatnie pary to **żebra wolne**, niezrośnięte z mostkiem. Przednia część żeber jest zbudowana z chrząstki, dzięki czemu są one elastyczne i umożliwiają ruchy klatki piersiowej.



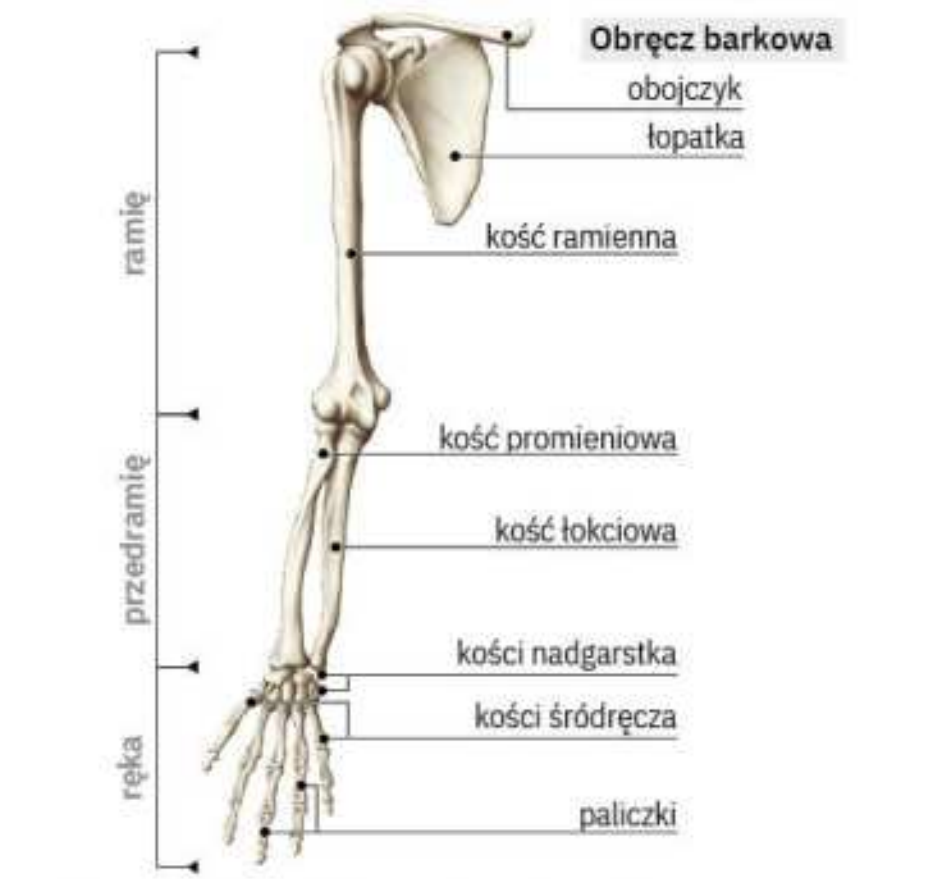
Ryc. II.31.10. Budowa klatki piersiowej.

Szkielet obręczy górnej i kończyny górnej

Obręcz górna (barkowa) składa się z łopatki i obojczyka. Umożliwiają one połączenie kończyny górnej ze szkieletem osiowym. Szkielet kończyny górnej tworzą kość ramieniowa, dwie kości przedramienia: promieniowa i łokciowa, oraz kości dłoni: kości nadgarstka, śródręcza i palców (paliczki bliższe, środkowe, dalsze).

Jeśli wewnętrzna część dłoni jest zwrócona ku przodowi, kości przedramienia są ułożone równolegle do siebie. Po wewnętrznej stronie znajduje się kość łokciowa, a po zewnętrznej – promieniowa. W odwrotnej pozycji dłoni kości te się krzyżują. Taka ruchomość umożliwia ruchy chwytno-manipulacyjne kończyny.

Połączenie szkieletu kończyny górnej ze szkieletem osiowym umożliwia obojczyk, który łączy łopatkę z mostkiem. Łopatka jest miejscem

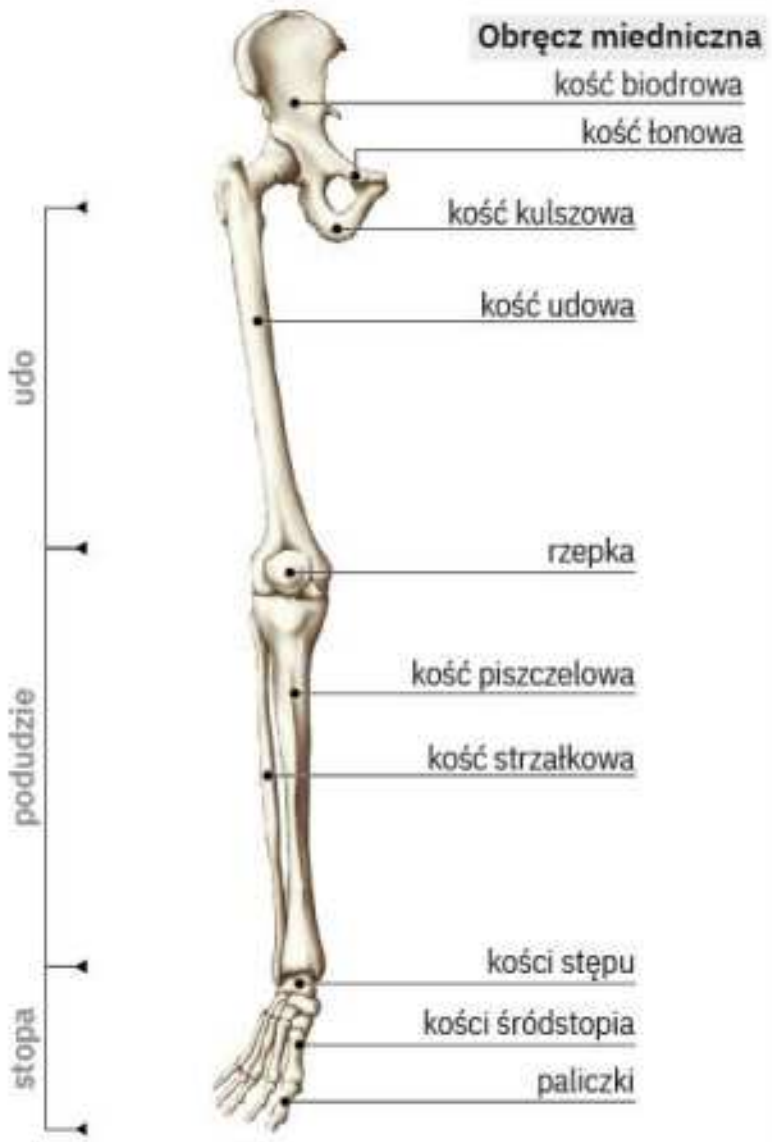


Ryc. II.31.11. Szkielet obręczy barkowej i kończyny górnej.

przyczepu mięśni grzbietu i mięśni kończyny górnej. W łopatce znajduje się zagłębienie – panewka stawu barkowego, w którą wchodzi głowa kości ramiennej.

Szkielet ręki tworzą dwa szeregi kości nadgarstka, dalej śródręcze zbudowane z pięciu kości śródręcza, których końce dalsze łączą się stawowo z paliczkami palców. Palce składają się z trzech paliczków, z wyjątkiem kciuka (dwa paliczki). Kciuk jest przeciwstawny do pozostałych palców, co stanowi przystosowanie do chwytno-manipulcyjnych funkcji kończyny górnej.

Szkielet obręczy i kończyny dolnej



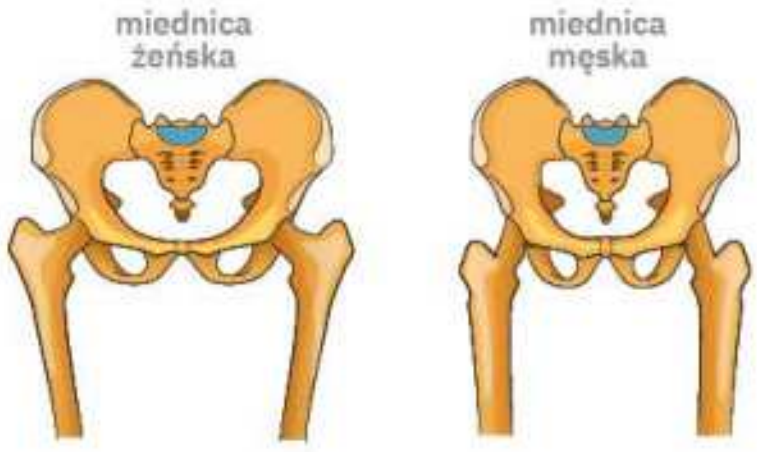
Ryc. II.31.12. Szkielet kończyny dolnej i miednicy.

Obręcz dolna (miedniczna) jest zbudowana z kości miednicznej, która powstaje przez zrośnięcie się ze sobą kości biodrowej, kulszowej i łonowej (**ryc. II.31.12.**).

Dwie kości miedniczne zrośnięte z kością krzyżową kręgosłupa tworzą **miednicę**. Pozwala ona na utrzymanie pionowej postawy ciała. Szkielet kończyny dolnej tworzą kość udowa, kości podudzia: piszczelowa i strzałkowa, oraz kości stopy (stępu, śródstopia i palców).

Miednica męska i żeńska różnią się budową (**ryc. II.31.13.**).

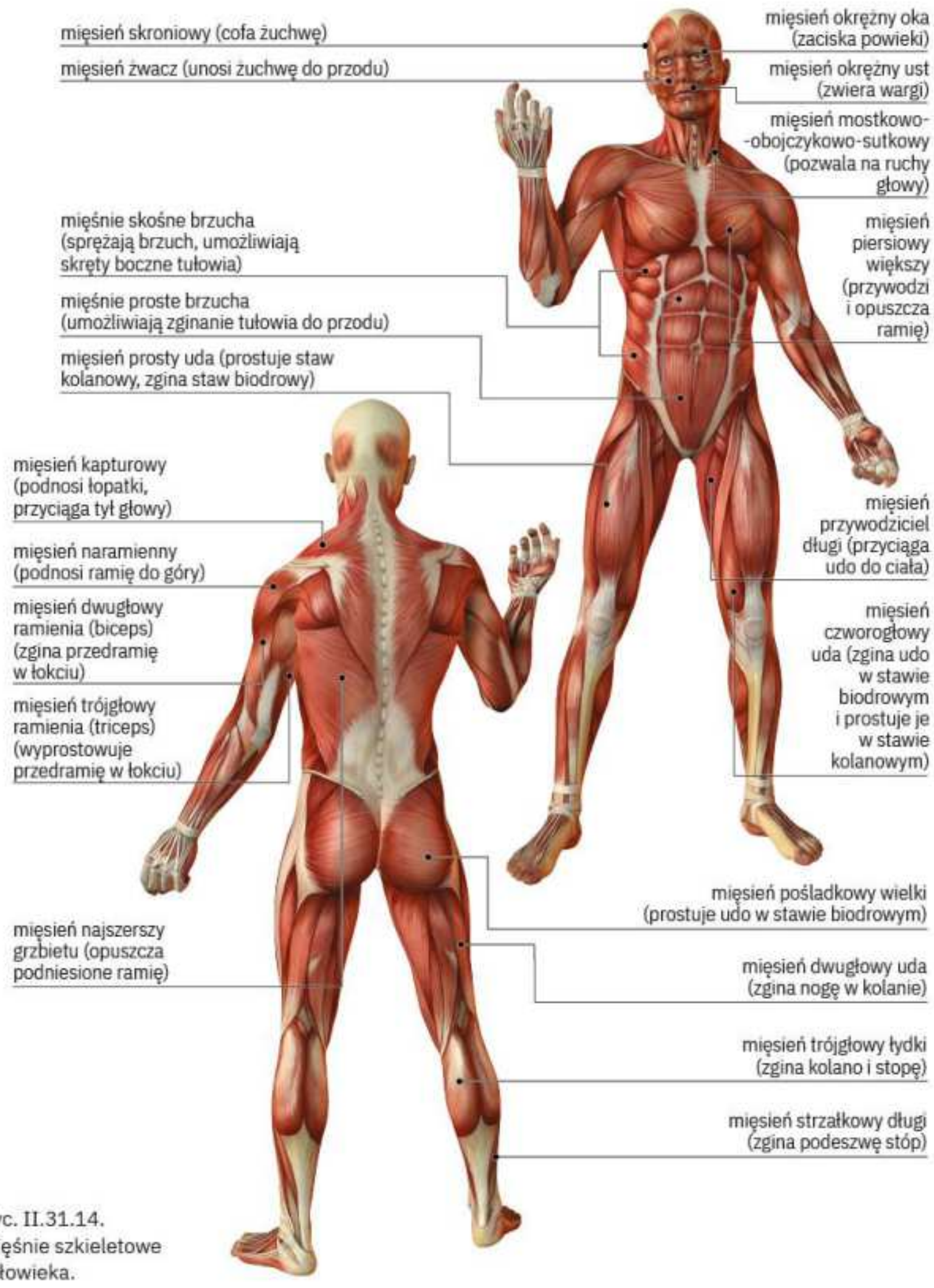
Miednica jest połączona z kością krzyżową kręgosłupa. W miejscu styku trzech kości miednicy tworzy się zagłębienie – panewka stawu biodrowego. W panewkę wchodzi głowa kości udowej. Drugi koniec kości udowej stanowi powierzchnię stawową dla kości piszczelowej. Takie połączenie tworzy **staw kolanowy**, który buduje także niewielka kość ograniczająca ruchomość stawu kolanowego – **rzepka**. Kość piszczelowa i strzałkowa tworzą **staw skokowy**, którym stopa łączy się z podudziem. W stopie paluch nie jest przeciwstawny do pozostałych palców.



Ryc. II.31.13. Miednica żeńska i męska. Miednica żeńska jest przystosowana do porodu – ma większą szerokość i mniejszą wysokość od miednicy męskiej.

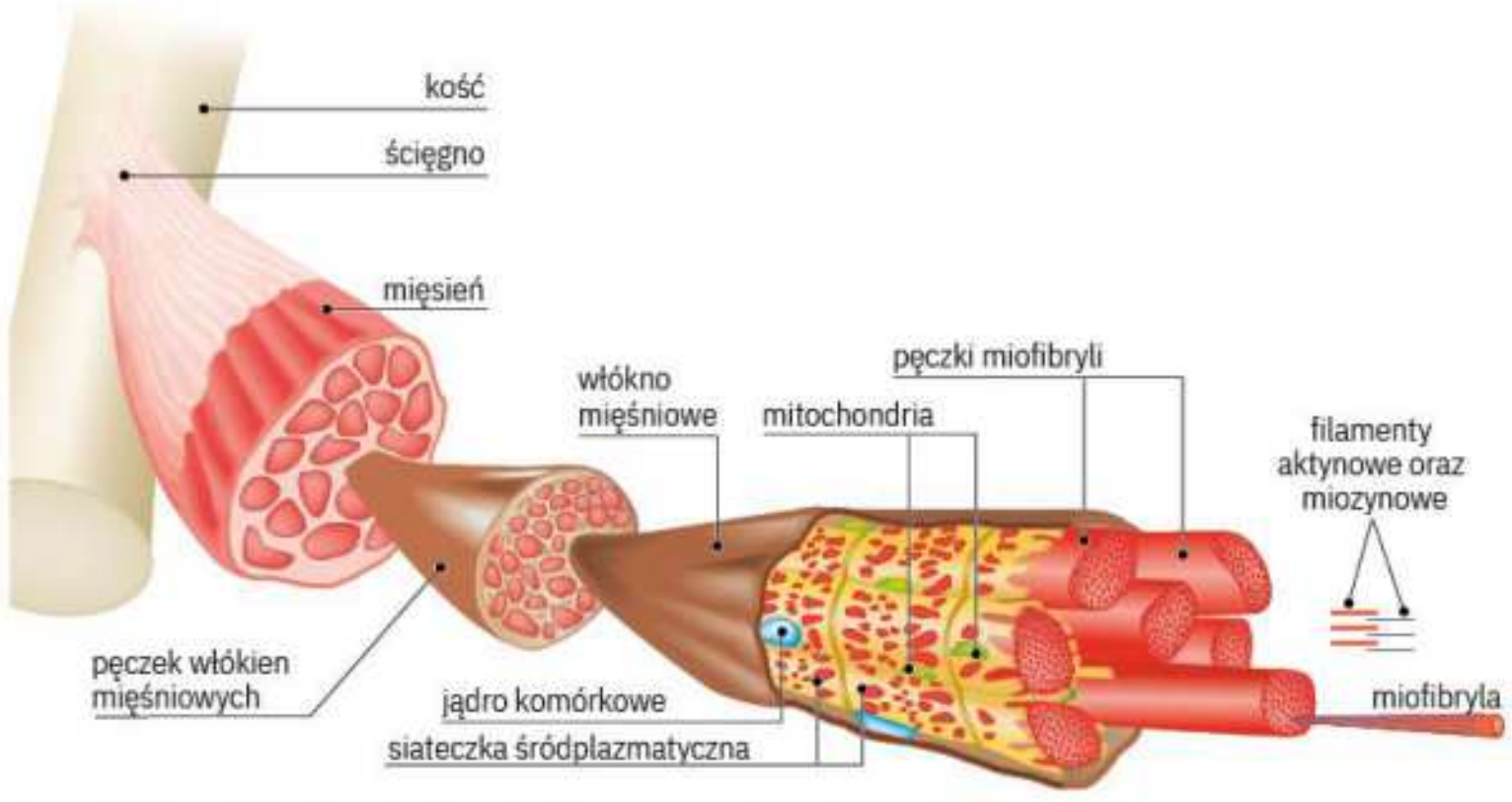
Czynna część układu ruchu – układ mięśniowy

Układ mięśniowy wprawia w ruch cały szkielet, a dzięki temu umożliwia funkcjonowanie narządów wewnętrznych oraz zapewnienia stałe krążenie krwi. W organizmie człowieka występuje około 400 mięśni, które stanowią do 40% masy ciała (**ryc. II.31.14.**).



Ryc. II.31.14.
Mięśnie szkieletowe człowieka.

Wyróżnia się trzy rodzaje mięśni: gładkie, niepodlegające naszej woli, poprzecznie prążkowane, podlegające naszej woli, oraz sercowy, pracujący niezależnie od świadomości. Mięśnie **poprzecznie prążkowane szkieletowe** umożliwiają ruch organizmu. Podstawową jednostką budulcową mięśni poprzecznie prążkowanych jest włókno mięśniowe składające się z pęczków kurczliwych włókien mięśniowych – miofibryli. Miofibryle składają się z białkowych włókienek kurczliwych miofilamentów: cienkich aktynowych (zbudowanych z białka aktyny) i grubych miozynowych (zbudowanych z białka miozyny). Są one ułożone naprzemianlegle, co daje charakterystyczne poprzeczne prążkowanie z jasnymi i ciemnymi prążkami. Mięśnie prążkowane są zbudowane z trzech typów włókien mięśniowych: włókien czerwonych, które wolno się kurczą i mają dużą odporność na zmęczenie, włókien białych szybko się kurczących i szybko ulegających zmęczeniu, oraz pośrednich, które się szybko kurczą, ale wolno męczą. Typowe mięśnie są zbudowane z **brzuśca** i łącznotkankowych **ścięgien**, łączących je z kośćmi. Brzusiec to czynna część mięśnia zbudowana z włókien mięśniowych poprzecznie prążkowanych, natomiast ścięgna przenoszą siłę skurczu mięśni na elementy kostne.

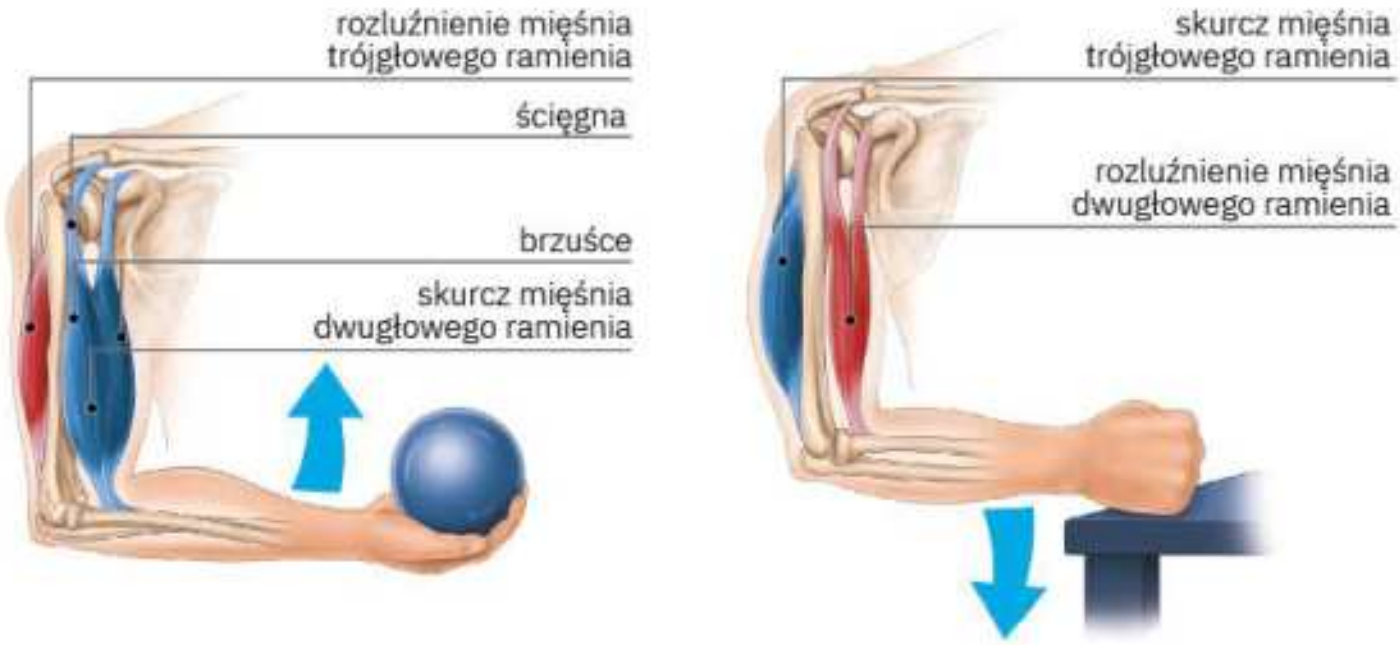


Ryc. II.31.15. Hierarchiczna budowa mięśnia szkieletowego.

Niektóre mięśnie mają więcej niż jeden brzusiec. Nazywamy je **dwugłowymi**, **trójgłowymi** lub **czterogłowymi**. Mięśnie są dobrze unerwione i unaczynione, a komórki mięśniowe zawierają barwnik mioglobinę, która nadaje im czerwone zabarwienie (ma większe powinowactwo do tlenu niż hemoglobina, magazynuje tlen i wykorzystuje go podczas wysiłku fizycznego).

mięśnie antagonistyczne

Mięśnie zginacze (przywodziciele) i prostowniki (odwodziciele), uczestniczące w wykonywaniu przeciwstawnej pracy, nazywamy **mięśniami antagonistycznymi** (**ryc. II.31.16.**).

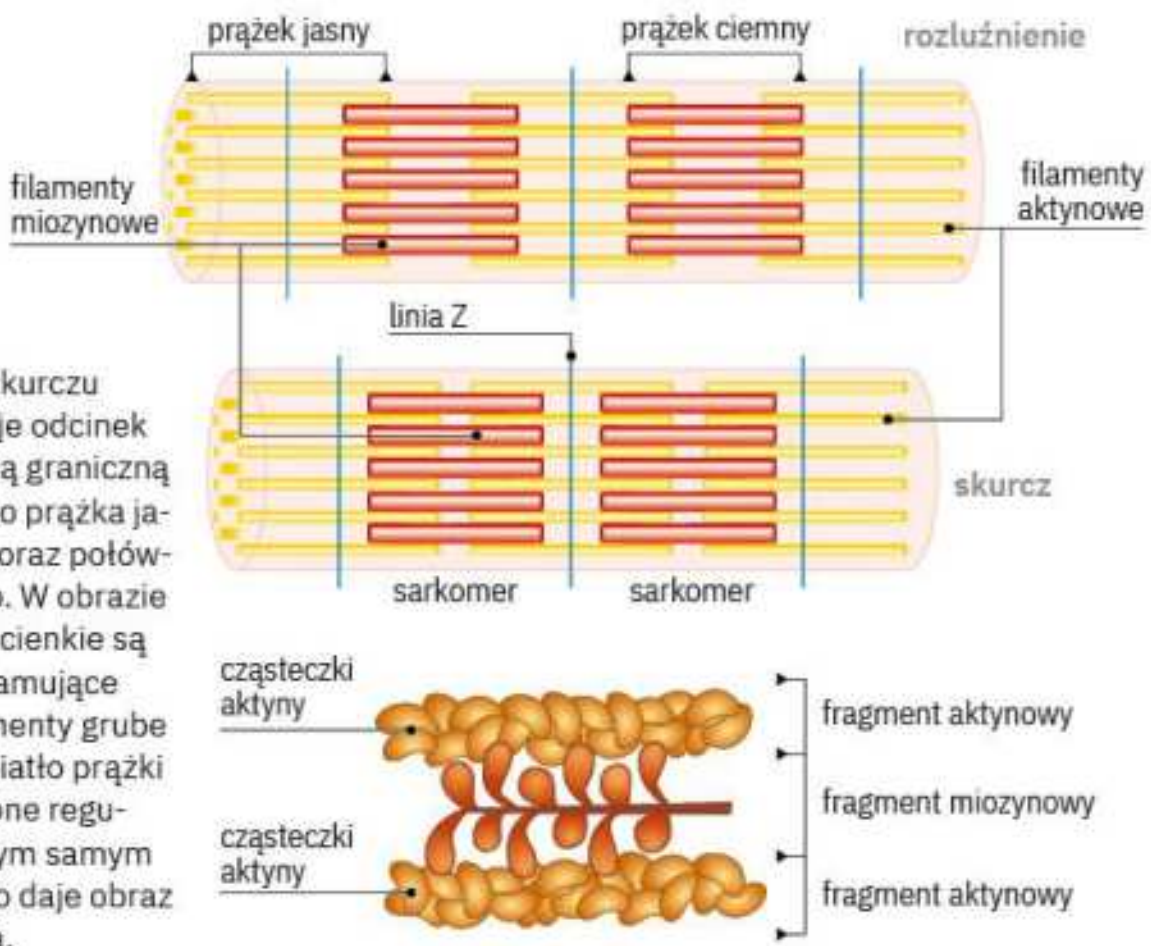


Ryc. II.31.16. Działanie mięśni antagonistycznych ramienia. Mięsień dwugłowy ramienia jest zginaczem – skurcz powoduje zgięcie kończyny górnej w stawie łokciowym. Mięsień trójgłowy ramienia to prostownik – jego rozkurcz powoduje wyprostowanie kończyny górnej w stawie łokciowym.

Źródła energii pracy mięśni

Skurcz i rozkurcz włókna mięśniowego są regulowane przez układ nerwowy. Komórka mięśniowa i unerwiająca ją komórka nerwowa tworzą **jednostkę motoryczną mięśnia.** Podstawową jednostką strukturalną i funkcjonalną mięśnia odpowiedzialną za jego pracę jest **sarkomer**.

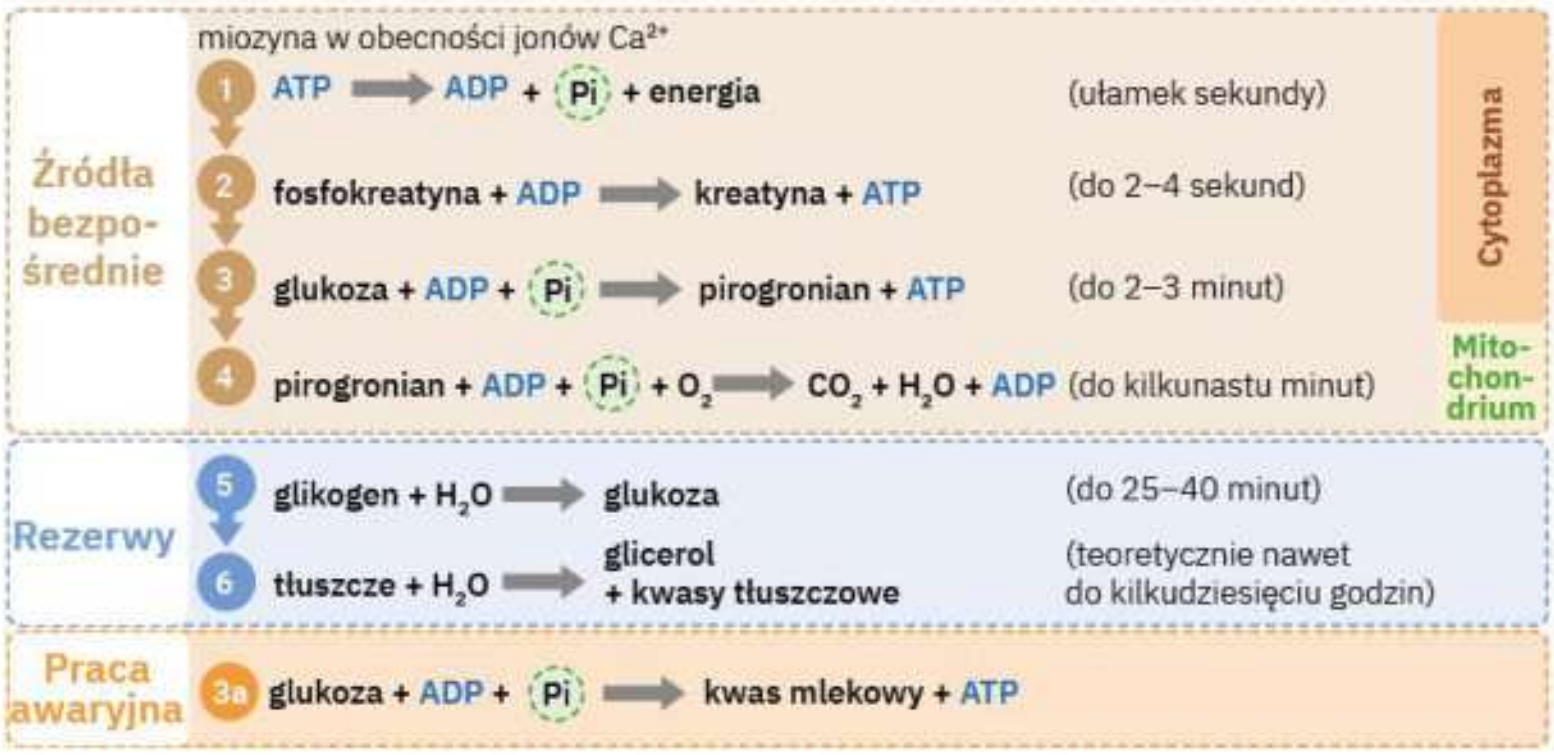
◂ **sarkomer**



Ryc. II.31.17. Mechanizm skurczu mięśnia. Sarkomer obejmuje odcinek miofibryli ograniczony błoną graniczną Z i zawiera połówkę jednego prążka jasnego, cały prążek ciemny oraz połówkę drugiego prążka jasnego. W obrazie mikroskopowym filamenty cienkie są postrzegane jako słabo załamujące światło prążki jasne, a filamenty grube – jako silnie załamujące światło prążki ciemne. Odcinki te są ułożone regularnie i naprzemiennie na tym samym poziomie w miofibrylach, co daje obraz poprzecznego prążkowania.

energia w postaci ATP

Podczas skurczu mięśnia następuje wsuwanie się filamentów grubych pomiędzy filamenty cienkie. Filamenty cienkie mają dwa białka – tropomiozynę i troponinę. W rozluźnionym mięśniu tropomiozyna blokuje kontakt głowy miozyny z aktyną. Podczas skurczu uwolnione z siateczki śródplazmatycznej jony wapnia (Ca^{2+}) wiążą się z troponiną, następuje odsunięcie tropomiozyny od aktyny – dzięki temu głowy miozyny mogą się związać z aktyną. Następuje wówczas skracanie długości sakromeru, a długość filamentów pozostaje bez zmian. Zjawisko to wymaga dostarczenia **energii w postaci ATP**. Energia zgromadzona w ATP bardzo szybko jest zużywana i stale odtwarzana. Źródło ATP stanowią wysokoenergetyczny związek **fosfokreatyna** oraz **glukoza** (glikogen), spalana w warunkach tlenowych lub podczas długiej i intensywnej pracy mięśni w warunkach beztlenowych – fermentacji (**ryc. II.31.18.**).



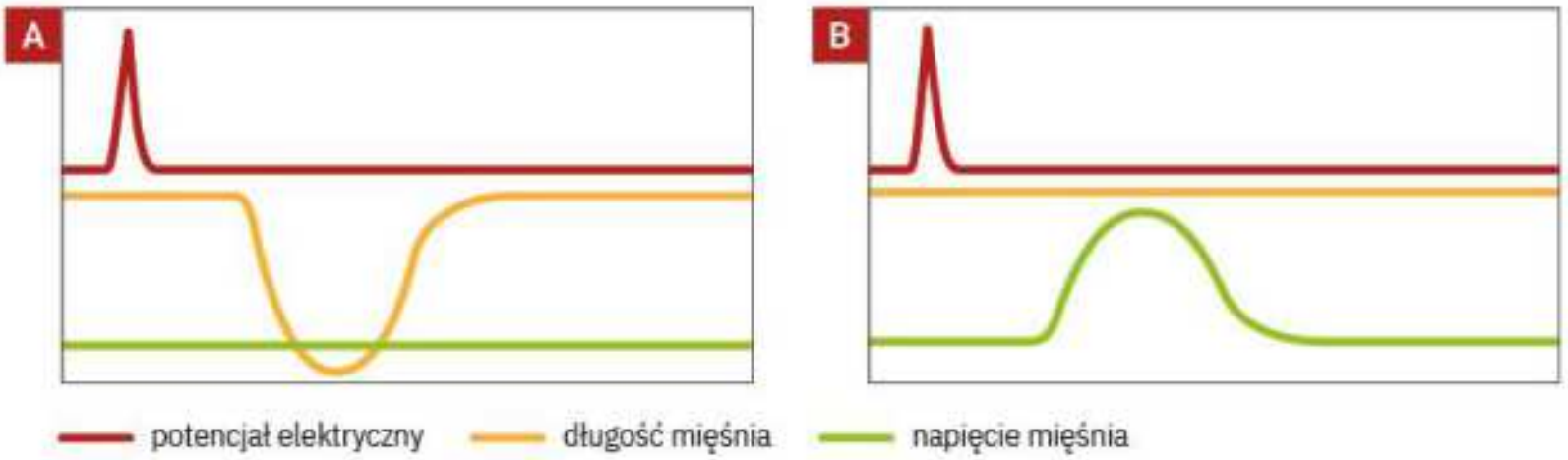
Ryc. II.31.18. Przemiany biochemiczne zachodzące podczas pracy mięśnia.

Oprócz glukozy substratem energetycznym są tłuszcze. Podczas intensywnej pracy, gdy mięsień nie jest dostatecznie dotleniony (pomimo rezerwy tlenowej w mioglobinie), powstaje tzw. dług tlenowy (**ryc. II.31.19.**).

Ryc. II.31.19. Powstanie kwasu mlekowego w intensywnie pracujących mięśniach. Krew transportuje z komórek mięśniowych mleczan do wątroby, gdzie zostaje on przekształcony do glukozy. Glukoza jako materiał energetyczny wraca do komórek.

Mięsień niekurczący się dzięki dochodzącym do nich nerwom znajduje się w stanie napięcia spoczynkowego, zwanego **tonusem**. Mięsień utrzymuje się w stałej gotowości do skurczu. Działając na mięsień pojedynczym bodźcem, można wywołać **skurcz pojedynczy mięśnia**. Kurczący się mięsień wykonuje dwa rodzaje pracy: **statyczną i dynamiczną**.

◂ tonus



Ryc. II.31.20. Porównanie skurczu izotonicznego (A), izometrycznego mięśnia szkieletowego (B).

Podczas pracy statycznej, kiedy nie dochodzi do przemieszczania się kości względem siebie, ma miejsce **skurcz izometryczny** – mięsień się kurczy, jego długość się nie zmienia, a wzrasta napięcie, np. podczas siedzenia lub zaciskania szczęk. Podczas pracy dynamicznej mięśnia następuje **skurcz izotoniczny**, podczas którego kurczący się mięsień skraca swoją długość, ale jego napięcie pozostaje bez zmian, np. podczas ruchu. Skurcze zachodzące z jednoczesną zmianą długości i wzrostem napięcia nazywamy skurczami auksotonicznymi.

◂ skurcz izometryczny

◂ skurcz izotoniczny

Skurcz mięśnia jest wynikiem dochodzących do niego kolejnych, nakładających się impulsów. Przy wysokiej częstotliwości impulsów nerwowych następuje nakładanie się na siebie skurczów pojedynczych i powstanie skurczu tężcowego. Jeśli odstępy między kolejnymi impulsami są dłuższe od trwania pojedynczego skurczu, taki skurcz nazywamy **tężcowym niezupełnym**. Pozwala on na częściowy rozkurcz mięśnia. Natomiast jeśli między kolejnymi skurczami nie następuje rozkurcz, ponieważ impulsy docierają do mięśnia bardzo szybko, wówczas taki skurcz nazywamy **tężcowym zupełnym**. Skurcze tężcowe są podstawą do pracy wszystkich mięśni szkieletowych człowieka.

Aktywność fizyczna a zdrowie

Aktywność fizyczna korzystnie wpływa na funkcjonowanie całego organizmu, w tym układu kostnego i mięśniowego. Regularnie uprawianie ćwiczeń:

◂ **aktywność fizyczna**

- skutecznie chroni przed osteoporozą;
- pozytywnie wpływa na gęstość kości, zwiększając ich uwapnienie, dzięki czemu są bardziej elastyczne i odporne na złamania;
- poprawia zakres ruchu w stawach oraz zwiększa odporność na urazy;

- poprawia siłę i wytrzymałości mięśni oraz równowagę i koordynację ruchową;
- zapewnia właściwy stan napięcia mięśni, przez co sylwetka staje się sprężysta;
- zmniejszają bóle kręgosłupa przez zwiększenie siły mięśni kręgosłupa i mięśni grzbietu;
- pozwala na dłuższą pracę mięśni bez zmęczenia.

Ryc. II.31.21. Aktywność fizyczna.

Aktywność fizyczna zapobiega ponadto otyłości, poprawia wydolność serca, gdyż zmniejsza ryzyko wystąpienia zawału, a ponadto łagodzi napięcia nerwowe i osłabia skutki stresu.

Oprócz aktywności fizycznej dla naszych stawów, kości i mięśni ważna jest dieta bogata w wapń i witaminę D. W codziennym jadłospisie powinny znaleźć się produkty nabiałowe, takie jak: białe sery, jogurty czy kefiry. Poza tym należy spożywać oleje roślinne, najlepiej tłoczone na zimno, np.: olej lniany, oliwę z oliwek czy olej rzepakowy. Również niezwykle wartościowym dodatkiem są bakalie – orzechy i nasiona słonecznika oraz dyni, a także suszone owoce. Należy pięć razy dziennie jeść warzywa lub owoce. Co najmniej trzy razy w tygodniu w diecie powinny znaleźć się także tłuste ryby, takie jak łosoś czy halibut. Należy używać naturalnych przypraw, m.in. kurkumy, imbiru czy świeżych i suszonych ziół. W diecie obok witaminy D i wapnia należy uwzględnić produkty bogate w sód i potas oraz magnez.

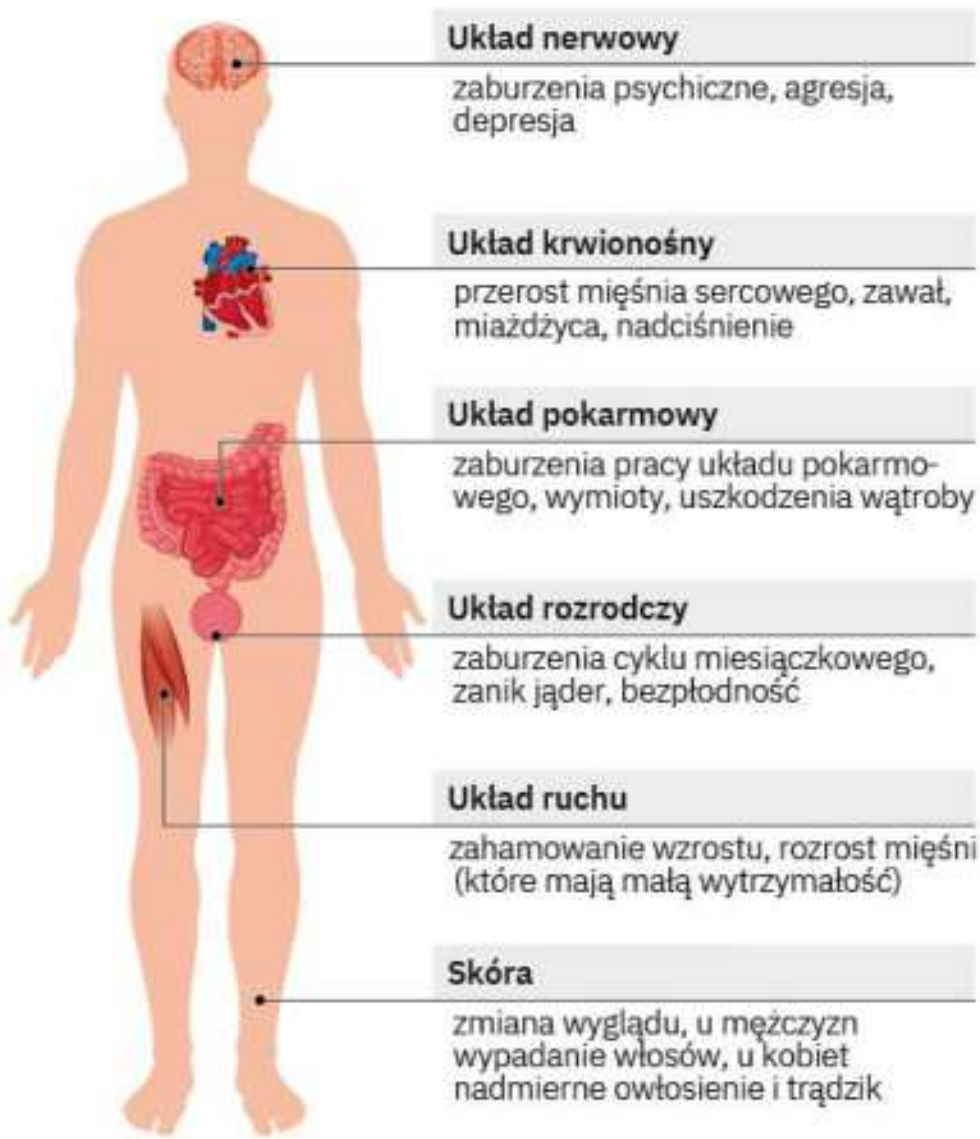
Ryc. II.31.22. Produkty zawierające dużą ilość sodu i magnezu.

doping ▸ **Doping**

Aby zwiększyć sprawność fizyczną czy osiągać jak najwyższe wyniki sportowe, ludzie sięgają po niedozwolone środki dopingujące. Wśród nich znajduje się wiele różnych substancji, m.in.:

- środki pobudzające, np. kokaina, amfetamina;
- narkotyczne środki przeciwbólowe, np. morfina, metadon;
- środki anaboliczno-androgenne, np. testosteron, stanozonol;
- środki moczopędne, np. furosemid;
- hormony peptydowe, np. ludzki hormon wzrostu, erytropoetyna;
- alkohol i środki miejscowego znieczulenia.

Szczególnie niebezpieczne dla zdrowia są **anaboliki** – związki chemiczne, które sztucznie podnoszą wydajność sportowca (**ryc. II.31.23.**).



Ryc. II.31.23. Zmiany w organizmie pod wpływem środków dopingowych.

Zwiększają jego pobudliwość, tempo przemiany materii, tempo syntezy białek, a tym samym masę i siłę mięśni. Przyjmowanie anabolików powoduje zaburzenia pracy wielu narządów, może nawet prowadzić do kalectwa lub śmierci. Wśród częstych skutków zażywania tych substancji są także nienaturalny rozrost piersi, zarówno u kobiet, jak i u mężczyzn, oraz spadek popędu płciowego u mężczyzn i jego wzrost u kobiet.

Zmiany dotyczą także psychiki – osoby zażywające środki dopingujące stają się agresywne i nie mogą kontrolować własnego zachowania, a nawet chorują na depresję. Stosowanie takich substancji w okresie dojrzewania zwykle uniemożliwia profesjonalną karierę sportową w wieku dorosłym. Środki dopingujące można wykryć dzięki badaniu próbki moczu lub krwi sportowca.

Podobny efekt jak doping krwią, np. przez transfuzje krwi własnej lub cudzej pobranej wcześniej, uzyskuje się przez zastosowanie erytropoetyny (EPO). To hormon naturalnie wytwarzany w nerkach, pobudzający szpik kostny do produkcji erytrocytów.

Najnowsza technika dopingowa polega na stosowaniu dopingu genetycznego, który naśladuje terapię genową. Wykorzystuje się tzw. wektory wirusowe, aby do jądra komórki wprowadzić odpowiednie geny i spowodować, że komórka będzie produkowała określone białka. Taka metoda zwiększa masę mięśniową, ukrwienie tkanek, liczbę czerwonych krwinek czy zmniejszyć odczuwanie bólu. Doping genetyczny trudno wykryć, tym bardziej, że nie ma dokładnych informacji o jego stosowaniu.

Zwalczaniem dopingu w sporcie zajmuje się Światowa Agencja Antydopingowa (World Anti-Doping Agency, WADA).

Stosowanie dopingujących środków hormonalnych powoduje poważne zmiany w najważniejszych układach wewnętrznych:

- w układzie ruchu – przyrost masy mięśni, rozwój męskiej sylwetki ciała (także u kobiet);
- w układzie hormonalnym – zaburzenia równowagi hormonalnej, co może być przyczyną niepłodności i impotencji u mężczyzn, a u kobiet może prowadzić do rozwoju cech męskich (tzw. maskulinizacja);
- w układzie krwionośnym – zmiany w obrębie naczyń krwionośnych i serca, co może być przyczyną zawałów serca, wylewów krwi i zmian nowotworowych;
- w skórze – przetłuszczanie i wypadanie włosów, zmiany skórne (trądzik);
- w psychice i osobowości – nasilające się rozdrażnienie, agresja uniemożliwiająca życie.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Wyjaśnij znaczenie szkieletu dla funkcjonowania organizmu.
2. Przedstaw znaczenie połączeń nieruchomych w czaszce.
3. Porównaj budowę i funkcje tkanki mięśniowej szkieletowej i mięśniowej gładkiej.
4. Podaj przystosowania w budowie układu kostnego do dwunożnej postawy ciała.
5. Na podstawie wybranych przykładów wyjaśnij antagonizm pracy mięśni.
6. Wytłumacz, jakie skutki dla organizmu miałoby długotrwałe zakwaszenie mięśni.
7. Omów pozytywne i negatywne skutki uprawiania sportu.
8. Przedstaw na wybranym przykładzie negatywne skutki stosowania środków dopingujących.

PODSUMOWANIE LEKCJI

- **Układ ruchu** składa się z układu szkieletowego i układu mięśniowego. s. 358
- W szkielecie człowieka można wyróżnić **szkielet osiowy i szkielet kończyn**. s. 361
- Kości wchodzące w skład szkieletu są połączone ze sobą. Większą część połączeń kości stanowią połączenia ruchome – **stawy**. s. 359
- W układzie mięśniowym człowieka wyróżnia się **mięśnie antagonistycznie** działające (zginacze i prostowniki). s. 368
- Podstawową jednostką funkcjonalną mięśnia jest **sarkomer**, w którym następuje skurcz mięśnia. s. 369
- Intensywna praca mięśni **wymaga energii**, której bezpośrednim źródłem jest **ATP**. W warunkach beztlenowych dochodzi do zakwaszenia mięśni. s. 370
- Wysoka **sprawność fizyczna** jest jednym z warunków zachowania zdrowia. s. 371
- Jednym z problemów współczesnego sportu jest stosowanie **dopingu**, który szkodzi zdrowiu. s. 372

32. Pokrycie ciała u zwierząt

NA TEJ LEKCJI:

- zapoznasz się z rodzajami pokrycia ciała u zwierząt bezkręgowych;
- dowiesz się, jak jest zbudowana skóra kręgowców;
- poznasz wytwory skóry kręgowców i ich funkcje.

Wszystkie zewnętrzne i wewnętrzne powierzchnie ciała zwierząt pokrywa tkanka nabłonkowa. Nabłonek zewnętrzny, czyli **naskórek**, jest zróżnicowany u poszczególnych grup. Stanowi on adaptację do sposobu i środowiska życia zwierzęcia. Wspólną cechą skóry zwierząt jest ochrona ciała przed wpływem środowiska zewnętrznego. Dodatkowymi funkcjami może być wymiana gazowa, termoregulacja czy odbieranie bodźców z zewnątrz.

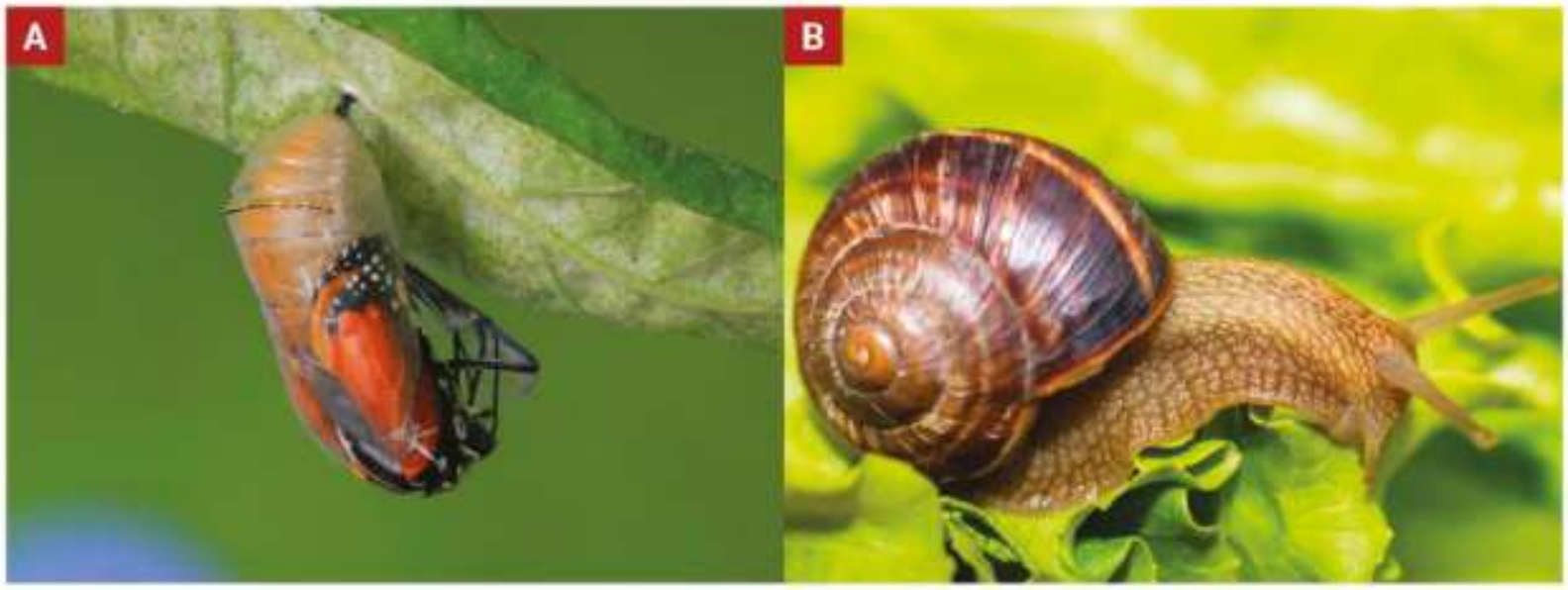
naskórek

ochrona przed środowiskiem zewnętrznym

Pokrycie ciała u bezkręgowców

Naskórek bezkręgowców jest zbudowany z jednowarstwowego nabłonka. Niektóre komórki nabłonkowe są orzęsione, co umożliwia zwierzętom poruszanie się. Naskórek zwierząt bezkręgowych (np. owadów) często wytwarza martwą warstwę ochronną lub wzmacniającą zwaną kutykulą (oskórkiem). Inne zwierzęta (np. mięczaki) wytwarzają muszle z węglanu wapnia (**ryc. II.32.1.**). Przegląd budowy i funkcji naskórka wybranych grup zwierząt bezkręgowych przedstawiono w **tabeli II.32.1.**

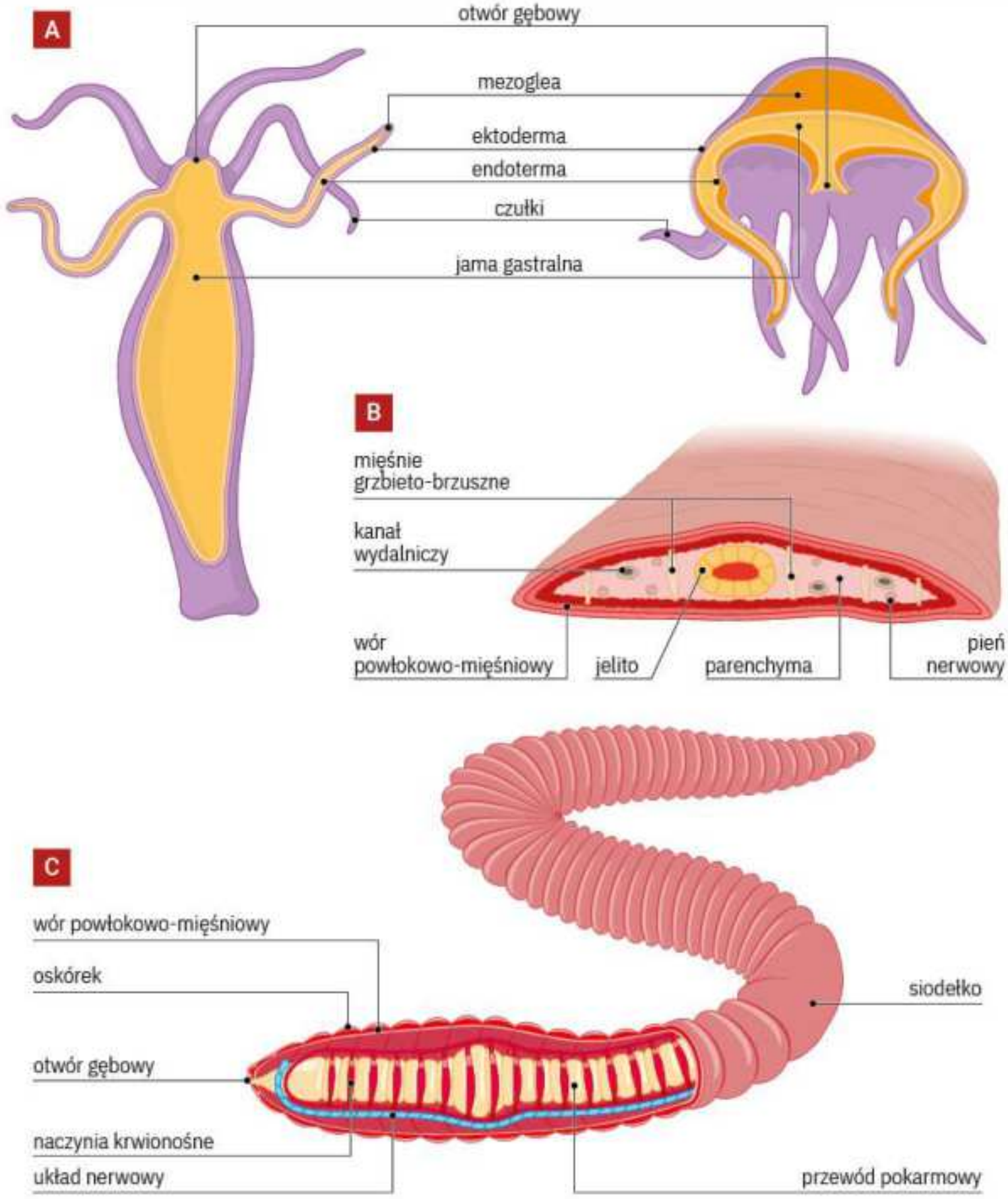
naskórek bezkręgowców



Ryc. II.32.1. Naskórek owadów wytwarza martwy oskórek (A), mięczaki wytwarzają muszle (B).

Tab. II.32.1. Charakterystyka pokrycia ciała u głównych grup zwierząt bezkręgowych

Grupa zwierząt	Budowa i funkcje
Parzydełkowce	Ciało od zewnątrz pokrywa warstwa komórek ektodermalnych (epidermy), a od wewnątrz – warstwa komórek endodermalnych (gastroderma). Pomiędzy nimi znajduje się galaretowata substancja zwana mezogleą. Zewnętrzną warstwę tworzą komórki nabłonkowo-mięśniowe. Niektóre z nich mają wypustki z włóknami kurczliwymi, dzięki którym możliwa jest lokomocja. W warstwie zewnętrznej znajdują się komórki dające początek parzydełkom.
Płazińce	U płazińców występuje wór powłokowo-mięśniowy, który tworzy naskórek wraz z mięśniami. Komórki nabłonkowe są wyposażone w rąbek rzęskowy. U niektórych przedstawicieli nabłonek przekształca się w bezpostaciowe syncytium.
Nicienie	Ciało pokrywa wór powłokowo-mięśniowy z zewnątrz pokryty bezpostaciowym oskórkiem, który jest wydzieliną komórek nabłonka leżących pod nim. Pod nabłonkiem znajduje się warstwa mięśni gładkich, które warunkują ruch tych zwierząt.
Pierścienice	Występuje wór powłokowo-mięśniowy, pokryty od zewnątrz jednowarstwowym nabłonkiem wytwarzającym oskórek. Pod nabłonkiem znajdują się dwie warstwy mięśni: okrężna i podłużna.
Stawonogi	Ciało jest otoczone szkieletem zewnętrznym, którego części łączą się miękkimi błonami. Szkielet, zbudowany z chityny i białek, w czasie wzrostu jest zrzucany w procesie linienia i zamieniany na większy. Do szkieletu są przyczepione włókna mięśniowe.
Mięczaki	Pokrywa je jednowarstwowy nabłonek z licznymi komórkami śluzowymi. Na grzbietowej części ciała występuje muszla będąca wytworem fałdu powłoki tułowia, czyli płaszcza.
Szkarłupnie	Występuje u nich szkielet wewnętrzny złożony z wapiennych płytek z igłami lub kolcami i pokryty cienkim, orzęsionym naskórkiem.



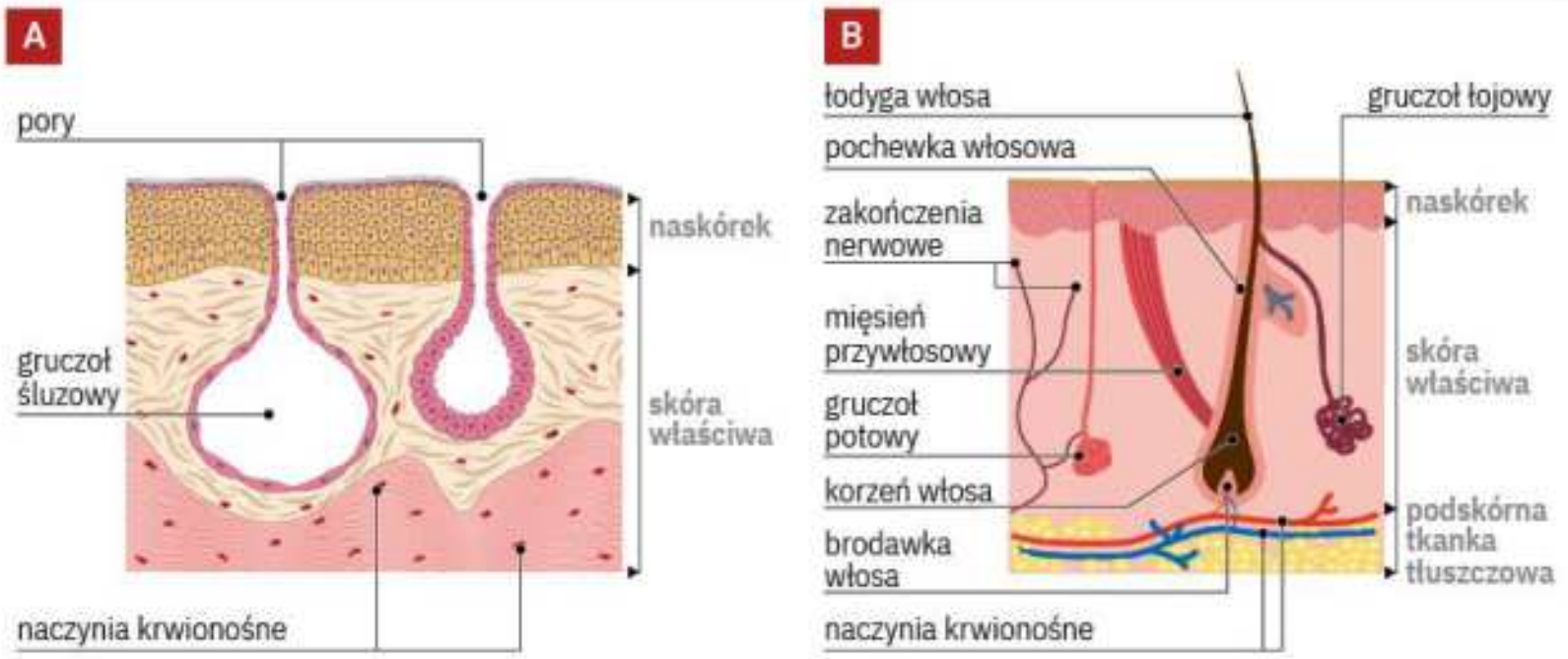
Ryc. II.32.2. Różnorodność pokrycia ciała u zwierząt bezkręgowych: parzydełkowce (A), płazińce (B), pierścienice (C).

Budowa skóry kręgowców

Pokrycie ciała kręgowców tworzy skóra oraz jej wytwory. U ryb i niektórych gadów skóra tworzy ochronne łuski. Z kolei u płazów wilgotna, pokryta śluzem skóra zapewnia wymianę gazową i służy do obrony (dzięki obecności gruczołów jadowych).

◂ **skóra kręgowców**

Skóra kręgowców składa się z dwóch głównych warstw: zewnętrznej, czyli naskórka, i położonej głębiej skóry właściwej (**ryc. II.32.3.**).



Ryc. II.32.3. Porównanie budowy skóry płazów (żaba, A) i ssaków (człowiek, B).

warstwy rogowaciejące

Naskórek jest zbudowany z wielu warstw rogowaciejących komórek nabłonkowych. Jego grubość na różnych częściach ciała się różni: u ludzi jest najgrubszy na dłoniach i podeszwach, a najcieńszy – na powiekach. W obrębie naskórka wyróżniamy dwie warstwy: rogową oraz rozrodczą (**ryc. II.32.4.**). **Warstwa rogowa** jest położona powierzchniowo, a na jej powierzchni komórki są martwe i bogate w białko – **keratynę**, która zapewnia wytrzymałość mechaniczną skóry. Komórki warstwy rogowej naskórka ciągle się złuszczają i są zastępowane przez nowe komórki produkowane przez położoną najgłębiej **warstwę rozrodczą**. Dodatkowo w warstwie rozrodczej warstwy podstawnej naskórka znajdują się komórki barwnikowe (**melanocyty**) produkujące ciemne barwniki zwane **melaninami**. Melaniny odpowiadają za barwę skóry, a ich ilość jest uwarunkowana genetycznie. Melaniny chronią skórę przed szkodliwym działaniem światła słonecznego (głównie w zakresie UV). Pod wpływem światła synteza melanin wzrasta.

warstwa rogowa

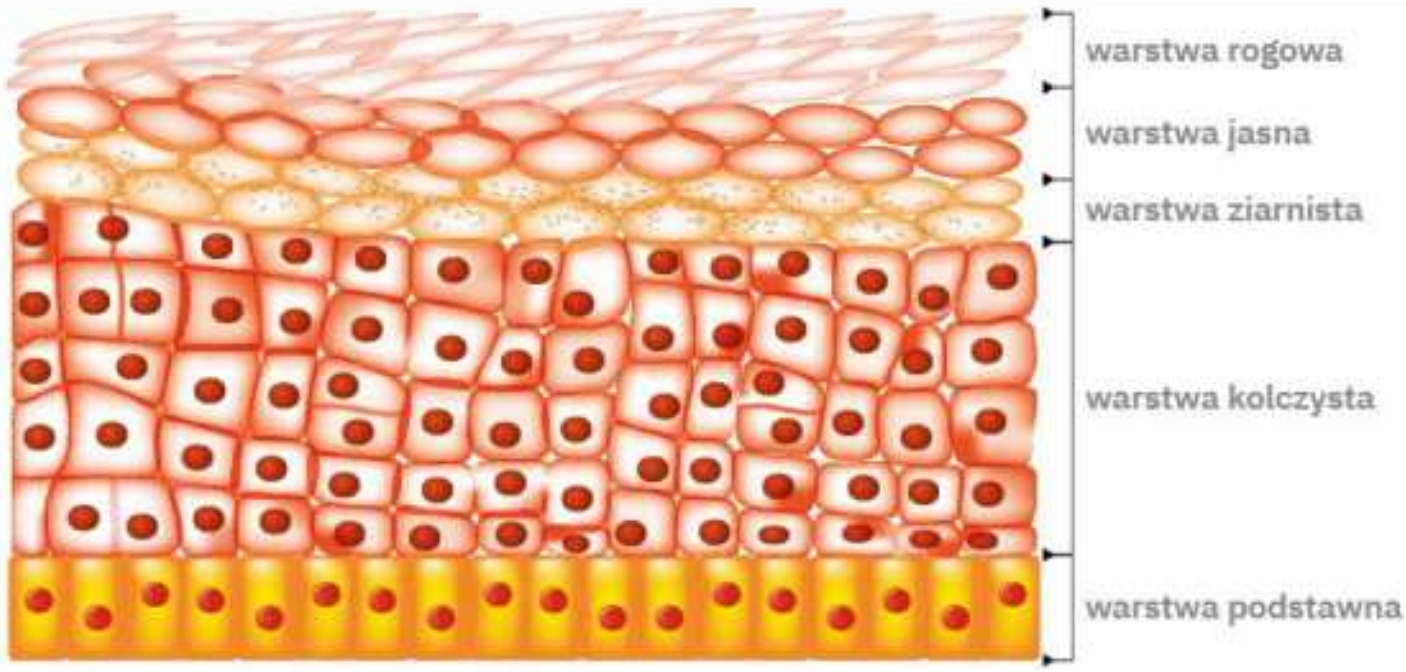
warstwa rozrodcza

skóra właściwa

Skóra właściwa jest utworzona z tkanki łącznej oraz włókien białkowych (kolagenowych i elastynowych), które nadają skórze sprężystość i wytrzymałość. U ptaków i ssaków pod skórą właściwą znajduje się tkanka podskórna zbudowana głównie z tkanki tłuszczowej, pełniąca funkcje termoregulacyjne. U ludzi głównymi komórkami w skórze właściwej są fibroblasty, makrofagi i komórki tuczne. Fibroblasty to najliczniejsze komórki tkanki łącznej właściwej, z wyraźnym jądrem komórkowym. Produkują kolagen zapewniający skórze elastyczność i wysoką odporność na rozciąganie. W czasie procesu gojenia się ran fibroblasty przechodzą intensywne podziały mitotyczne, co znacznie przyspiesza ten proces. Makrofagi i komórki tuczne są elementem odporności nieswoistej w skórze. Dodatkowo na skórę właściwą składają się:

- naczynia krwionośne i chłonne;
- receptory czuciowe (zakończenia nerwów czuciowych), które są wrażliwe na dotyk, temperaturę, ucisk i ból, – gruczoły potowe i ich przewody wyprowadzające;

- gruczoły łojowe;
- włosy i mięśnie przywłosowe.



Ryc. II.32.4. Budowa naskórka.

Wytwory skóry

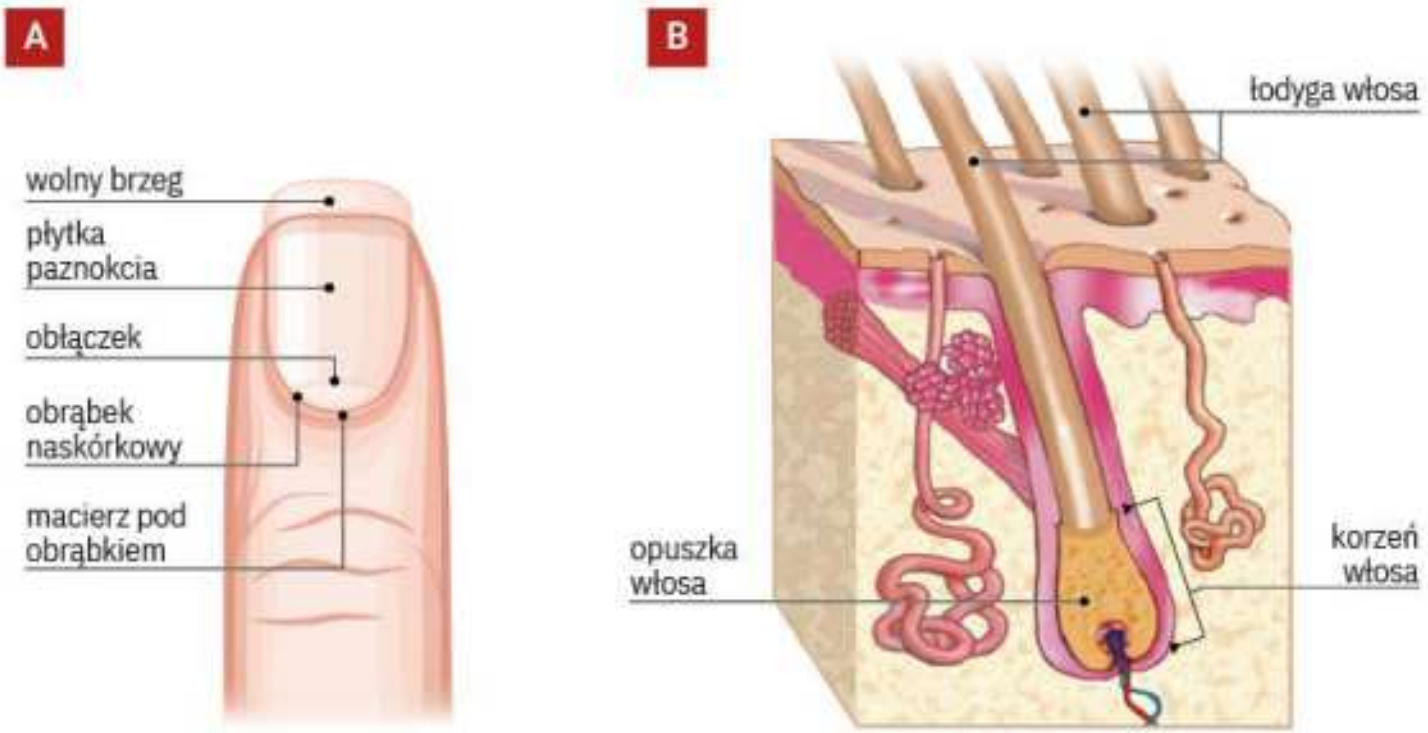
wytwory skóry

wytwory naskórka

Wytwory skóry kręgowców są bardzo zróżnicowane (**ryc. II.32.5.**). Wytworami naskórka człowieka są włosy, paznokcie (**ryc. II.32.6.**) oraz gruczoły łojowe, potowe i mleczne (**tab. II.32.3.**). **Włosy** są zbudowane głównie z martwych komórek wy-

Ryc. II.32.5. Przykłady wytworów naskórka: rogi są wytworami skóry właściwej, np. u żyrafy, lub naskórka, np. u nosorożca (A); łuski ryb czy gadów, np. zaskrońca, (B); pióra ptaków (C); pazury (D); kopyta (E).

pełnionych keratyną. Włos składa się z korzenia oraz wystającej ponad powierzchnię skóry łodygi (**ryc. II.32.6**.). Barwa włosów jest uwarunkowana genetycznie i zależy od ilości zawartej w nich melaniny. U człowieka włosy utraciły swoją pierwotną funkcję izolacyjną i mają postać szczątkową. **Paznokcie** są zbudowane z twardych, rogowych komórek wypełnionych keratyną. Chronią opuszki palców rąk i nóg. Paznokieć składa się z korzenia zagłębionego w skórze oraz płytki paznokciowej, która stanowi jego wysuniętą część (**ryc. II.32.6**.). Paznokcie palców rąk rosną znacznie szybciej niż paznokcie palców nóg, a ich wzrost zależy m.in. od stanu zdrowia i temperatury otoczenia.

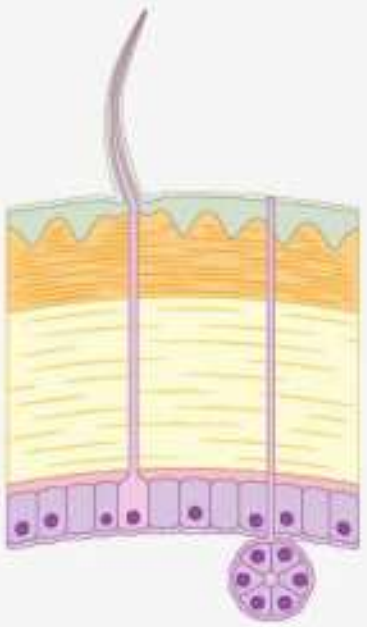


Ryc. II.32.6. Wytwory naskórka: paznokcie (A) i włosy (B).

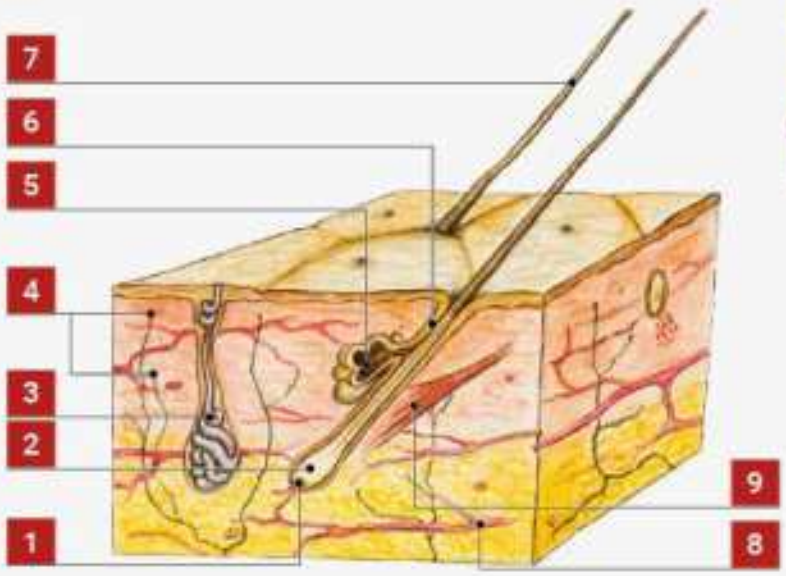
Tab. II.32.2. Rodzaje gruczołów skórnych

Cecha	Gruczoły potowe	Gruczoły łojowe	Gruczoły mlekowe
Funkcja	Wydzielają pot, który odgrywa ważną rolę w regulacji ciepłoty ciała – parowanie potu z powierzchni skóry obniża jej temperaturę; kwaśny odczyn potu ma właściwości antybakteryjne.	Wydzielają łój, który nadaje skórze miękkość i elastyczność, zapobiega jej pękaniu, tworzy warstwę wodoodporną skóry i ma właściwości bakterio- i grzybobójcze.	Są to zmodyfikowane gruczoły potowe, zbudowane z tkanki tłuszczowej. Wydzielają mleko (proces zależny od hormonów produkowanych w czasie ciąży). Mleko zawiera substancje odżywcze oraz przeciwciała niezbędne dla noworodka.
Występowanie	Są szeroko rozrzucone po całej skórze, najliczniej występują na powierzchni dłoni, podeszwach stóp, pod pachami, w pachwinach.	Występują na powierzchni całej skóry, z wyjątkiem dłoni i stóp; najliczniejsze są na owłosionej skórze głowy, na twarzy i pod pachami.	W pełni rozwinięte występują u dorosłych kobiet. Są aktywne w drugiej połowie ciąży i po porodzie.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA



1. Omów podobieństwa i różnice w budowie i funkcjach pokrycia ciała u bezkręgowców.
2. Czy na schemacie obok przedstawiono budowę skóry zwierzęcia kręgowego czy bezkręgowego? Uzasadnij swoją odpowiedź.
3. Nazwij elementy budujące skórę właściwą ukazane na poniższym schemacie. Zadanie wykonaj w zeszycie.
4. Skonstruuj w zeszycie tabelę, w której porównasz rodzaje i funkcje wytworów skóry kręgowców (w tym człowieka).
5. Omów funkcje elementów wchodzących w skład skóry człowieka: keratyny, kolagenu, melanin.



PODSUMOWANIE LEKCJI

- Ciało zwierząt pokrywa tkanka nabłonkowa, której zewnętrzna warstwa nazywa się **naskórkiem**. s. 375
- Skóra zwierząt stanowi **ochronę ciała przed wpływem środowiska zewnętrznego**. s. 375
- **Naskórek bezkręgowców** jest zbudowany z jednowarstwowego nabłonka, którego budowa i funkcje są zróżnicowane u poszczególnych grup. s. 375
- **Ciało parzydełkowców** pokrywa warstwa komórek nabłonkowo mięśniowych. U **płazińców**, obleńców i pierścienic występuje wór powłokowo-mięśniowy. **Stawonogi** wykształciły szkielet zewnętrzny. **Mięczaki** są pokryte nabłonkiem z komórkami śluzowymi. U **szkarłupni** występuje szkielet wewnętrzny w postaci płytek z kolcami. s. 376
- **Skóra kręgowców** składa się z naskórka oraz skóry właściwej. s. 377
- Naskórek to powierzchniowa warstwa skóry. Jest zbudowany z wielu **warstw rogowaciejących** komórek nabłonkowych. s. 378
- **Warstwa rogowa** naskórka zawiera keratynę zapewniającą wytrzymałość i elastyczność. s. 378
- **Warstwa rozrodcza** produkuje nowe komórki i syntetyzuje melaniny odpowiadające za kolor skóry. s. 378
- **Skóra właściwa** jest utworzona z tkanki łącznej i włókien kolagenowych. U ptaków i ssaków pod skórą właściwą znajduje się tkanka podskórna. s. 378
- W **skórze właściwej** człowieka znajdują się fibroblasty, komórki odpornościowe, naczynia krwionośne, receptory czuciowe, gruczoły oraz włosy. s. 378
- **Wytworami skóry** u kręgowców są m.in.: łuski, pióra, rogi, kopyta, pazury. s. 379
- **Wytworami naskórka** człowieka są włosy, paznokcie oraz gruczoły łojowe, potowe i mlekowe. s. 379

33. Funkcje skóry u zwierząt

NA TEJ LEKCJI:

- dowiesz się, jakie funkcje pełni skóra;
- zapoznasz się z mechanizmami termoregulacji u zwierząt;
- uzyskasz informacje o najczęstszych chorobach skóry u człowieka.

funkcje skóry

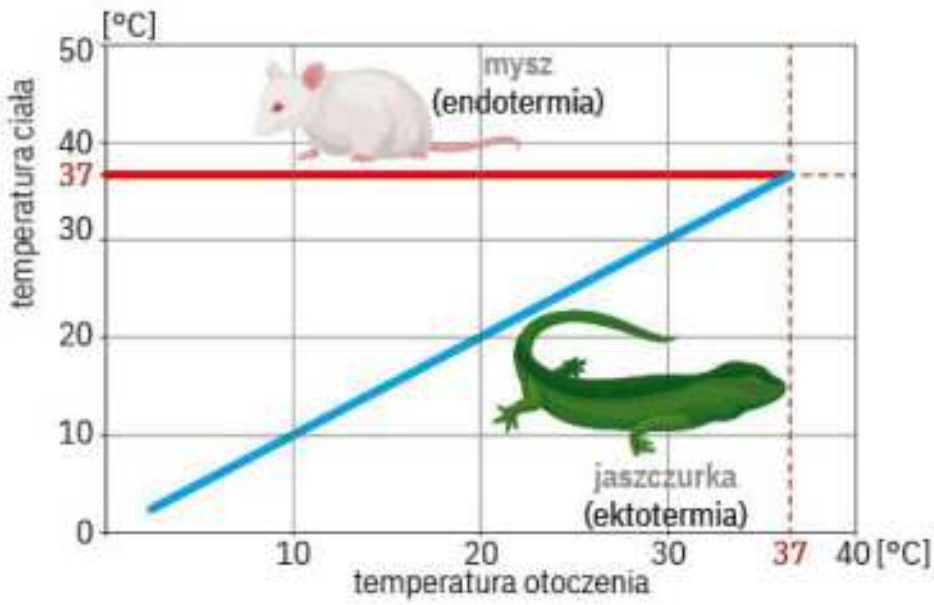
Funkcje skóry

Skóra pełni wiele istotnych funkcji, do których należą ochrona i regulacja ciepłoty ciała. W skórze ssaków ma miejsce wytwarzanie prowitaminy D. **Ochronna funkcja skóry** polega na zapewnianiu przez nią szczelnej bariery przeciwko wnikaniu drobnoustrojów, toksyn czy zabezpieczenia przed szkodliwym działaniem czynników zewnętrznych (zmian temperatury, promieniowania UV). Dzięki swojej budowie skóra zapobiega także odwodnieniu. Zdrowa, nieuszkodzona skóra to jeden z najważniejszych mechanizmów obrony nieswoistej organizmu.

termoregulacja

Termoregulacja

Termoregulacja to proces, w którym zwierzęta utrzymują wewnętrzną **ciepłotę ciała** w tolerowanym zakresie (u ludzi ok. 37°C). W szerokim zakresie temperatury otoczenia termoregulacja jest niezbędna, aby zachodziły reakcje enzymatyczne i przebiegał metabolizm. Każdy gatunek ma optymalny dla siebie zakres temperatury. Źródłami ciepła dla zwierząt są metabolizm oraz środowisko zewnętrzne. Wyróżniamy dwie grupy zwierząt: endotermiczne i ektotermiczne (**ryc. II.33.1**).



Ryc. II.33.1. Zmiany temperatury ciała w zależności od zmian temperatury otoczenia u zwierząt endotermicznych (mysz) i ektotermicznych (jaszczurka).

zwierzęta endotermiczne

U **endotermów** ciepło pochodzi głównie z metabolizmu. Endotermami są ssaki i ptaki a także niektóre ryby (np. tuńczyk i wybrane gatunki rekinów). Zwierzęta endotermiczne potrafią utrzymać stałą temperaturę ciała nawet wtedy, gdy temperatura

otoczenia waha się w szerokim zakresie. W środowisku o niskiej temperaturze endotermy wytwarzają więcej ciepła, aby utrzymać wyższą temperaturę ciała niż temperatura otoczenia. W gorącym środowisku zwierzęta endotermiczne uruchamiają mechanizmy pozwalające im na schładzanie organizmu. Zwiększenie ciepłoty ciała wynika z tempa przemiany materii (w wyniku aktywności m.in. mięśni szkieletowych czy wątroby), a obniżenie – z jego spadku. Człowiek większość ciepła traci przez skórę (resztę wraz z moczem, kałem i wydychanym powietrzem). Ochładzanie ciała następuje przede wszystkim na skutek **parowania potu**, ale także **przewodzenia ciepła** (przez przedmioty stykające się ze skórą, np. odzież) i **wypromieniowania ciepła** do otoczenia. O ilości ciepła traconego przez skórę decyduje przede wszystkim przepływ krwi przez naczynia krwionośne skóry. Wzrost ciepłoty ciała powoduje ich rozszerzanie się i napływ większej ilości krwi. Skóra staje się ciepła i różowa. Przy spadku wytwarzania ciepła w organizmie i przy niskiej temperaturze otoczenia naczynia krwionośne się zwężają i przepływa przez nie mniej krwi.

◂ **ochładzanie ciała**

◂ **przepływ krwi**

Ciepło **zwierząt ektotermicznych** pochodzi głównie ze źródeł zewnętrznych. Ektotermami są płazy, jaszczurki, węże, żółwie, większość ryb i bezkręgowców. Zwierzęta ektotermiczne tolerują wyższe wahania temperatury wewnętrznej. Ponieważ źródłem ciepła jest środowisko, nie potrzebują one aż tak dużo pożywienia, od którego zależy tempo przemian metabolicznych. Regulacja temperatury ciała u tych zwierząt odbywa się poprzez odpowiednie zachowania (termoregulacja behawioralna), np. grzanie się w słońcu, chowanie się w cieniu (**ryc. II.33.2.**). Innymi adaptacjami jest **odrętwienie** lub wędrówki związane ze zmianą klimatu. W niektórych porach roku, kiedy temperatura jest bardzo wysoka lub bardzo niska, zwierzęta obniżają swoją aktywność i metabolizm oraz przechodzą w stan odrętwienia. **Hibernacja,** czyli **sen zimowy,** to długotrwały stan odrętwienia powodowany niskimi temperaturami i brakiem pożywienia. U ptaków i ssaków w stanie hibernacji temperatura ciała się obniża, co ma związek z wyłączaniem mechanizmów odpowiedzialnych za jej regulację. Dzięki hibernacji zwierzę oszczędza energię, ponieważ tempo przemiany materii w tym stanie jest minimalne. W takim stanie może przeżyć zimę tylko dzięki zapasom energii zmagazynowanej w tkankach ciała. Do zwierząt hibernujących należą m.in.: kolczatki, jeże (**ryc. II.33.3.**), susły, niedźwiedzie, borsuki, nietoperze. Podobna sytuacja ma miejsce w wypadku **snu letniego** (estywacji), czyli odrętwienia spowodowanego okresami wysokiej temperatury i braku wody. W sen letni zapadają m.in.: żółwie pustynne, krokodyle, salamandry czy lemur karłowaty.

◂ **zwierzęta ektotermiczne**

◂ **wahania temperatury**

◂ **odrętwienie**

◂ hibernacja

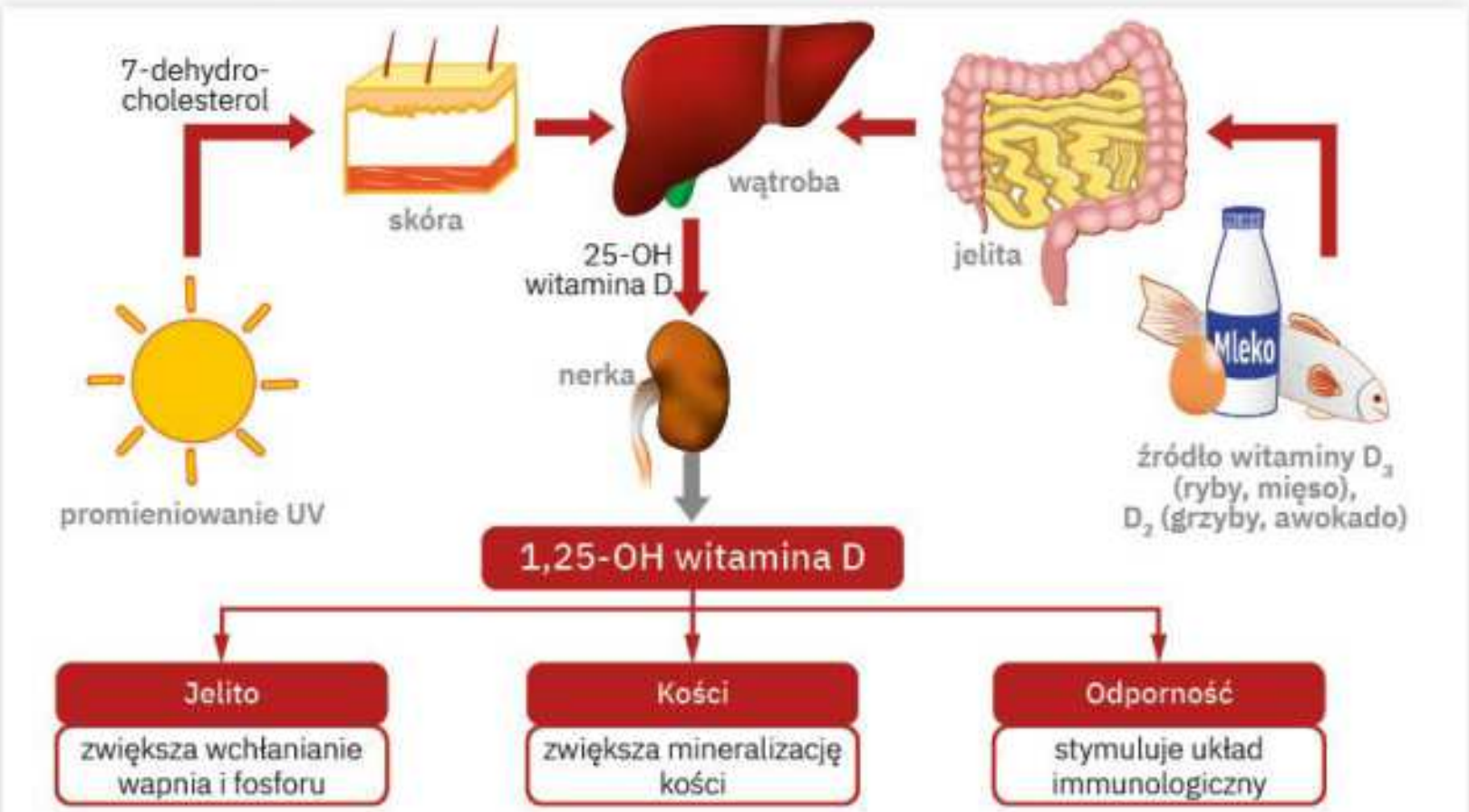
Ryc. II.33.2. Termoregulacja behawioralna u jaszczurki.

Ryc. II.33.3. Jeż (A) i świstak (B) są zwierzętami hibernującymi.

synteza prowitaminy D

Synteza prowitaminy D w skórze

Witamina D_3 (cholekalcyferol) w organizmie ssaków pochodzi z dwóch źródeł. Jednym z nich jest pokarm, m.in.: ryby, jaja, wątroba zwierzęca, produkty mleczne. Po wchłonięciu z przewodu pokarmowego witamina jest transportowana przez limfę i krew do wątroby. Drugie źródło witaminy D to synteza skórna. W skórze ssaków występuje 7-dehydrocholesterol, który pod wpływem promieni ultrafioletowych światła słonecznego (w zakresie 290–320 nm) przekształca się w **prowitaminę D**. Związek ten podlega przemianom w wątrobie, a następnie w nerce, gdzie powstaje aktywna biologicznie forma witaminy D, czyli 1,25-dihydroksywitamina D (1,25-OH witamina D). Jest ona niezbędna w regulacji gospodarki wapniowo-fosforanowej i w utrzymaniu właściwego stanu kości. Reguluje także inne czynności i funkcje organizmu (**ryc. II.33.4.**).

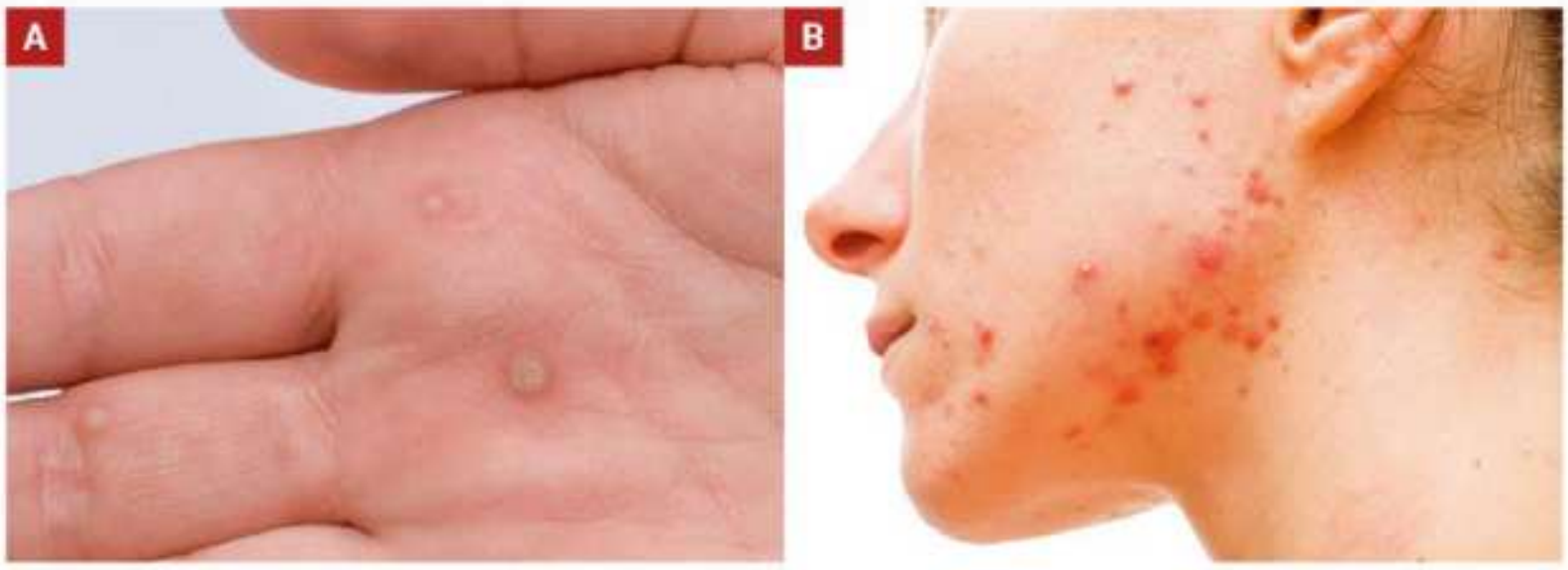


Ryc. II.33.4. Udział skóry w syntezie i metabolizmie witaminy D.

Choroby i profilaktyka skóry u człowieka

schorzenia skóry człowieka

Skóra stanowi barierę między organizmem a środowiskiem zewnętrznym, dlatego jest narażona na wiele czynników powodujących jej choroby. Choroby skóry są częstą przypadłością. W **tabeli II.33.1.** przedstawiono wybrane, najczęściej spotykane schorzenia skóry u człowieka.



Ryc. II.33.5. Do częstych problemów skórnych należą kurzajki (A) i trądzik (B).

Tab. II.33.1. Wybrane schorzenia skóry

Choroba	Przyczyna, objawy i leczenie
Brodawki (kurzajki)	Brodawki zwane potocznie kurzajkami powstają na skutek zakażenia wirusem brodawczaka ludzkiego (HPV). Objawem zakażenia są grudkowate zmiany skórne, które najczęściej lokalizują się na dłoniach i stopach. Do działań profilaktycznych zaliczamy unikanie kontaktu z osobą zarażoną, noszenie obuwia ochronnego (np. na basenie). Leczenie brodawek opiera się na ich wymrażaniu, farmakoterapii lub ich chirurgicznym usunięciu.
Opryszczka	Ta choroba zakaźna, wywołana przez wirusa opryszczki HSV, objawia się ropnymi pęcherzykami na wargach lub na narządach płciowych. Do zwalczania tej choroby stosuje się leki przeciwwirusowe.
Grzybica	Polega na powierzchniowym zakażeniu skóry wywołanym przez grzyby. Zmiany występują najczęściej na skórze głowy lub na stopach (między palcami). Należy unikać kontaktu z zarażonymi osobami oraz dezynfekować obuwie i odzież. Leczenie polega na stosowaniu leków doustnych i preparatów zewnętrznych.
Zapalenie skóry	To choroba skóry o ostrym lub przewlekłym przebiegu. Objawia się zaczerwienieniem, obrzękiem, świądem, łuszczeniem się skóry. Atopowe zapalenie skóry ma podłoże genetyczne związane z uszkodzeniem skóry, przez którą mogą przechodzić drobnoustroje czy alergeny. Kontaktowe zapalenie skóry jest wywoływane przez kontakt z czynnikami drażniącymi (np. kosmetykami) lub reakcją związaną z nadwrażliwością (np. na nikiel czy barwniki).
Łuszczyca	Choroba o złożonym podłożu (genetycznym, immunologicznym i środowiskowym). Polega na szybkim wzroście komórek naskórka głębszych warstw, co uniemożliwia pełne dojrzewanie górnych warstw. Skóra jest błyszcząca i łuszczy się, może dochodzić do krwawień. Łuszczyca najczęściej pojawia się na łokciach, kolanach, skórze głowy.

Choroba	Przyczyna, objawy i leczenie
Trądzik	Zazwyczaj pojawia się w okresie młodzieńczym (częściej u chłopców) i ma związek ze wzmożoną produkcją hormonów. Charakterystyczne krosty powstają w wyniku blokowania gruczołów łojowych i ich zakażenia. Trądzik najczęściej pojawia się na twarzy, klatce piersiowej i plecach.

czerniak ▸ Osobnym problemem są nowotwory skóry, w tym złośliwe. **Czerniak złośliwy** to nowotwór, którego przyczyną jest nadmierne namnażanie się melanocytów (komórek barwnikowych skóry). Zwykle zaczyna się od znamienia na skórze (o nieregularnych zarysach), po czym może się zmieniać w krwawiące owrzodzenie (**ryc. II.33.6.**). Czynnikami sprzyjającymi powstawaniu tego nowotworu są: jasna barwa skóry, długotrwała, częsta ekspozycja na promieniowanie słoneczne (naturalne i sztuczne) oraz oparzenia słoneczne. Czerniak daje często przerzuty, zwykle do węzłów chłonnych i innych narządów (np. wątroby, mózgu, płuc i szpiku kostnego). Profilaktyka czerniaka opiera się na ochronie przed słońcem (stosowaniu filtrów i okularów przeciwsłonecznych oraz unikaniu długiego przebywania na słońcu, niekorzystaniu z solariów). Bardzo istotnym elementem profilaktycznym są badania przesiewowe oraz badania w celu wykrycia wczesnych zmian. Każde nowo powstałe znamię skórne należy skonsultować z lekarzem. Leczenie czerniaka opiera się na chirurgicznym usunięciu guza. W zależności od rodzaju zmian i ich zakresu leczenie operacyjne jest połączone z immunoterapią, farmakoterapią i chemioterapią.

promieniowanie UV ▸ **Promieniowanie UV** przyczynia się także do starzenia się skóry. Pod wpływem promieniowania UVA tworzą się w skórze reaktywne formy tlenu, które prowadzą do fotostarzenia skóry, czyli uszkadzania fibroblastów włókien kolagenowych i elastynowych, warunkujących elastyczność i jędrność skóry. Efektem tych uszkodzeń jest widoczna utrata sprężystości i wiotczenie skóry, a także pojawianie się bruzd i zmarszczek.

Ryc. II.33.6. Powierzchownym objawem czerniaka złośliwego jest asymetryczne znamię. Czerniak sięga w głąb skóry i przez naczynia krwionośne dociera do wnętrza organizmu.

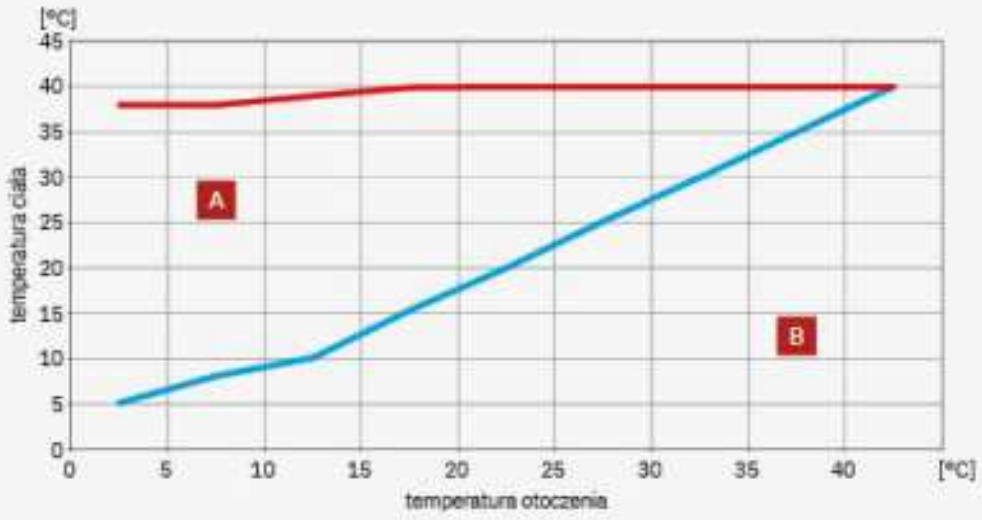
Ryc. II.33.7. Dermoskop służy do badania zmian na powierzchni skóry.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Dokonaj analizy diagramu i wykonaj polecenia.

a) Zdecyduj, który z wykresów (A czy B) dotyczy zwierząt ektotermicznych.

b) Podaj trzy przykłady gatunków, u których zmiana temperatury ciała zachodzi zgodnie ze wskazaną przez ciebie zależnością.



2. Wyjaśnij różnicę pomiędzy hibernacją i estywacją. Podaj po dwa przykłady zwierząt, u których zachodzą te zjawiska.

3. Omów mechanizm syntezy skórnej witaminy D oraz podaj jej fizjologiczną rolę.

4. Podaj dwa przykłady chorób wirusowych skóry i omów jedną z nich.

5. W dostępnej literaturze znajdź informacje na temat nowotworów skóry, poza czerniakiem. Sporządź w zeszycie krótką notatkę na ten temat.

6. Na wykresie przedstawiono zakres syntezy witaminy D_3 w ciągu roku u ludzi mieszkających w Rzymie i Dublinie. Podaj trzy wnioski wynikające z analizy tego wykresu.

PODSUMOWANIE LEKCJI

- Skóra pełni **funkcje ochronne i termoregulacyjne**. W jej obrębie przebiega synteza witaminy D. ◂ s. 382
- **Termoregulacja** to proces utrzymywania przez zwierzęta wewnętrznej ciepłoty ciała w tolerowanym zakresie. ◂ s. 382
- **Zwierzęta endotermiczne** (ssaki, ptaki, niektóre ryby) uzyskują ciepło głównie z metabolizmu i potrafią utrzymywać stałą temperaturę ciała pomimo znacznych wahań temperatury otoczenia. ◂ s. 382
- Człowiek większość ciepła traci przez skórę. **Ochładzanie ciała** następuje poprzez parowanie potu, przewodzenie i wypromieniowanie ciepła. ◂ s. 383
- Ilość ciepła jest regulowana **przepływem krwi**. Wzrost ciepłoty powoduje rozszerzenie naczyń krwionośnych i napływ większej ilości krwi. W przypadku spadku ciepłoty naczynia krwionośne się zwężają i krwi płynie mniej. ◂ s. 383
- Ciepło **zwierząt ektotermicznych** (płazy, jaszczurki, węże, żółwie, większość ryb i bezkręgowce) pochodzi głównie z otoczenia. ◂ s. 383

s. 383 ▸ • Ektotermy tolerują szerokie **wahania temperatury**. Regulacja ciepłoty ciała następuje w wyniku odpowiednich zachowań (np. wygrzewania się w słońcu) lub przechodzenia w stan odrętwienia.

s. 383 ▸ • Wyróżnia się dwa typy **odrętwienia**: sen zimowy (hibernacja) spowodowany niskimi temperaturami i brakiem pożywienia oraz sen letni (estywacja) wywołany wysokimi temperaturami i brakiem wody.

s. 384 ▸ • **Synteza prowitaminy D** odbywa się w skórze pod wpływem promieniowania UV. Dalsze przemiany prowitaminy D zachodzą w wątrobie i w nerkach.

s. 385 ▸ • Do częstych **schorzeń skóry człowieka** zalicza się: brodawki, grzybicę, łuszczycę oraz trądzik.

s. 386 ▸ • **Czerniak** to jeden z nowotworów złośliwych skóry objawiający się rozlanym znamieniem. Ryzyko zachorowania znacznie wzrasta pod wpływem ekspozycji na promieniowanie słoneczne.

s. 386 ▸ • **Promieniowanie UV** przyspiesza procesy starzenia się skóry poprzez uszkadzanie fibroblastów oraz włókien kolagenowych i elastynowych.

34. Strategie rozrodcze zwierząt

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz rodzaje rozmnażania bezpłciowego;
- dowiesz się, na czym polega rozmnażanie płciowe;
- zapoznasz się z typami zapłodnienia;
- uzyskasz informacje na temat form rozrodu zwierząt;
- przeanalizujesz różnorodną budowę jaj zwierząt.

rozmnażanie płciowe i bezpłciowe ▸ Jedną z podstawowych cech definiujących życie jest zdolność organizmów do rozmnażania, czyli podtrzymywania istnienia gatunku. Większość zwierząt rozmnaża się płciowo, a niektóre rozmnażają się bezpłciowo. Są także takie gatunki, które mogą dostosować typ rozrodu do warunków. Istnieje wiele rodzajów obu typów rozmnażania.

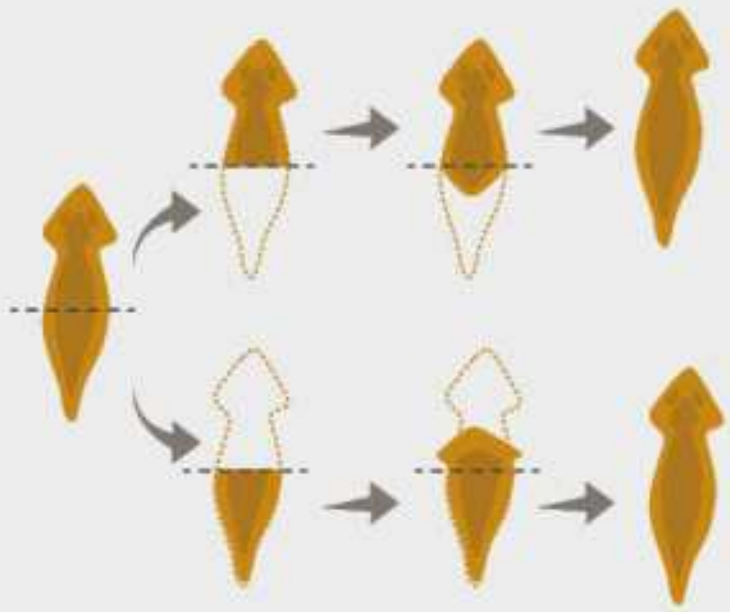
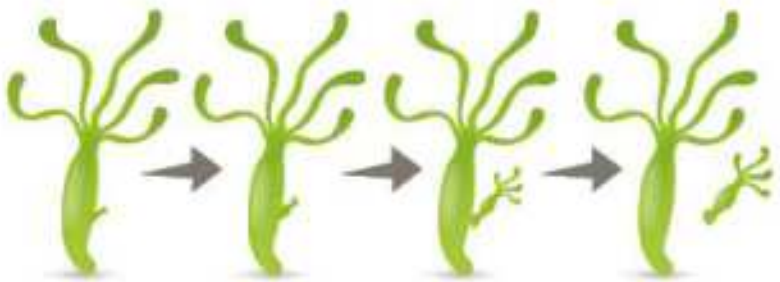
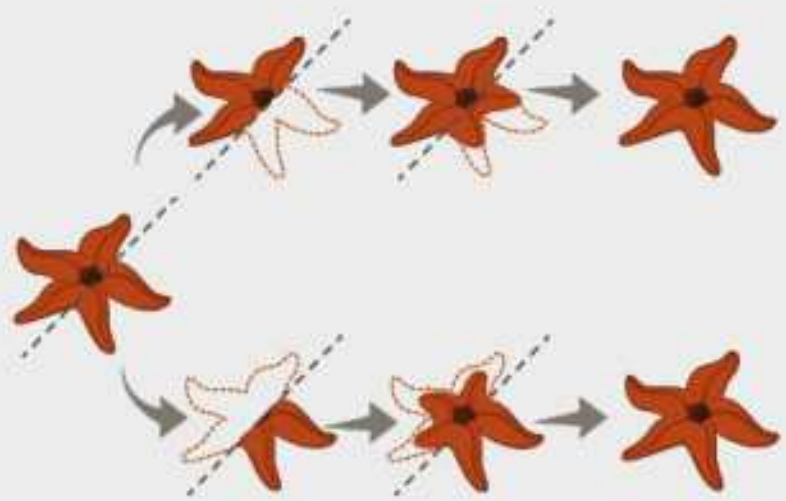
rozmnażanie bezpłciowe ▸

Rozmnażanie bezpłciowe

Rozmnażanie bezpłciowe polega na tym, że z jednego osobnika macierzystego powstają osobniki potomne, zwykle identyczne pod względem genetycznym. W tym rodzaju rozrodu nie dochodzi do wytwarzania gamet. Rozmnażanie bezpłciowe występuje m.in.: u gąbek, parzydełkowców, niektórych wrotków, płazińców i pierścienic oraz niektórych kręgowców. Rozród bezpłciowy występuje zwykle u zwierząt prowadzących osiadły tryb życia lub gdy występują w małych populacjach, w których szansa na zalezienie partnera jest mała.

Wyróżniamy trzy główne typy rozmnażania bezpłciowego: podział komórki, pączkowanie lub fragmentację. Formą rozrodu bezpłciowego jest także partenogeneza (**tab II.34.1.**).

Tab. II.34.1. Charakterystyka typów rozmnażania bezpłciowego

Typ rozmnażania bezpłciowego	Opis	Przykład organizmów, u których występuje
Podział organizmu rodziecielskiego	Podział osobnika rodzicielskiego na dwa osobniki potomne o zbliżonej wielkości. Podział może być poprzeczny (np. u wirków, których ciało rozdziela się na odcinek głowowy i ogonowy, a każda część regeneruje brakującą część) lub podłużny (np. u wiciowców).	 wirki, pierścienice, polipy koralowe
Pączkowanie	Polega na oddzieleniu się małego fragmentu ciała (tzw. pączka) od osobnika rodzicielskiego. Z pączka rozwija się nowy osobnik. Zdarza się, że pączek nie oddziela się od organizmu macierzystego i tworzy wraz z nim kolonię.	 gąbki, koralowce, parzydełkowce (np. stułbia)
Fragmentacja	Następuje przez rozpad ciała osobnika macierzystego na fragmenty, z których powstają nowe osobniki. Występuje u zwierząt zdolnych do regeneracji części ciała.	 płazińce, pierścienice, rozgwiazdy

Typ rozmnażania bezpłciowego	Opis	Przykład organizmów, u których występuje
Partenogeneza (dzieworództwo)	Z niezapłodnionej komórki jajowej rozwija się dorosły, haploidalny osobnik. Niektóre gatunki rozmnażają się wyłącznie partenogenetycznie (partenogeneza stała), inne naprzemiennie z rozmnażaniem płciowym (partenogeneza cykliczna). U niektórych owadów występuje w cyklu rozwojowym w stadium larwalnym. Partenogeneza jest sposobem na znaczne zwiększenie w krótkim czasie liczebności populacji.	owady (pszczoły, osy, mrówki), skorupiaki, nicienie, ślimaki, niektóre ryby (np. rekiny), płazy i gady (np. waran z Komodo)

rozmnażanie płciowe

Rozmnażanie płciowe

W porównaniu do rozmnażania płciowego rozród bezpłciowy jest bardziej wydajny i szybszy (w krótkim czasie powstaje dużo potomstwa). Rozmnażanie płciowe wymaga zaangażowania dwóch osobników i energochłonnej produkcji gamet. Jednak przewagą rozrodu płciowego jest zwiększenie **genetycznej różnorodności** danego gatunku. Każdy nowo powstały osobnik jest wynikiem unikatowej kombinacji genów wywodzących się od obojga rodziców, co zwiększa szanse przeżycia osobnikom potomnym zwłaszcza w warunkach szybko zachodzących zmian środowiska. Dodatkowo potomstwo zwierząt rozmnażających się płciowo jest diploidalne, czyli ma dodatkową kopię każdego genu. W wypadku rozmnażania bezpłciowego osobnik potomny jest genetyczną kopią rodzica. Ten sposób rozmnażania przynosi korzyści w stabilnych, sprzyjających warunkach, dlatego że pozwala na szybki rozród i optymalne wykorzystanie zasobów pokarmowych otoczenia.

W przebiegu rozmnażania płciowego zachodzi wytwarzanie i łączenie się dwóch rodzajów **gamet** – komórki jajowej i plemnika. Akt płciowy przebiega z udziałem dwóch osobników: męskiego, dostarczającego plemnik, oraz żeńskiego – dawcy komórki jajowej. Komórka jajowa jest zwykle większa niż plemnik. Zawiera materiał genetyczny przekazywany od samicy, a także materiały odżywcze niezbędne dla rozwijającego się zarodka. Plemnik jest mały i ruchliwy, a jego materiał genetyczny zawiera cechy dziedziczone po ojcu. Z rozrodem płciowym wiążą się zmiany funkcjonalne oraz behawioralne zwierząt (gody). U kręgowców jest on regulowany przez hormony (podwzgórza, przysadki i gonad).

zapłodnienie

Połączenie haploidalnych gamet – komórki jajowej i plemnika – w wyniku **zapłodnienia** prowadzi do powstania diploidalnej **zygoty**, która rozwija się w nowy organizm. U zwierząt występują dwa rodzaje zapłodnienia: **zewnętrzne i wewnętrzne** (**tab. II.34.2**.).

Tab. II.34.2. Rodzaje zapłodnienia

Zapłodnienie zewnętrzne	Zapłodnienie wewnętrzne
Zachodzi w środowisku wodnym i polega na połączeniu się gamet poza organizmem macierzystym. Najczęściej samiec i samica uwalniają do wody duże ilości jaj i plemników, z których część połączy się w zygotę, inne natomiast zginą lub zostaną zjedzone przez drapieżniki. Aby zwiększyć szanse zapłodnienia, osobniki obu płci gromadzą się w tym samym czasie w wodzie, co nazywamy **tarłem**. U innych sygnałem do uwolnienia gamet są temperatura, długość dnia czy cykl księżycowy. Występuje u zwierząt wodnych: większości bezkręgowców, ryb i płazów (**ryc. II.34.1.**).	Samiec w akcie płciowym (kopulacji) wprowadza nasienie bezpośrednio do organizmu samicy. Budowa narządów rozrodczych samicy umożliwia magazynowanie, przemieszczanie się plemników i dotarcie ich do komórki jajowej. Zapłodnienie ma miejsce wewnątrz organizmu. Zarodek w trakcie rozwoju ma zapewnioną ochronę przed utratą wody i wpływem czynników zewnętrznych. Występuje u zwierząt lądowych: gadów, ptaków, ssaków, a także u niektórych zwierząt wodnych (np. rekinów).

Ryc. II.34.1. Zapłodnienie zewnętrzne występuje u żab (A), a krzyżowe – u dżdżownic (B).

hermafrodytyzm

Jedną z form rozmnażania płciowego jest **hermafrodytyzm**. Polega na tym, że pojedynczy osobnik jest zarówno samcem, jak i samicą – produkuje jaja oraz plemniki. U niektórych gatunków hermafrodytycznych, np. u tasiemców, występuje samozapłodnienie. U innych hermafrodytów (np. u dżdżownic) dochodzi do wymiany plemników pomiędzy dwoma osobnikami w wyniku krzyżowego zapłodnienia komórek jajowych (**ryc. II.34.1B**). Niektóre gatunki ryb oraz ostryg mogą także zmieniać płeć w trakcie cyklu życiowego. Warto zaznaczyć, że zwierzęta mogą rozmnażać się wyłącznie bezpłciowo, płciowo albo mogą zmieniać sposób rozmnażania. U większości zwierząt aktywność płciowa jest cykliczna oraz wiąże się z porami roku i z uwarunkowaną tym dostępnością pokarmu.

Formy rozrodu płciowego zwierząt

zwierzęta jajorodne, jajożyworodne i żyworodne

- Podział form rozrodu zwierząt na **jajorodne, jajożyworodne i żyworodne** opiera się na dwóch kryteriach:
  - sposobu, w jaki potomstwo opuszcza ciało samicy; występują zwierzęta składające jaja oraz rodzące młode (bez osłonek jajowych);
  - źródła substancji pokarmowych pobieranych przez rozwijający się zarodek; energia ta może pochodzić tylko z żółtka lub najpierw z żółtka, a później z organizmu matki.

jajorodność

- **Jajorodność** polega na składaniu jaj do środowiska zewnętrznego. Ta forma rozrodu występuje m.in. u ryb chrzęstnoszkieletowych, płazów beznogich i ogoniastych, gadów, ptaków i niektórych ssaków (dziobaka i kolczatki) (**ryc. II.34.2.**).

Ryc. II.34.2. Przykłady zwierząt jajorodnych.

jajożyworodność

- **Jajożyworodność** oznacza, że zarodki rozwijają się w osłonkach jajowych przetrzymywanych w drogach rodnych samicy. Źródłem substancji pokarmowych dla rozwijającego się zarodka jest wyłącznie żółtko obecne w jaju, nie pobierają substancji z organizmu samicy. Młode wylęgają się z osłonek tuż przed złożeniem jaj lub wkrótce po nim. Jajożyworodne są niektóre gady (np. jaszczurka żyworódka, żmije), płazy (np. salamandra plamista) oraz ryby (np. niektóre rekiny).

żyworodność

- **Żyworodność** polega na rozwoju zarodka w macicy i czerpaniu przez niego substancji odżywczych z organizmu matki poprzez łożysko. Zarodek opuszcza drogi rodne samicy jako organizm wolno żyjący. Żyworodność występuje u ssaków łożyskowych, torbaczy, ryb chrzęstnoszkieletowych i kostnoszkieletowych, płazów, gadów oraz nielicznych bezkręgowców (np. skorpiony, muchówki, chrząszcze, koniki morskie).

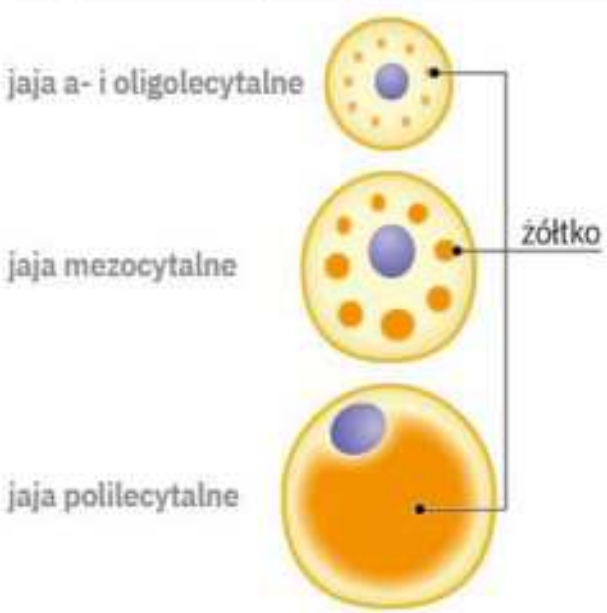
Ryc. II.34.3. Przykłady żyworodności.

Budowa jaja

Jajo jest jedną z faz rozwoju u wielu gatunków zwierząt. Jaja zawierają **żółtko** będące mieszaniną białek, lipidów i fosfolipidów, która odżywia rozwijający się zarodek. Jaja poszczególnych grup zwierząt różnią się ilością i rozmieszczeniem żółtka. Jaja ssaków łożyskowych mają mało żółtka, ponieważ odżywia ono zarodek tylko w początkowych etapach jego rozwoju. Później źródłem substancji odżywczych jest organizm matki. Takie jaja nazywamy **oligolecytalnymi** (ubogimi w żółtko). Jaja o średniej zawartości żółtka występują np. u płazów i określa się je **mezolecytalnymi**. Z kolei u ptaków i gadów jaja zawierają dużo żółtka, aby zapewnić odżywianie zarodka aż do wylęgu. Tego typu jaja nazywamy **polilecytalnymi** (**ryc. II.34.4**.).

jajo

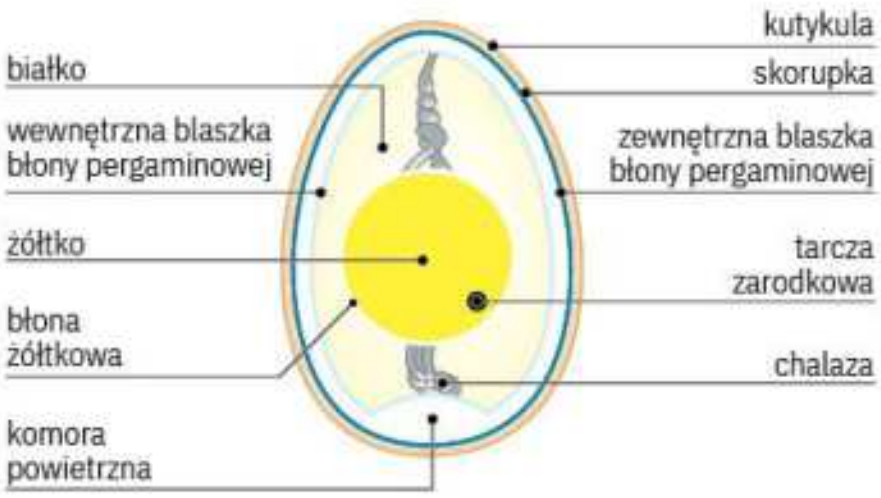
ilość i rozmieszczenie żółtka



Ryc. II.34.4. Podział jaj w zależności od ilości żółtka.

Rozmiar i budowa jaj zwierząt są bardzo zróżnicowane, zależą od środowiska i sposobu życia zwierząt. Z wyjątkiem niektórych parzydełkowców wszystkie jaja zwierzęce są otoczone błonami, z których najbardziej wewnętrzną nazywa się **błoną żółtkową**. U niektórych zwierząt (np. szkarłupni, żebropławów, płazińców) błona żółtkowa jest jedyną błoną w jaju. Kręgowce i wiele bezkręgowców ma jedną błonę lub więcej dodatkowych błon. Na przykład jaja owadów mają dodatkową grubą i twardą błonę, a jajo płazów jest otoczone śluzowatą otoczką. Jajo ptasie zawiera błonę żółtkową, białko,

dwie błony pergaminowe oraz skorupkę (**ryc. II.34.5.**). Jaja mogą być duże, jak w przypadku strusia (ok. 16 cm) czy ryby żarłacza śledziowego (22,5 cm długości), lub bardzo małe – np. u koliberka hawańskiego (6 mm). Jaja mają także różny kształt: od okrągłych do wydłużonych. Jaja ptaków gniazdujących na klifach czy stromych zboczach mają zaostrzone końce, co zapobiega ich staczaniu się. Różna jest także grubość skorupy jaja oraz jej zabarwienie (**ryc. II.34.5.**). Istotne przystosowania do wodnego środowiska życia mają jaja ryb, stawonogów i mięczaków (określane jako **ikra**). U większości gatunków morskich jaja zawierają kroplę tłuszczu, dzięki czemu mogą unosić się w wodzie i tam rozwijać. U gatunków słodkowodnych ikra jest cięższa od wody, dlatego opada na dno i tam się rozwija. Ikra niektórych gatunków wodnych ma kleistą osłonkę, dzięki której przyczepia się do roślin czy kamieni.



Ryc. II.34.5. Schemat budowy jaja ptaków.

Ryc. II.34.6. Jajo żółwia (A), szpaka (B), rekina (C), ikra miętusa (D), jaja ćmy pawicy grabówki (E), jajo emu australijskiego (F).

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Wytłumacz, dlaczego przeważająca liczba zwierząt rozmnaża się płciowo.

2. Wymień i omów dwa rodzaje rozmnażania bezpłciowego.

3. Przeczytaj poniższy tekst i wykonaj polecenia.

Znakomita większość gatunków ryb kostnoszkieletowych (prawie 97%) w okresie godowym uwalnia do wody ogromne ilości gamet. Gamety składane do wody ulegają szybko rozproszeniu, co zwiększa odległość między nimi i znacznie zmniejsza szanse zapłodnienia. Dodatkowym czynnikiem limitującym zapłodnienie jest fakt, że plemniki w środowisku zewnętrznym mają bardzo ograniczony czas, w którym zachowują zdolność do ruchu.

Na podstawie: A. Pecio, *Morfologiczne modyfikacje związane z inseminacją w układzie rozrodczym samców ryb kąsaczowatych z podrodzin Glandulocaudinae i Stevardiinae*, Kraków 2010.

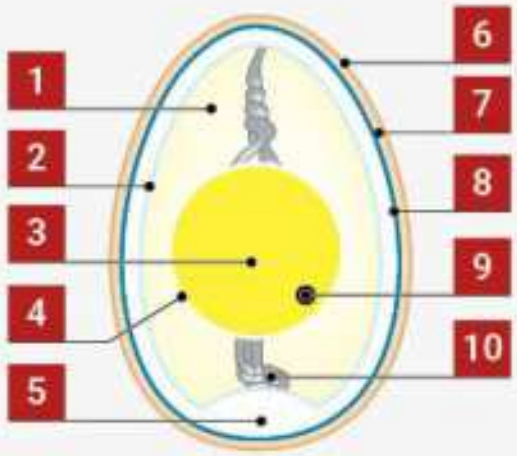
a) Podaj, która z wymienionych form rozrodu występuje u ryb kostnoszkieletowych.

jajorodność, jajożyworodność, żyworodność

b) Wyjaśnij, jaki rodzaj zapłodnienia ma miejsce u ryb kostnoszkieletowych. Uzasadnij swoją odpowiedź.

c) Wytłumacz, dlaczego ryby kostnoszkieletowe produkują ogromną ilość gamet.

4. Podaj, którą cyfrą oznaczono na rysunku błonę żółtkową jaja ptaka. Omów funkcje tej błony.



5. Przeczytaj poniższy tekst i wskaż zdanie prawdziwe.

U ryby molinezji meksykańskiej (Poecilia formosa) w czasie rozmnażania plemnik stymuluje podziały komórkowe komórki jajowej, ale nie wnika do jaja i nie wnosi materiału genetycznego. Powstające młode osobniki są genetyczną kopią samic.

A. Molinezja meksykańska rozmnaża się płciowo z zapłodnieniem zewnętrznym.

B. U molinezji meksykańskiej występuje partenogeneza.

C. Molinezja meksykańska jest hermafrodytą.

PODSUMOWANIE LEKCJI

- Zwierzęta rozmnażają się **bezpłciowo** (np. parzydelkowce, płazińce, pierścienice) lub **płciowo** (np. większość kręgowców). ◂ s. 388
- Typami **rozmnażania bezpłciowego** są: podział organizmu macierzystego, pączkowanie (np. u parzydełkowców), fragmentacja (np. płazińce, rozgwiazdy) i partenogeneza, czyli rozwój bez zapłodnienia (np. u owadów, ślimaków). ◂ s. 388
- **Rozmnażanie płciowe** zwiększa różnorodność genetyczną gatunku i dostosowanie w warunkach zmian zachodzących w środowisku. ◂ s. 390
- **Rozmnażanie bezpłciowe** prowadzi do powstania kopii genetycznej osobnika rodzicielskiego. Ten typ rozmnażania jest korzystny w stabilnych środowiskach, pozwala na szybki wzrost liczebności populacji. ◂ s. 388

s. 390 ▸ • W **rozmnażaniu płciowym** plemnik łączy się z komórką jajową, tworząc diploidalną zygotę, która rozwija się w nowy organizm.

s. 390 ▸ • **Zapłodnienie** może być zewnętrzne (zachodzi w środowisku wodnym i polega na łączeniu się gamet poza organizmem macierzystym) lub wewnętrzne (zachodzi wewnątrz organizmu samicy; nasienie jest wprowadzane do jej organizmu przez samca w czasie kopulacji).

s. 391 ▸ • **Hermafrodytyzm** polega na wytwarzaniu jaj i plemników przez pojedynczego osobnika. Hermafrodytami są m.in. tasiemce, dżdżownice i ostrygi.

s. 392 ▸ • W zależności od sposobu, w jaki potomstwo opuszcza ciało samicy, zwierzęta dzielimy na **jajorodne**, **jajożyworodne i żyworodne**.

s. 392 ▸ • **Jajorodność** polega na składaniu jaj do środowiska zewnętrznego (ryby chrzęstnoszkieletowe, płazy, gady, ptaki i niektóre ssaki).

s. 392 ▸ • **Jajożyworodność** polega na rozwoju zarodka w osłonkach jajowych przetrzymywanych w drogach rodnych samicy (np. żmije, jaszczurki, salamandra, rekiny).

s. 392 ▸ • **Żyworodność** polega na rozwoju zarodka w drogach rodnych samicy i czerpaniu substancji odżywczych z organizmu matki (ssaki łożyskowe, torbacze, ryby kostnoszkieletowe, płazy, gady).

s. 393 ▸ • Jajo zawiera **żółtko**, które jest źródłem substancji odżywczych dla zarodka.

s. 393 ▸ • Jaja zwierząt różnią się **ilością i rozmieszczeniem żółtka** (jaja oligolecytalne, mezolecytalne i polilecytalne), liczbą błon otaczających zarodek, wielkością, kształtem i zabarwieniem.

35. Cykl życiowy zwierząt

NA TEJ LEKCJI:

- zapoznasz się z głównymi etapami rozwoju zarodkowego zwierząt;
- uzyskasz informacje na temat rozwoju pozazarodkowego;
- dowiesz się, czym różni się przeobrażenie niezupełne od zupełnego.

ontogeneza ▸ Rozwój organizmu od powstania w wyniku rozmnażania (płciowego lub bezpłciowego) do jego śmierci nazywamy **ontogenezą** (rozwojem osobniczym). W rozmnażaniu bezpłciowym na rozwój osobniczy składają się procesy morfogenezy i wzrostu. W rozmnażaniu płciowym ontogeneza obejmuje zarówno procesy rozwoju zarodka, jak i procesy po urodzeniu lub wykluciu się. Wszystkie te zmiany prowadzą do ukształtowania się osobników przystosowanych do życia w danych warunkach i zdolnych do rozmnażania.

Cykle życiowe zwierząt

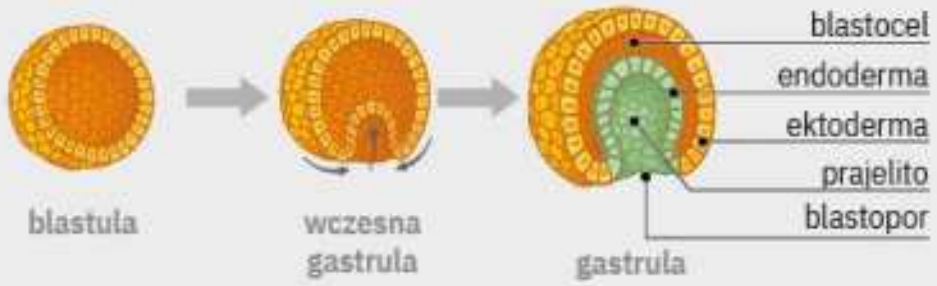
Ogólny schemat cyklu życiowego zwierząt rozmnażających się płciowo jest podobny. Możemy podzielić go na dwa główne etapy: **zarodkowy** oraz **pozazarodkowy**. W czasie rozwoju zarodkowego, czyli embriogenezy, dochodzi do połączenia haploidalnych gamet i powstania diploidalnej zygoty, z której rozwija się zarodek. Embriogeneza obejmuje następujące procesy: zapłodnienie, bruzdkowanie, gastrulację oraz organogenezę (**tab. II.35.1.**) i trwa aż do momentu urodzenia lub wyklucia się. Po tym czasie następuje etap pozazarodkowy cyklu życiowego. Realizacja tego etapu przebiega w rozmaity sposób u różnych grup zwierząt, ale wspólną jego konsekwencją jest wykształcenie ostatecznej postaci organizmu i osiągnięcie dojrzałości płciowej.

etap zarodkowy i pozazarodkowy

rozwój zarodkowy

Tab. II.35.1. Etapy rozwoju zarodkowego

Etap rozwoju zarodkowego	Charakterystyka
Zapłodnienie	W trakcie zapłodnienia plemnik styka się z jajem, wnika do jego wnętrza i pobudza go do rozwoju (m.in. aktywuje enzymy, syntezę białek, wzmaga oddychanie tlenowe). Jądro plemnika po przekształceniu się w przedjądrze męskie łączy się z jądrem jaja, czyli przedjądrzem żeńskim i powstaje diploidalna zygota. Przed rozpoczęciem pierwszego podziału zygoty następuje synteza DNA. zapłodnione jajo
Bruzdkowanie	Seria podziałów mitotycznych zygoty bez wzrostu komórek. Najpierw powstają dwie komórki potomne (blastomery), które następnie dzielą się, zwiększają liczbę komórek, aż do powstania stadium liczącego 32 komórki, zwanego **morulą**. Podwojenie liczby komórek prowadzi do wytworzenia **blastuli,** we wnętrzu której znajduje się jama wypełniona płynem, czyli **blastocel**. Rodzaj bruzdkowania zależy od ilości i rozmieszczenia żółtka w jaju. Wyróżniamy bruzdkowanie całkowite (promieniste lub spiralne) oraz częściowe. **Bruzdkowanie całkowite** zachodzi w jajach oligolecytlanych z małą, równomiernie rozmieszczoną ilością żółtka. **Bruzdkowanie częściowe** zachodzi w jajach, w których żółtko jest zlokalizowane na jednym z biegunów jaja. Podziały w obrębie takiego jaja zachodzą tylko w obszarze **tarczy zarodkowej**, małego fragmentu cytoplazmy jaja na jednym z jej biegunów. zarodek dwukomórkowy; zarodek czterokomórkowy; zarodek ośmiokomórkowy; morula

Etap rozwoju zarodkowego	Charakterystyka
Gastrulacja	Proces przekształcania się komórek zarodka w trzywarstwową **gastrulę**. Warstwy – nazywane **listkami zarodkowymi** – obejmują: ektodermę (zewnętrzną), mezodermę (środkową) oraz endodermę (wewnętrzną). Każdy listek zarodkowy daje początek określonym częściom zarodka. 
Organogeneza	Jest procesem formowania się narządów. Z **komórek ektodermy** tworzą się naskórek, układ nerwowy, narządy zmysłów i przysadka. Z **endodermy** powstaje nabłonek wyścielający jelito, wątroba, trzustka, płuca. Komórki **mezodermy** dają początek szkieletowi, mięśniom, układowi krążenia, wydalniczemu i rozrodczemu. U kręgowców pierwszymi narządami są struna grzbietowa, mózg i rdzeń kręgowy.

rozwój pierwoustych i wtóroustych

Na podstawie pewnych procesów zachodzących we wczesnych etapach rozwoju zarodkowego wiele zwierząt możemy zaklasyfikować do dwóch schematów rozwoju: **pierwoustych** (np. bezkręgowce bez szkarłupni) i **wtóroustych** (np. szkarłupnie oraz strunowce). Te zagadnienia zostały omówione w rozdziale I.1.

błony płodowe

Błony płodowe

U kręgowców lądowych listki zarodowe biorą udział w powstawaniu błon płodowych: kosmówki, owodni, omoczni i worka żółtkowego. Błony te stanowią ochronę rozwijającego się zarodka, biorą udział w uzyskiwaniu substancji odżywczych i tlenu, usuwaniu produktów przemiany materii i zapobiegają odwodnieniu zarodka.

Kosmówka – zewnętrzna błona płodowa – otacza oraz chroni cały zarodek i pozostałe błony. U ptaków i gadów leży tuż pod skorupą jaja i bierze udział w wymianie gazowej.

Owodnia otacza cały zarodek. Pomiędzy tą błoną a zarodkiem występuje jama wypełniona płynem owodniowym. Jej funkcją jest zapobieganie wyschnięciu zarodka, zapewnienie mu swobodnych ruchów i amortyzacja wstrząsów.

Omocznia stanowi uchyłek rozwijającego się układu pokarmowego. U ptaków i gadów magazynuje zbędne produkty przemian azotowych, a u ssaków bierze udział w tworzeniu łożyska.

Worek żółtkowy występuje w jajach kręgowców bogatych w żółtko. Worek otacza żółtko, trawi je i przekazuje zarodkowi substancje odżywcze. Worek jest połączony

z zarodkiem szypułą żółtkową. Występuje także u ssaków, w których jajach jest mało żółtka.

Rozwój pozazarodkowy

rozwój pozazarodkowy

Rozwój pozazarodkowy trwa od chwili uwolnienia się zarodka z osłon jajowych, a u form żyworodnych od chwili opuszczenia ciała matki aż do osiągnięcia dojrzałości płciowej. Jego przebieg i czas trwania są bardzo zróżnicowane. Zasadniczo rozwój pozazarodkowy zwierząt dzielimy na prosty i złożony.

rozwój prosty

W **rozwoju prostym** zwierzęta rozwijają się wprost w stadium dorosłe. Rozwój obejmuje szereg etapów przejściowych (m.in. dojrzewania), ale forma młodociana przez cały czas przypomina wyglądem osobnika dorosłego. W trakcie tego rozwoju nie dochodzi do przeobrażenia (brak w nim stadium larwalnego). Potomstwo różni się jedynie mniejszymi rozmiarami i niezdolnością do rozrodu. W trakcie rozwoju prostego zasadnicze zakończenie organogenezy ma miejsce przed opuszczeniem jaja (zwierzęta jajorodne) lub przed porodem (zwierzęta żyworodne). Rozwój prosty występuje rzadziej niż rozwój złożony u zwierząt. Spotyka się go u ssaków (w tym u człowieka), ptaków, gadów, ślimaków lądowych, licznych pajęczaków, części skorupiaków i wirków.

rozwój złożony

Rozwój złożony wielu zwierząt zawiera przynajmniej jedno stadium larwalne. Larwa różni się znacznie od dorosłego osobnika. Ma inną budowę, rozmiary, wykazuje inny sposób odżywania się i jest niezdolna do rozrodu. Często występuje w innym środowisku (np. larwy komarów żyją w wodzie). Larwy zwierząt przechodzą w pewnym momencie **przeobrażenie,** czyli **metamorfozę**. Zmieniają się wtedy w formę młodocianą, niedojrzałą płciowo, ale przypominającą osobnika dorosłego. Rozwój złożony jest charakterystyczny dla większości owadów, płazów oraz niektórych ryb (np. u węgorza).

Metamorfoza u owadów

metamorfoza

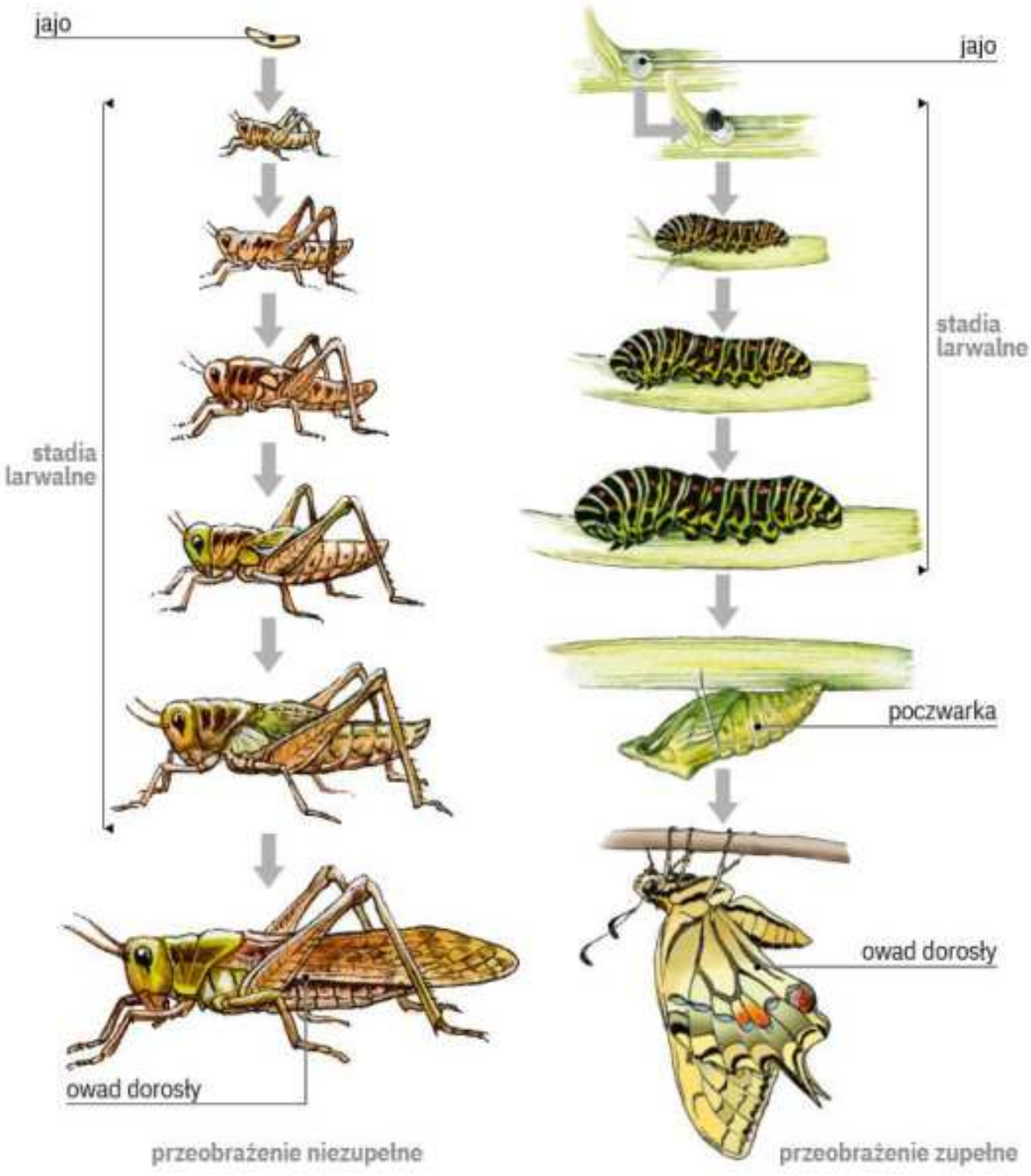
przeobrażenie niezupełne

U owadów wyróżniamy dwa rodzaje metamorfozy. **Przeobrażenie niezupełne** występuje np. u karaczanów, pasikoników i prostoskrzydłych. W rozwoju tym larwy (zwane nimfami) przypominają osobniki dorosłe, ale nie mają funkcjonalnych skrzydeł i wykształconych narządów rozrodczych. W wyniku kolejnych linień larwa staje się coraz bardziej podobna do osobnika dorosłego, aż osiąga ostateczną formę wraz z ostatnią linką (**ryc. II.35.1.**).

przeobrażenie zupełne

Przeobrażenie zupełne występuje u pszczół, motyli i much. W ich cyklu życiowym występują cztery stadia: jajo, larwa, poczwarka oraz imago. Larwa owadów ma robakowaty kształt, aparat gębowy typu gryzącego i nie przypomina postaci dorosłej. Stadium larwalne trwa najdłużej. Kiedy przestaje się odżywiać, przechodzi linienie i przekształca się w poczwarkę, otoczoną ochronnym kokonem, która często występuje pod ziemią. Owad w stadium poczwarki nie odżywia się i jest bezbronny. Energię do przemiany w postać dorosłą czerpie z materiałów zgromadzonych w czasie stadium larwalnego. Przeobrażenie poczwarki prowadzi do wytworzenia postaci dorosłej (imago) ze skrzydłami i narządami rozrodczymi. Przeobrażenie u owadów

hormon juwenilny i linienia ▸ reguluje stężenie dwóch hormonów: juwenilnego oraz linienia. Hormon juwenilny kontroluje rozwój larwalny. Jego rolą jest utrzymywanie charakteru larwalnego owada, dzięki czemu może dochodzić do linienia i wzrostu. Kiedy jego poziom spada, zachodzi przepoczwarczenie. Hormon juwenilny działa wraz z hormonem linienia, czyli **ekdyzonem**. Ekdyzon stymuluje komórki naskórka do wydzielania płynu, który warunkuje kolejne linienia.

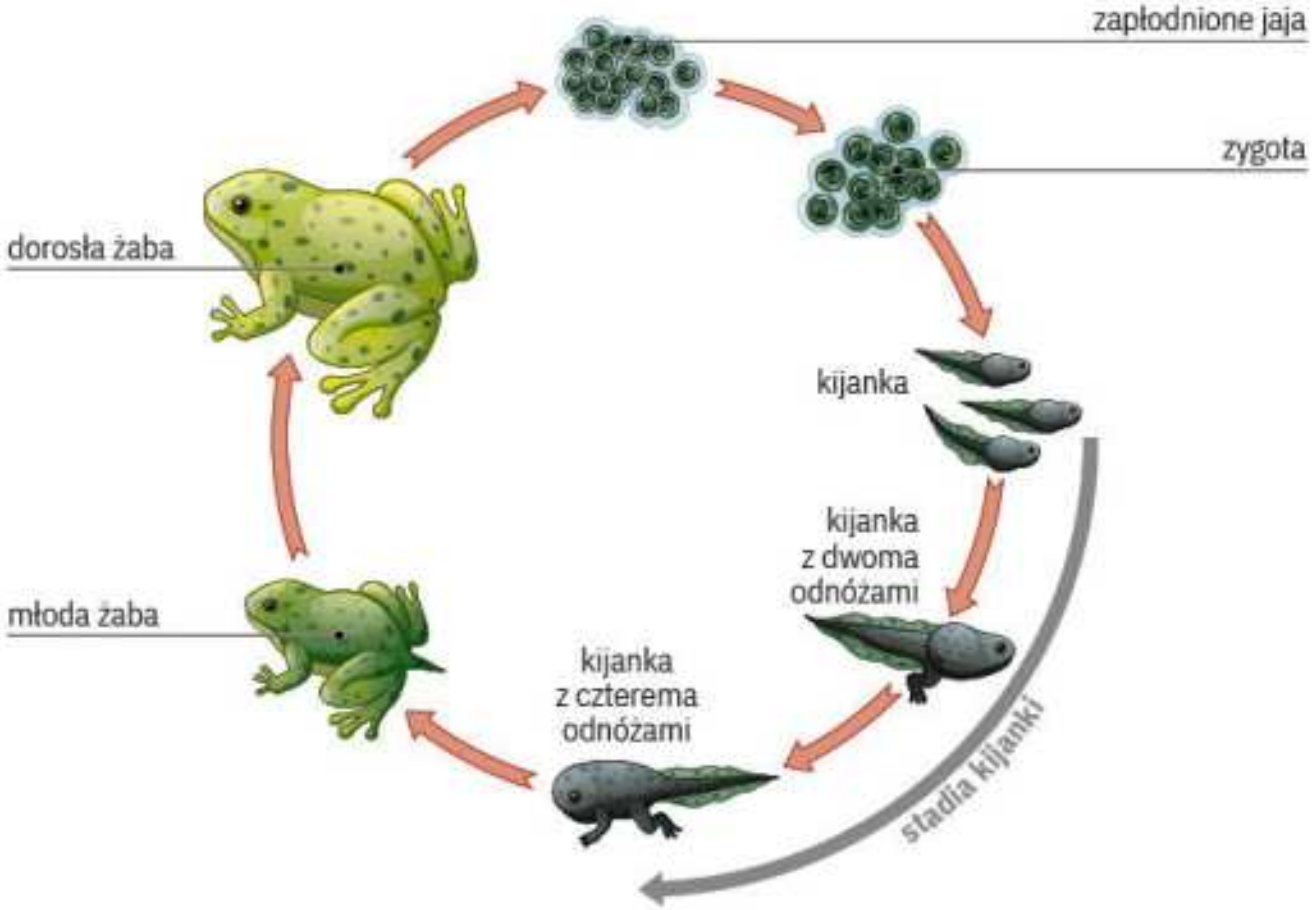


Ryc. II.35.1. Porównanie przeobrażenia niezupełnego i zupełnego u owadów.

Przeobrażenie u płazów

przeobrażenie u płazów

Przeobrażenie występuje także w cyklu życiowym płazów (m.in. u żab, ropuch, traszek). Żaba składa jaja do wody, a z nich rozwijają się larwy zwane **kijankami** (**ryc. II.35.2.**). Są one roślinożerne, mają skrzela i długi ogon zaopatrzony w płetwę. W trakcie metamorfozy u kijanki zanikają skrzela, a rozwijają się odnóża, płuca i układ pokarmowy zdolny do trawienia pokarmu mięsnego. Młoda żaba zmienia także środowisko życia – z wodnego na lądowy. Cały proces jest regulowany hormonalnie, głównie przez hormony tarczycy (tyroksynę).



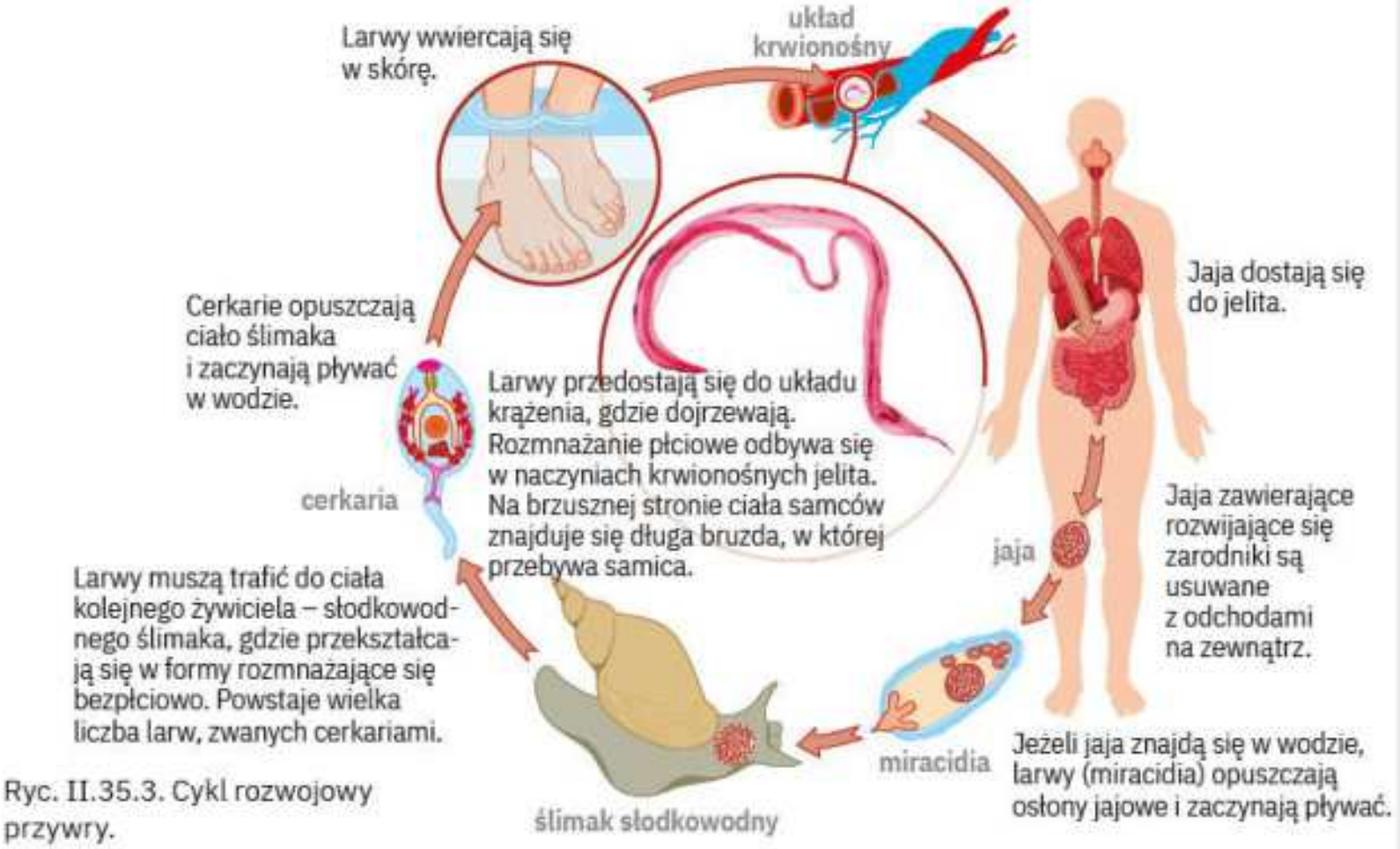
Ryc. II.35.2. Cykl życiowy żaby.

Cykle rozwojowe pasożytów

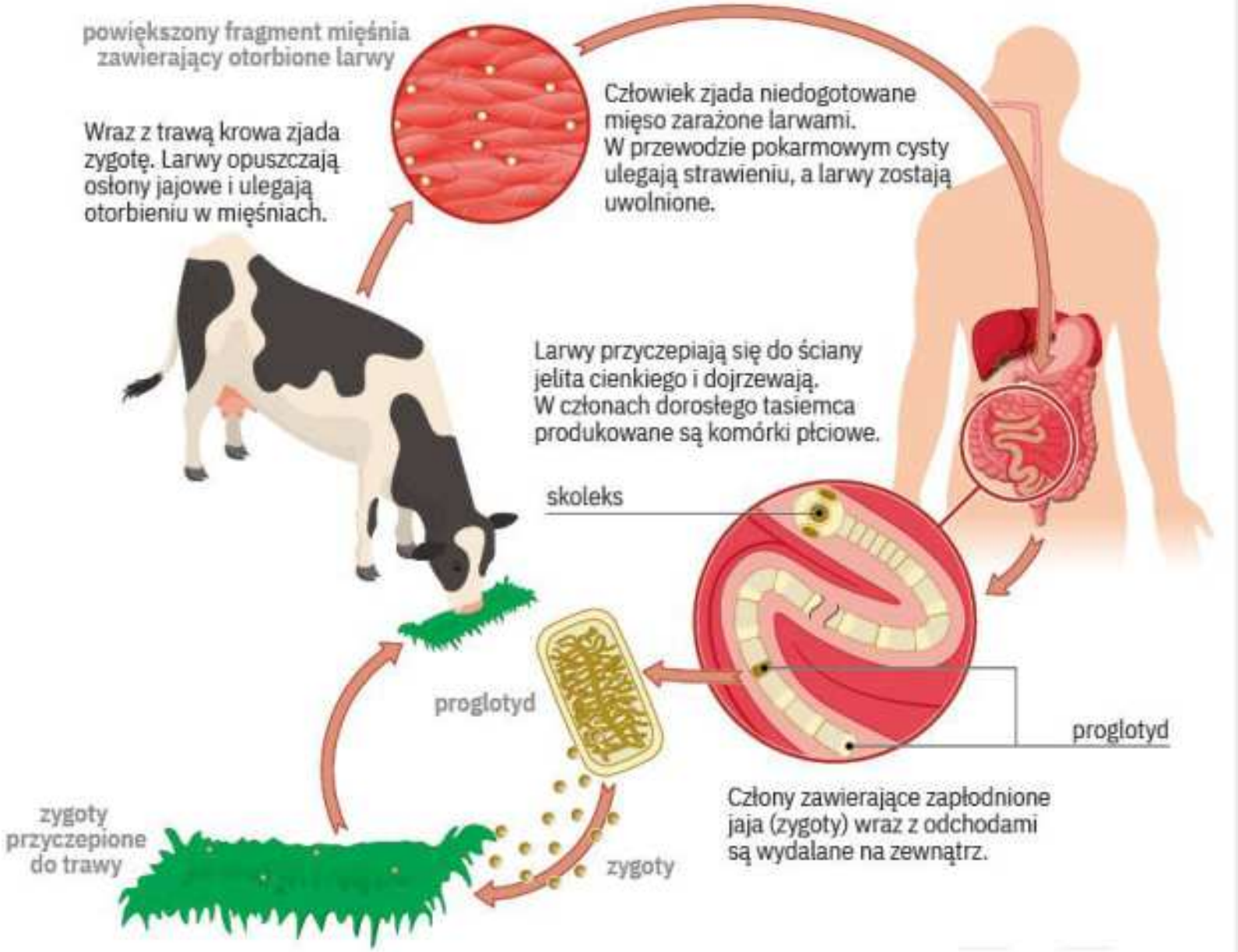
cykl życiowy pasożytów

Pasożyty w swoim cyklu rozwojowym przechodzą przez wiele stadiów larwalnych. Część z nich żyje w środowisku zewnętrznym, a część – w organizmie żywiciela. Wśród żywicieli biorących udział w cyklu rozwojowym pasożytów wyróżniamy **żywicieli ostatecznych** oraz **pośrednich**. W organizmie żywicieli ostatecznych żyją dojrzałe formy pasożyta, a w żywicielach pośrednich (jednym lub dwóch) – larwy. Aby dalej się rozwijać, larwy muszą zmienić żywiciela. Żywicielem ostatecznym wielu gatunków pasożytów jest człowiek. Należą do nich przywry, tasiemce, glista ludzka, które są przyczyną groźnych dla człowieka chorób (**ryc. II.35.3.**). Cykl rozwojowy przywry żylnej (**ryc. II.35.3.**) czy motylicy wątrobowej obejmuje kilka stadiów larwalnych, przemianę pokoleń (płciowych i bezpłciowych) oraz kilku żywicieli pośrednich. Człowiek, który je surowe lub niedogotowane mięso wołowe zawierające jaja tasiemca, może stać się żywicielem ostatecznym w jego cyklu rozwojowym (**ryc. II.35.4.**).

żywiciel ostateczny



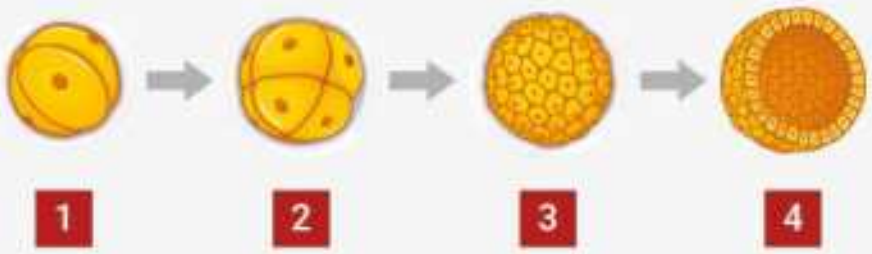
Ryc. II.35.3. Cykl rozwojowy przywry.



Ryc. II.35.4. Cykl rozwojowy tasiemca nieuzbrojonego.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Wymień etapy rozwoju zarodkowego zwierząt. Na rysunku rozpoznaj jeden z wymienionych przez ciebie etapów i go scharakteryzuj.



2. Na rysunku przedstawiono cykl życiowy biedronki. Wskaż, jaki rodzaj przeobrażenia zachodzi u tego owada i podaj nazwy stadiów rozwojowych oznaczonych kolejnymi literami.

3. Na podstawie ryciny II.35.4. omów cykl rozwojowy przywry żylnej i wskaż żywicieli pośredniego i ostatecznego.

4. W dostępnych źródłach znajdź informacje na temat cykli rozwojowych glisty ludzkiej, włośnia krętego oraz filarii Bancrofta. Na ich podstawie uzupełnij w zeszycie poniższą tabelę.

Pasożyt	Powodowana choroba i sposób zarażenia	Żywiciel pośredni	Żywiciel ostateczny
glista ludzka	...	...	...
włosień kręty	...	...	...
filaria Bancrofta	...	...	...

PODSUMOWANIE LEKCJI

- **Ontogeneza** to rozwój organizmu od jego powstania w wyniku rozmnażania aż do śmierci. s. 396
- Cykl życiowy zwierząt dzielimy na dwa etapy: **zarodkowy** (embriogenezę) i **pozazarodkowy**. s. 397
- **Rozwój zarodkowy** obejmuje: zapłodnienie, bruzdkowanie, gastrulację i organogenezę. s. 397
- **Bruzdkowanie** polega na serii podziałów mitotycznych bez wzrostu komórek. Prowadzi to do wytworzenia liczącej 32 komórki blastuli. s. 397
- **Bruzdkowanie** może być całkowite (spiralne lub promieniste) lub częściowe. s. 397
- **Gastrulacja** prowadzi do przekształcenia komórek zarodka w trzy listki zarodkowe (ektodermę, mezodermę i endodermę), które dają początek określonym częściom zarodka. s. 397
- **Organogeneza** to proces formowanie się narządów. s. 397
- Zarodek jest otoczony **błonami płodowymi**: zewnętrzną kosmówką, leżącą pod nią owodnią oraz omocznią. U niektórych występuje worek żółtkowy. s. 398

s. 399 ▸ • **Rozwój pozazarodkowy** trwa od chwili uwolnienia zarodka do osiągnięcia dojrzałości płciowej.

s. 399 ▸ • W **rozwoju prostym** forma młodociana przypomina postać dorosłą i nie występuje stadium larwalne (ssaki, ptaki, gady, ślimaki).

s. 399 ▸ • W **rozwoju złożonym** (u owadów, niektórych płazów i ryb) występuje przynajmniej jedno stadium larwalne.

s. 399 ▸ • Larwy przechodzą przeobrażenie (**metamorfozę**), w czasie którego zmieniają się w formę młodocianą, a następnie w postać dorosłą.

s. 399 ▸ • W **przeobrażeniu niezupełnym** owadów larwy (nimfy) przypominają postać dorosłą, ale są pozbawione skrzydeł i nie są zdolne do rozmnażania.

s. 399 ▸ • W **przeobrażeniu zupełnym** występują cztery stadia: jajo, larwa, poczwarka i postać dorosła.

s. 400 ▸ • Przeobrażenie u owadów jest kontrolowane hormonalnie przez **hormon juwelnilny i ekdyzon (hormon linienia)**.

s. 401 ▸ • **Przeobrażenie występuje także w cyklu życiowym płazów**: u żab z jaja rozwija się larwa (kijanka), która w trakcie metamorfozy traci skrzela i ogon, po czym przekształca się w postać dorosłą.

s. 401 ▸ • W **cyklu życiowym pasożytów** występuje wiele stadiów larwalnych, z których część żyje w organizmie żywicieli (pośredniego i ostatecznego).

s. 401 ▸ • Człowiek jest **żywicielem ostatecznym** wielu gatunków pasożytniczych (m.in. przywr, tasiemców).

36. Układ rozrodczy męski

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz budowę układu rozrodczego męskiego;
- dowiesz się, jakie funkcje pełnią poszczególne narządy płciowe męskie.

Istotą życia jest zdolność organizmu do rozmnażania się, czyli wydawania potomstwa. Nowy osobnik powstaje w wyniku połączenia się dwóch różnych komórek płciowych, czyli **gamet**: męskich plemników i żeńskich komórek jajowych. Komórki te są haploidalne, co oznacza, że zawierają po 23 chromosomy. Połączenie komórki

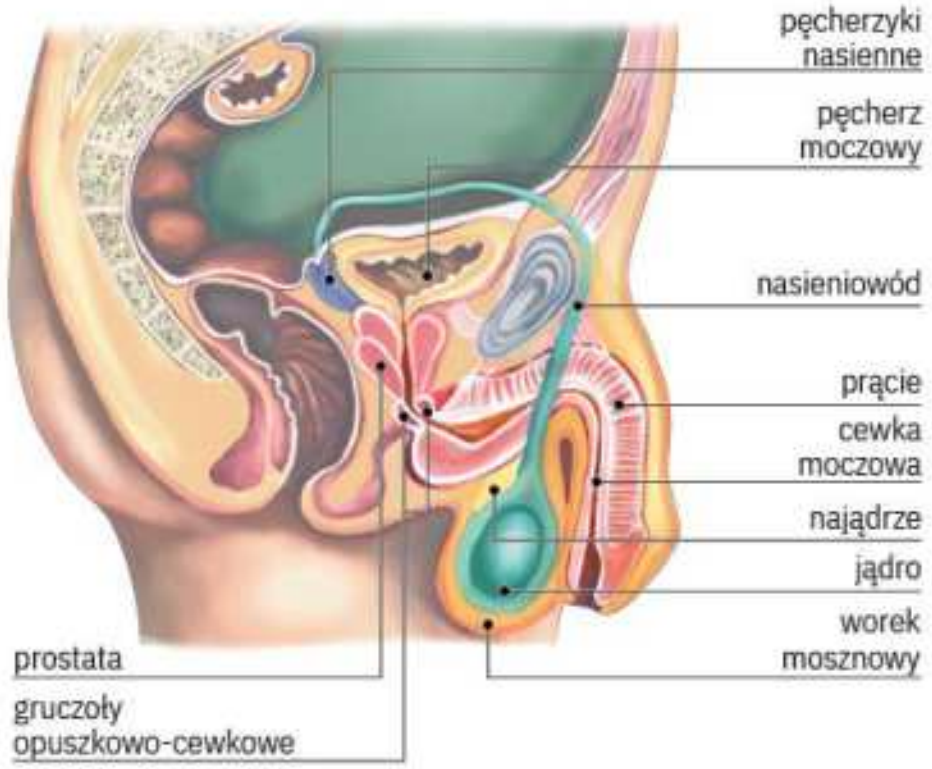
zygota ▸ jajowej z plemnikiem w czasie zapłodnienia prowadzi do powstania **zygoty**, która zawiera kompletny zestaw 46 chromosomów, pochodzących w połowie od matki i w połowie od ojca. Zygota po zagnieżdżeniu w ścianie macicy rozwija się przez okres ciąży (ok. 40 tygodni), aż do urodzenia dziecka. Najważniejszymi funkcjami męskiego układu rozrodczego są:

- produkcja plemników (męskich komórek płciowych);
- wprowadzanie plemników do dróg rodnych kobiety;
- wydzielanie hormonów.

Budowa męskiego układu rozrodczego

narządy płciowe zewnętrzne i wewnętrzne

Męski układ rozrodczy tworzą **narządy płciowe zewnętrzne i wewnętrzne** (**ryc. II.36.1.**). Do narządów płciowych zewnętrznych należą moszna i prącie, a do wewnętrznych – jądra, nasieniowody, przewód wytryskowy, cewka moczowa oraz gruczoły dodatkowe.



Ryc. II.36.1. Budowa męskiego układu rozrodczego.

Narządy płciowe zewnętrzne

Moszna to torebka skórno-mięśniowa, w której znajdują się jądra. Mieści się ona z tyłu prącia, poza jamą brzuszną. Takie położenie jest gwarancją właściwego przebiegu spermatogenezy, czyli powstawania plemników. Proces ten zachodzi w temperaturze około 2°C poniżej normalnej ciepłoty ciała. Uzyskanie odpowiedniej temperatury w jądrach jest możliwe dzięki ich umiejscowieniu w mosznie.

Prącie to narząd kopulacyjny. Wyróżnia się w nim nasadę oraz trzon. Nasada znajduje się na kroczu, a trzon ma postać wydłużonego walca, zakończonego rozszerzoną częścią stanowiącą **żołądź** prącia. Na szczycie żołędzi mieści się ujście cewki moczowej. Powyżej żołędzi znajduje się ruchomy fałd skórny – **napletek**. Prącie składa się z trzech **ciał jamistych**. Dwa z nich są umiejscowione grzbietowo, a trzecie – tzw. ciało gąbczaste – mieści się na stronie spodniej i tworzy żołądź. W ciele jamistym przebiega cewka moczowa. Prącie jest silnie unerwione i ukrwione. Pod wpływem podniecenia płciowego krew napływa do ciał jamistych i gąbczastego, co prowadzi do **wzwodu** (erekcji), czyli usztywnienia i powiększenia rozmiarów prącia. Erekcja umożliwia odbycie stosunku płciowego oraz warunkuje zaplemnienie, czyli pozostawienie nasienia w narządach rozrodczych kobiety.

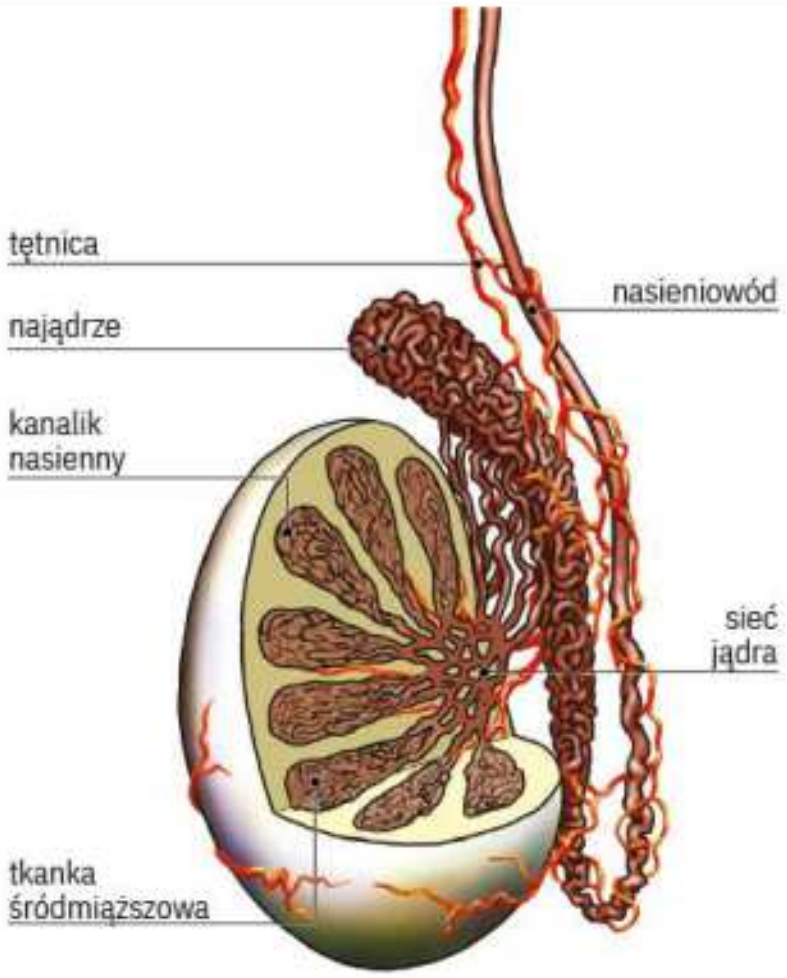
Narządy płciowe wewnętrzne

jądra

Jądra to męskie gruczoły rozrodcze (gonady). Są zawieszone w mosznie na powrózkach nasiennych i otoczone trzema warstwami tkanek (od zewnątrz: osłonką pochwową, błoną białawą i błoną naczyniową). Jądro jest zbudowane z 200–300 płacików, w których mieszczą się kanaliki nasienne (**ryc. II.36.2.**). Pomiędzy kanalikami znajdują się komórki śródmiąższowe (komórki Leydiga) odpowiedzialne za wydzielanie m.in. testosteronu. Na górnym biegunie kanaliki łączą się w jedną, cia-

sno upakowaną pętlę (ok. sześciometrową), zwaną najądrzem, która jest miejscem dojrzewania plemników. Najądrze opuszcza jądro jako **nasieniowód** (**ryc. II.36.2.**), który ma około 45 cm długości. W końcowym odcinku nasieniowód łączy się z przewodem pęcherzyka nasiennego, tworząc przewód wytryskowy. Przewód ten to dwucentymetrowa rurka łącząca się z cewką moczową. Dostarcza do niej **nasienie** – plemniki wraz z wydzielinami gruczołów dodatkowych, czyli **gruczołu opuszkowo-cewkowego**, **pęcherzyków nasiennych** i **prostaty**.

nasieniowód



Ryc. II.36.2. Budowa jądra.

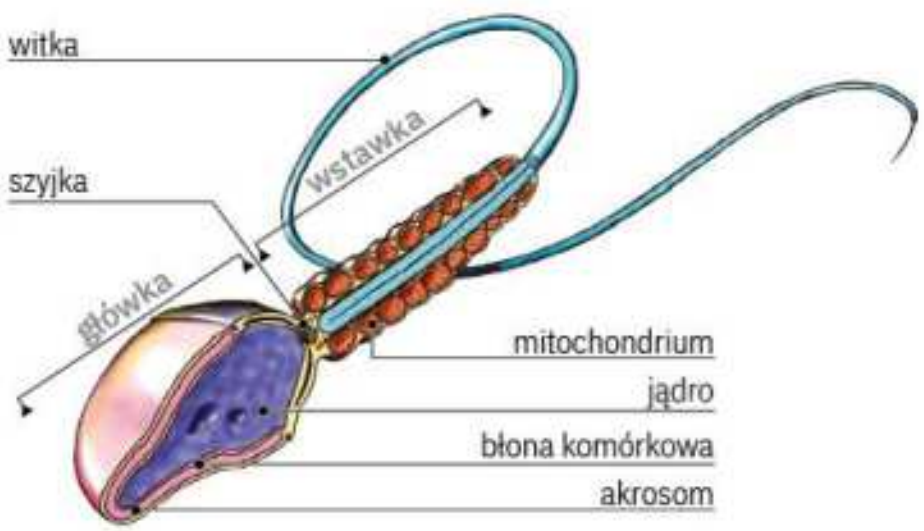
Pęcherzyki nasienne to dwie małe torebki położone na tylnej stronie pęcherza moczowego (**ryc. II.36.2.**). W trakcie ich skurczu wyciskają produkowaną przez siebie wydzielinę – płyn nasienny – do nasieniowodu. Płyn nasienny zawiera substancje odżywcze (białka, cukry proste) dla plemników, niezbędne do ich przeżycia i przemieszczania się w żeńskim układzie rozrodczym.

Prostata (stercz, gruczoł krokowy) to pojedynczy narząd wielkości kasztana (**ryc. II.36.1.**). Wydziela on mleczny płyn, który wchodzi w skład nasienia. W płynie znajdują się enzymy ułatwiające plemnikom poruszanie się w drogach rodnych kobiety.

Budowa plemnika

plemnik

Plemnik ma około 60 µm długości. Składa się z główki, wstawki i witki (**ryc. II.36.3.**). Główka plemnika zawiera niewielką ilość cytoplazmy, haploidalne jądro komórkowe oraz **akrosom**. Akrosom powstaje ze zlania się pęcherzyków aparatu Golgiego. Zawiera liczne enzymy, które umożliwiają penetrację osłon jajowych i dostanie się plemnika do wnętrza komórki jajowej. Witka plemnika nadaje mu ruch, którego napęd zapewnia **wstawka**. Wstawka jest upakowana licznymi mitochondriami, produkującymi energię niezbędną do poruszania się plemnika.



Ryc. II.36.3. Budowa plemnika.

Nasienie i ejakulacja

Nasienie to gęsty, lepki płyn o mlecznym zabarwieniu i lekko zasadowym odczynie. W jego skład wchodzą plemniki, komórki odpornościowe oraz złuszczone komórki nabłonkowe (**tab. II.36.1**.). Elementy komórkowe są zawieszone w płynie nasiennym, który stanowi mieszaninę wydzielin najądrzy, nasieniowodów, pęcherzyków nasiennych i prostaty. Nasienie w czasie wytrysku (ejakulacji) zostaje wyrzucone przez ujście cewki moczowej na zewnątrz. Siłą generującą wytrysk są głównie rytmiczne skurcze mięśni gładkich nasieniowodów. Objętość nasienia wydzielanego w czasie normalnego wytrysku to około 2–5 ml, a 1 ml nasienia zawiera 40–100 mln plemników.

◂ nasienie

Tab. II.36.1. Główne składniki nasienia

Składnik	Pochodzenie	Funkcja
plemniki	kanaliki nasienne	gamety męskie
śluz	gruczoły opuszkowo-cewkowe	nawilżanie
woda	wszystkie gruczoły pomocnicze	nośnik
substancje odżywcze (np. fruktoza, karnityna, kwas cytrynowy)	pęcherzyki nasienne, stercz, najądrze	odżywianie plemników
enzymy	pęcherzyki nasienne, stercz	upłynnianie nasienia

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Wymień elementy męskiego układu rozrodczego i podaj ich funkcje.
2. Omów związek budowy plemnika z jego funkcją.
3. Co to jest nasienie? Wymień te narządy płciowe, w których są wytwarzane jego główne składniki.

PODSUMOWANIE LEKCJI

- Męski układ rozrodczy składa się z **narządów zewnętrznych** (moszna, prącie) oraz **wewnętrznych** (jądra, nasieniowody, przewód wytryskowy, cewka moczowa, gruczoły dodatkowe). ◂ s. 405
- **Jądra** to gruczoły rozrodcze (gonady) zbudowane z płacików, w których znajdują się kanaliki nasienne. ◂ s. 405
- Kanaliki tworzą najądrze, w którym powstają **plemniki**. ◂ s. 406
- **Nasieniowód** łączy jądro z pęcherzykiem nasiennym, który produkuje płyn nasienny zawierający substancje odżywcze dla plemników. ◂ s. 406
- **Plemnik** jest komórką haploidalną i składa się z główki, wstawki i witki. ◂ s. 406
- **Nasienie** to mlecznobiały płyn zawierający plemniki, komórki odpornościowe zawieszone w płynie nasiennym, który jest wspólną wydzieliną najądrzy, nasieniowodów, pęcherzyków nasiennych i prostaty. ◂ s. 407

37. Budowa i funkcjonowanie żeńskiego układu rozrodczego. Gametogeneza

NA TEJ LEKCJI:

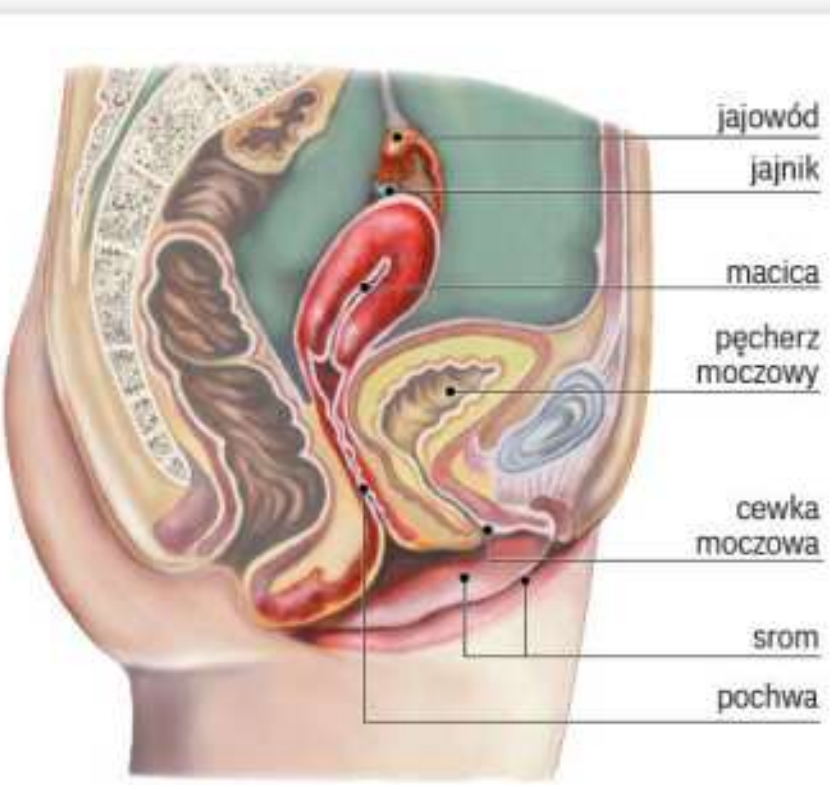
- poznasz budowę żeńskiego układu rozrodczego;
- przeanalizujesz przebieg gametogenezy;
- dowiesz się, jak przebiega cykl miesiączkowy;
- zrozumiesz, na czym polega hormonalna regulacja cyklu płciowego.

żeński układ rozrodczy

narządy płciowe zewnętrzne i wewnętrzne

Żeński układ rozrodczy odpowiada za wytwarzanie i dojrzewanie żeńskich gamet, czyli komórek jajowych. Jest miejscem rozwoju zarodka i płodu. Dodatkowo pełni funkcje wydzielnicze – produkuje i uwalnia hormony (m.in. estrogeny). W układzie rozrodczym żeńskim wyróżnia się **narządy płciowe zewnętrzne** (określane jako srom) i **wewnętrzne**.

Narządy płciowe zewnętrzne



Ryc. II.37.1. Budowa żeńskiego układu rozrodczego.

Zewnętrzną część żeńskiego układu rozrodczego tworzy **srom**, na który składają się: wzgórek łonowy, wargi sromowe i łechtaczka (**ryc. II.37.1.**). **Wzgórek łonowy** to trójkątna wypukłość utworzona z tkanki łącznej. **Wargi sromowe** (większe i mniejsze) są parzystymi fałdami skórnymi otaczającymi ujście cewki moczowej, wejście do pochwy i łechtaczkę. Zawierają liczne gruczoły łojowe. U wejścia do pochwy znajduje się fałd błony śluzowej zwany błoną dziewiczą. **Łechtaczka** stanowi żeński odpowiednik prącia u mężczyzn, jest silnie unaczyniona i zbudowana z dwóch ciał jamistych.

Narządy płciowe wewnętrzne

Wewnętrzne narządy płciowe są umiejscowione w jamie miednicy i obejmują pochwę, macicę, dwa jajowody i dwa jajniki.

Pochwa to kanał łączący narządy zewnętrzne z wewnętrznymi. Do pochwy jest wprowadzane prącie w trakcie stosunku płciowego, tu też pozostaje nasienie. Pochwa stanowi także kanał wyprowadzający dla płodu podczas porodu. Powierzchnia tego narządu jest wilgotna dzięki wydzielinie szyjki macicy. Odczyn w pochwie jest lekko kwaśny (3,5–4,9) wskutek obecności w jej wnętrzu odpowiednich bakterii kwasu mlekowego. Kwaśny odczyn chroni przed rozwojem drobnoustrojów, które mogłyby trafić z zewnątrz.

pochwa

Macica jest gruszkowatym narządem (mierzy 7–9 cm, a jej masa wynosi 30–40 g) umiejscowionym pomiędzy pęcherzem moczowym a odbytnicą. Wyróżnia się w niej, część górną, na którą składają się dno i trzon, oraz wąską część dolną, zwaną **szyjką**. Kanał szyjki jest wypełniony śluzem, którego właściwości zmieniają się w trakcie cyklu miesiączkowego. Ścianę macicy tworzy gruba warstwa mięśniowa, znacznie rozciągająca się w trakcie ciąży. Wnętrze macicy wyścieła błona śluzowa – tzw. **endometrium**, które podlega okresowym zmianom w trakcie **cyklu miesiączkowego**. Cykl miesiączkowy ma na celu przygotowanie macicy do przyjęcia, odżywiania i ochrony zagnieżdżonego jaja. Jeśli dojdzie do zapłodnienia i zygota zagnieździ się w ścianie macicy, to przez około 40 tygodni jest ona miejscem rozwoju zarodka i płodu.

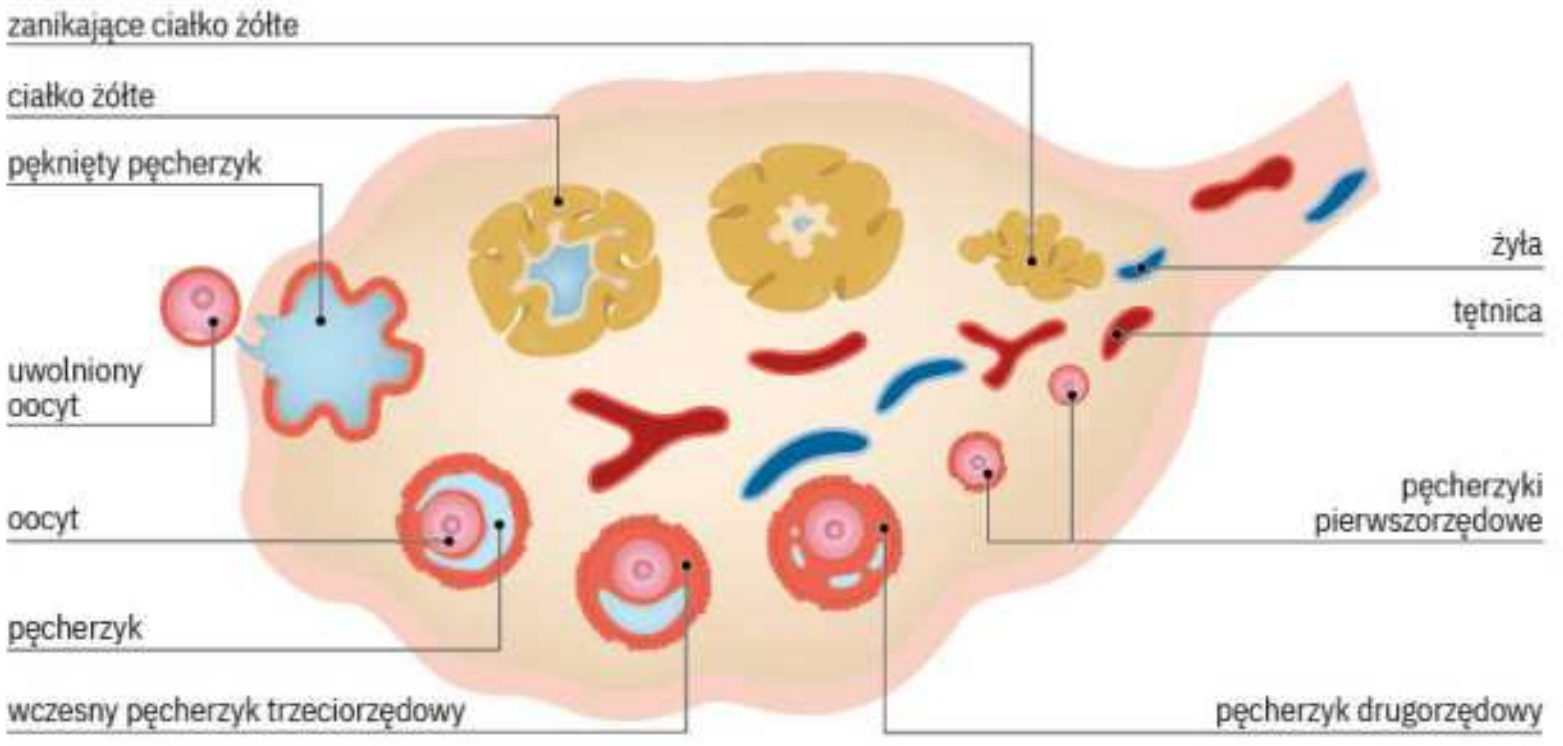
macica

Jajowody to parzyste narządy liczące około 10 cm długości. Służą one jako przewody do transportowania dojrzałych komórek jajowych od jajników do macicy. Jajowód w okolicy jajnika tworzy rozszerzoną część – tzw. **lejek jajowodu** otoczony wypustkami zwanymi **frędzlami**. Lejek nie styka się z jajnikiem, ale go obejmuje, przez co ułatwia przechodzenie komórek płciowych w głąb jajowodu. Transport komórek lub zygoty (jeśli dojdzie do zapłodnienia, które najczęściej ma miejsce w jajowodzie) odbywa się dzięki ruchom perystaltycznym i ruchom rzęsek komórek nabłonkowych jajowodu.

jajowody

Jajniki są parzystymi jajowatymi narządami o długości około 2–4 cm. Znajdują się po obu stronach macicy i łączą się z nią za pomocą więzadeł. W jajnikach powstają żeńskie komórki płciowe, czyli komórki jajowe, oraz hormony (**ryc. II.37.2.**).

jajniki



Ryc. II.37.2. Budowa jajnika.

We wnętrzu jajnika są umiejscowione tzw. pęcherzyki jajnikowe lub pęcherzyki Graafa, zawierające komórki jajowe na różnym etapie dojrzałości. Co około 28 dni w procesie owulacji (jajeczkowania) jeden z pęcherzyków Graafa dojrzewa, pęka i uwalnia komórkę jajową. Pęknięty pęcherzyk przekształca się w tzw. ciałko żółte. W momencie narodzin zasób pierwotnych komórek jajowych szacowany jest na około 2 mln. Jednak liczba komórek jajowych szybko ubywa – u trzynastolatki jest ich już 200 tys., a u kobiety pięćdziesięcioletniej może nie być ich wcale. Oprócz produkcji gamet jajnik pełni także funkcję wewnątrzwydzielniczą – uwalnia żeńskie hormony płciowe: estrogeny i progesteron.

gametogeneza

Gametogeneza

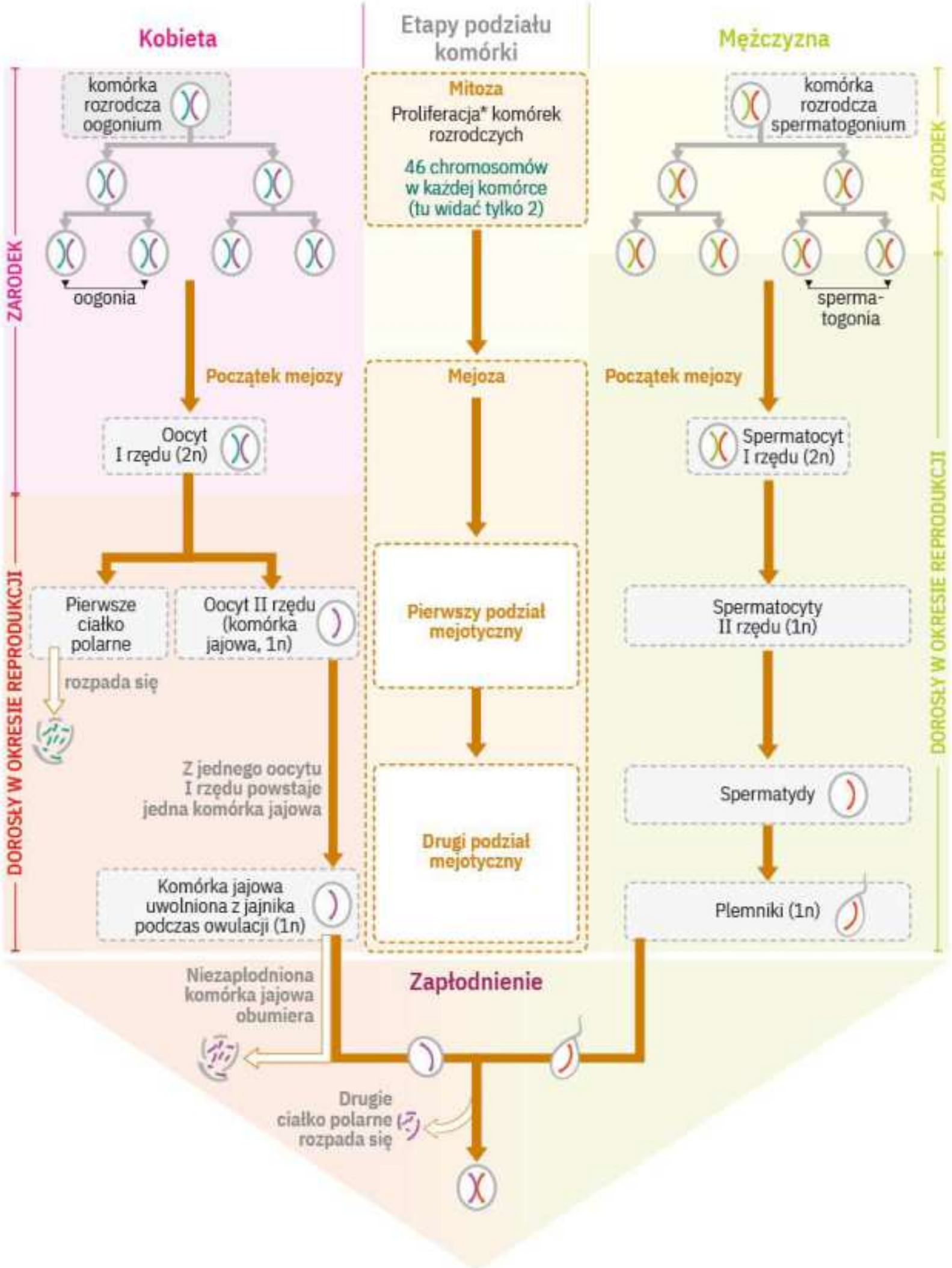
Jądra i jajniki produkują zarówno hormony, jak i gamety. Proces produkcji gamet nazywamy **gametogenezą**. Ma on różny przebieg u kobiet i u mężczyzn. Kobiety rodzą się z całym swoim życiowym zapasem komórek jajowych. Komórki te cyklicznie dojrzewają, a są uwalniane raz w miesiącu. Mniej więcej po 40 latach ich uwalnianie ustaje – zachodzi menopauza. Mężczyźni produkują plemniki nieprzerwanie od momentu osiągnięcia dojrzałości płciowej. Płodność i sprawność seksualna u mężczyzn obniża się stopniowo wraz z wiekiem (wraz z wiekiem spada także poziom testosteronu), ale nie ustaje.

spermatogeneza

Proces powstawania plemników – **spermatogeneza** – ma miejsce w nabłonku kanalików plemnikotwórczych. Pierwsze jej etapy zachodzą jeszcze w okresie życia płodowego, w czasie którego tworzą się spermatogonia, natomiast właściwy proces rozpoczyna się dopiero w okresie dojrzewania. Spermatogonia dzielą się mitotycznie i przekształcają się w spermatocyty I rzędu. Te komórki dzielą się mejotycznie, a następnie różnicują się w kolejne pokolenia: spermatocyty II rzędu, spermatydy i dalej w dojrzałe plemniki (**ryc. II.37.3.**). Spermatogeneza jest regulowana hormonalnie, trwa około 70 dni i powtarza się przez wiele lat.

oogeneza

Oogeneza to proces powstawania i dojrzewania żeńskich komórek płciowych. Pierwszy etap tego procesu rozpoczyna się około trzeciego tygodnia życia płodowego. Pierwotne komórki jajowe, czyli gonocyty, w trakcie życia płodowego dzielą się mitotycznie i przekształcają się w oogonia, a te – w oocyty I rzędu. Jeszcze przed urodzeniem oocyty I rzędu rozpoczynają I podział mejotyczny, który zostaje dokończony dopiero po osiągnięciu dojrzałości płciowej. W tym czasie, średnio co 28 dni, dojrzewa jedna z komórek jajowych znajdujących się w jajniku. Powstaje oocyt II rzędu i pierwsze ciałko kierunkowe (polarne), które się rozpada. Oocyt II rzędu wchodzi w II podział mejotyczny, który zostaje ukończony, gdy dojdzie do zapłodnienia. Uwolnione w tym czasie drugie ciałko kierunkowe również się rozpada. Jeśli oocyt II rzędu nie zostanie zapłodniony, ulega degradacji (**ryc. II.37.3**.).



Ryc. II.37.3. Gametogeneza u kobiet i mężczyzn.
*proliferacja – namnażanie

cykl miesiączkowy

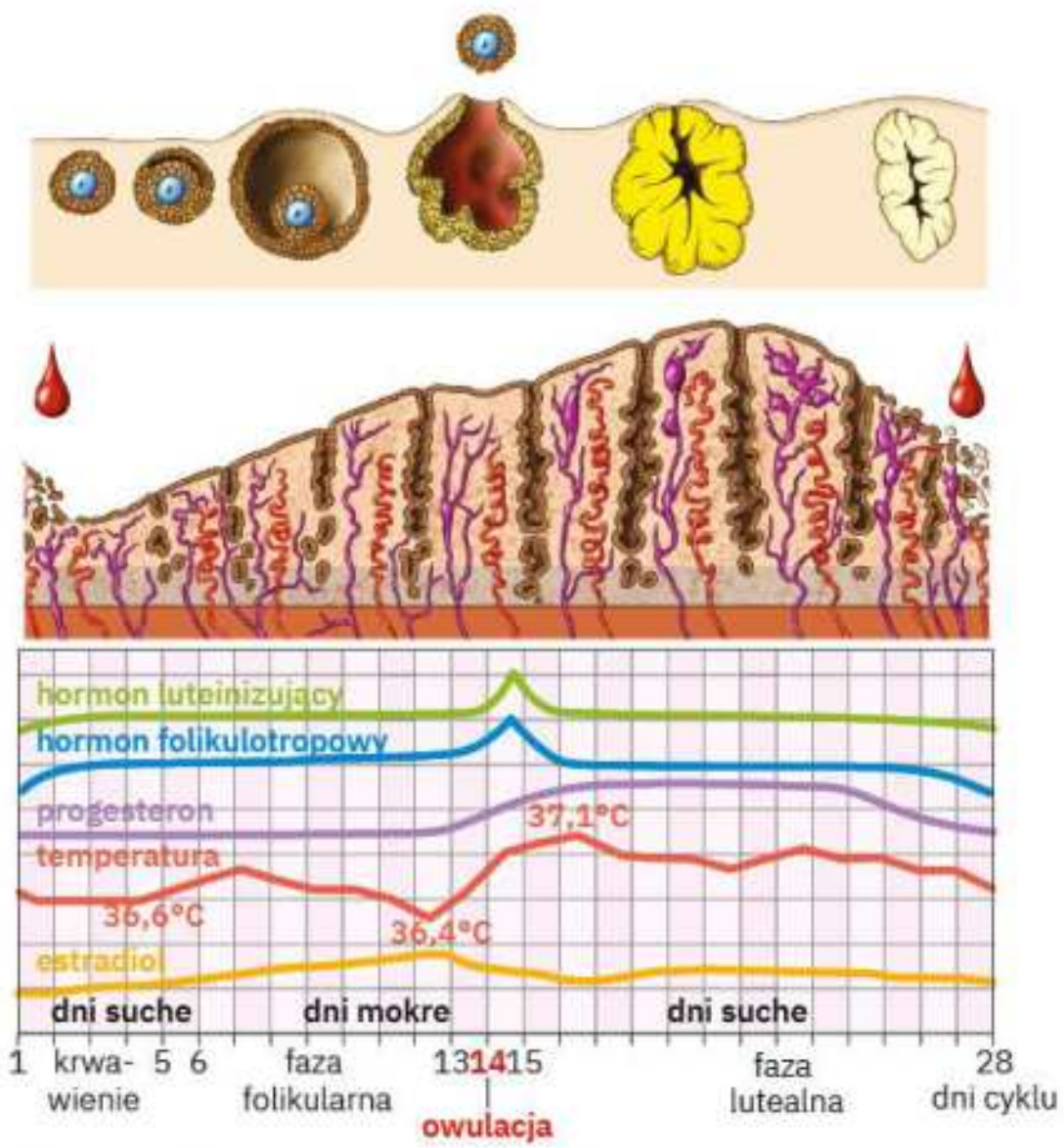
Cykl miesiączkowy

Cykl miesiączkowy (rozrodczy, płciowy) kobiety to seria złożonych przemian, które powtarzają się regularnie średnio co 28 dni (właściwy zakres to 25–34 dni) przez okres płodności, przeciętnie trwający około 36 lat. Na cykl ten składa się seria zmian zachodzących jednocześnie w ścianach macicy (cykl maciczny) i w jajnikach (cykl jajnikowy). Cały proces jest regulowany hormonalnie.

cykl maciczny

Cykl maciczny

Czynniki działające w obrębie jajnika prowadzą do cyklicznych przemian w obrębie błony śluzowej macicy. Pod wpływem hormonów wydzielanych przez jajnik zmienia się jej grubość oraz właściwości fizjologiczne. W cyklu macicznym wyróżniono trzy fazy. W sposób umowny dni cyklu liczy się od początku fazy miesiączkowej, po której następują fazy odbudowy oraz wydzielnicza.



Ryc. II.37.4. Na cykl miesiączkowy składają się cykl jajnikowy oraz maciczny.

Fazę miesiączkową (**1.–5. dzień**) rozpoczyna pierwszy dzień krwawienia miesiączkowego, czyli menstruacji. Jest to efekt spadku poziomu estrogenów i proge-

steronu, po czym następuje złuszczanie się powierzchniowej warstwy błony śluzowej macicy. Krew wraz z martwą tkanką wydostaje się na zewnątrz.

Faza odbudowy (**6.–14. dzień**) polega na odtworzeniu błony śluzowej. Stymulowany hormonalnie pęcherzyk jajnikowy dojrzewa i produkuje estrogen, który wpływa na rozrost i odbudowę endometrium. Ulega ona kilkukrotnemu pogrubieniu i ukrwieniu. Faza ta kończy się z chwilą pęknięcia pęcherzyka Graafa, czyli owulacją.

Faza wydzielnicza (**15.–27. dzień**) – pęknięty pęcherzyk przekształca się w ciałko żółte wytwarzające progesteron, pod wpływem którego błona śluzowa ulega dalszemu pogrubieniu i unaczynieniu. Gruczoły maciczne zaczynają produkować wodnisty śluz, który ułatwia przemieszczanie się plemników z macicy do jajowodów. Spulchniona błona śluzowa macicy jest gotowa na przyjęcie zapłodnionej komórki jajowej. Stan gotowości komórki jajowej do zapłodnienia trwa dość krótko, około 8 godzin. Po implantacji, czyli zagnieżdżeniu się zarodka w błonie śluzowej macicy, ciałko żółte przekształca się w ciałko żółte ciążowe, które produkuje znaczne ilości niezbędnego w przebiegu ciąży progesteronu. Jeśli do zapłodnienia nie dochodzi, komórka jajowa obumiera, a ciałko żółte przechodzi w ciałko białawe. Spada poziom progesteronu, endometrium złuszcza się i cykl maciczny zaczyna się od nowa (**ryc. II.37.4.**).

Cykl jajnikowy i hormonalna regulacja cyklu płciowego

◂ **cykl jajnikowy**
◂ **układ podwzgórzowo-przysadkowy**

Cykl płciowy jest kontrolowany przez oś podwzgórze–przysadka–gonady. Przedni płat przysadki jest źródłem hormonów gonadotropowych: **hormonu folikulotropowego** (FSH) oraz **hormonu luteinizującego** (LH), które regulują pracę jajników. Z kolei hormony wydzielane przez jajniki: estrogeny i progesteron, wpływają na zmiany zachodzące w obrębie błony śluzowej macicy. Na podstawie zmian w stężeniach hormonów przysadki oraz ich wpływu na poziom hormonów jajnikowych cykl podzielono na trzy fazy (**ryc. II.37.4.**).

Faza folikularna zachodzi bezpośrednio po krwawieniu miesiączkowym, kiedy dochodzi do wzrostu stężenia FSH. Hormon ten wpływa na rozwój i dojrzewanie pęcherzyka jajnikowego, który staje się źródłem estrogenów. Jeden z tych hormonów – estradiol – stymuluje wydzielanie hormonu LH. Faza ta trwa od 6 do 13 dni.

Faza owulacji charakteryzuje się maksymalnym stężeniem FSH i LH, co prowadzi do pęknięcia pęcherzyka Graafa i uwolnienia komórki jajowej.

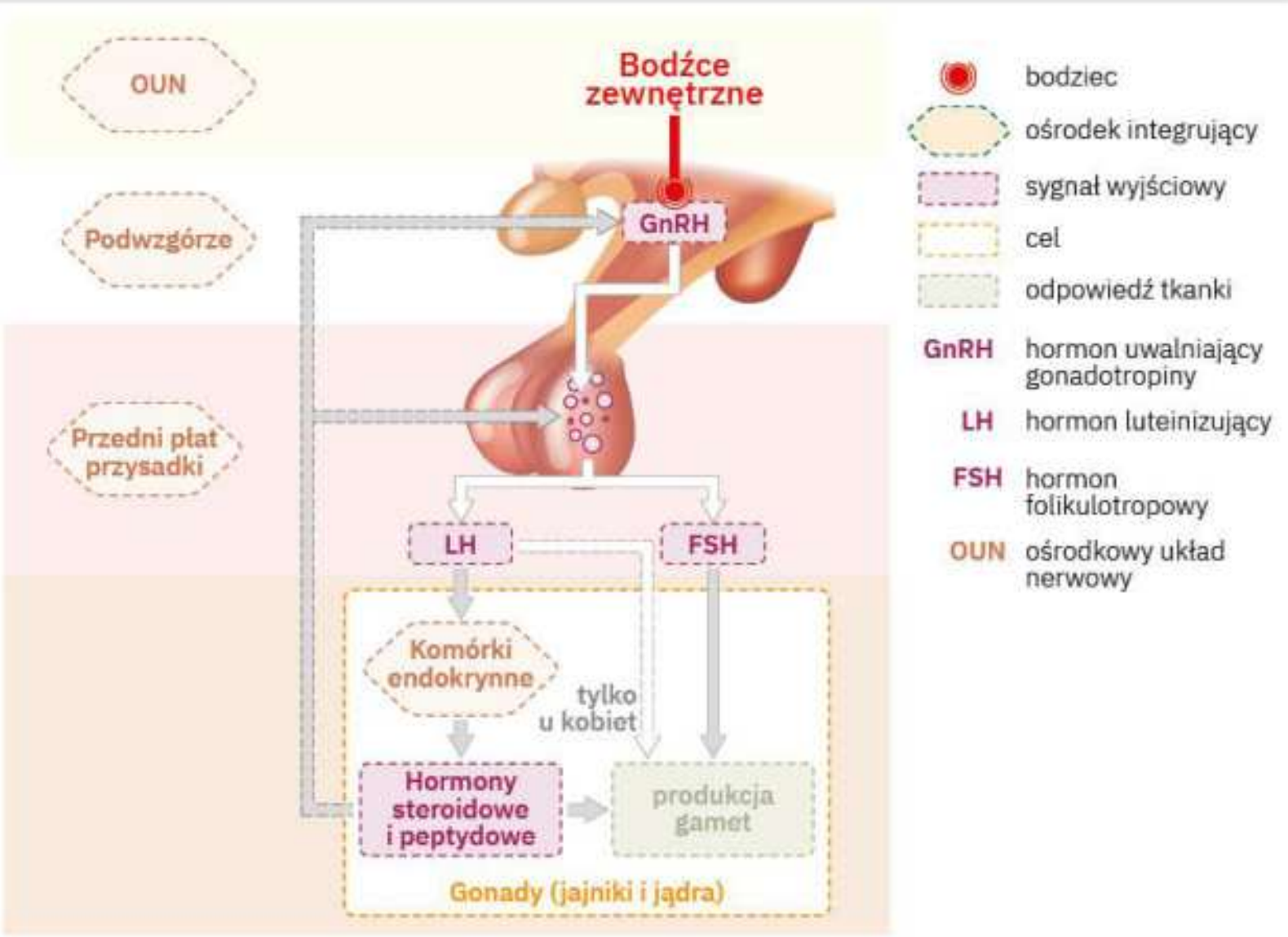
Faza lutealna następuje po owulacji i odznacza się spadkiem stężenia FSH i LH, co prowadzi do przekształcania się pękniętego pęcherzyka Graafa w **ciałko żółte**, wytwarzające progesteron. Jeśli nie dojdzie do zapłodnienia, ciałko żółte zanika i poziom progesteronu się obniża – rozpoczyna się następny cykl.

Zmiany hormonalne (głównie progesteronu) w czasie cyklu jajnikowego wpływają na temperaturę ciała (**ryc. II.37.4.**). Po owulacji, w czasie fazy lutealnej temperatura ciała mierzona zaraz po obudzeniu jest wyższa o 0,17–0,5°C i pozostaje podwyższona aż do wystąpienia menstruacji. Regularne pomiary temperatury mogą

być pomoce w ustaleniu momentu owulacji oraz do oceny, czy cykle zachodzą z owulacją czy bez (cykle bezowulacyjne).

pierwszo- i drugorzędowe cechy płciowe

Hormony płciowe oprócz wpływu na gametogenezę wpływają także na rozwój drugorzędowych cech płciowych. **Pierwszorzędowe cechy płciowe** są wyznaczone przez chromosomy płciowe, których obecność warunkuje rozwój narządów płciowych wewnętrznych i zewnętrznych, które odróżniają kobiety od mężczyzn. **Drugorzędowe cechy płciowe** to pozostałe cechy odróżniające obie płcie, m.in. kształt i budowa sylwetki, owłosienie, muskulatura, głos, zachowanie, popęd płciowy (libido). U mężczyzn za rozwój tych cech odpowiadają androgeny. U kobiet drugorzędowe cechy płciowe są pod kontrolą estrogenów (np. rozwój piersi) i androgenów produkowanych w korze nadnerczy.



Ryc. II.37.5. Regulacja cyklu płciowego przez oś podwzgórzowo-przysadkową.

Regulacja cyklu menstruacyjnego i antykoncepcja

Możliwym skutkiem stosunku płciowego jest ciąża, która może być planowana lub nieplanowana. Pary, które chcą uniknąć nieplanowanej ciąży, stosują jedną z wielu dostępnych metod kontroli urodzeń – czyli **antykoncepcję**.

antykoncepcja

Do **metod antykoncepcji** należą **sterylizacja** u kobiet (w Polsce prawnie zakazana), która polega na podwiązaniu jajowodów, i wazektomia u mężczyzn. Kobieta

z **podwiązanymi jajowodami** nadal ma owulację, ale komórki jajowe pozostają w jamie brzusznej. **Wazektomia** to podwiązanie i przecięcie nasieniowodów. Wytwarzane plemniki zostają zresorbowane w jamie brzusznej. Pozostałe dostępne metody antykoncepcyjne są niechirurgiczne i obejmują metody:

- naturalne,
- barierowe,
- zapobiegające implantacji komórki jajowej,
- hormonalne.

Metody naturalne bazują głównie na obserwacji śluzu macicznego oraz pomiarze temperatury ciała. **Metoda śluzowa** (metoda Billingsów) polega na obserwacji śluzu szyjki macicy w czasie trwania cyklu miesięcznego i określaniu na tej podstawie dni płodnych (4 dni od pojawiania się lepkiego, rozciągliwego śluzu), w których wymagana jest wstrzemięźliwość płciowa. Wadą tej metody jest konieczność sprawnego rozróżniania śluzu szyjkowego płodnego od bezpłodnego. Z kolei metoda bazująca na **pomiarze temperatury** jest skuteczna, ale tylko wtedy, gdy kobieta ma regularne cykle, a pomiary temperatury mają poprawny przebieg. Ich zaburzenie występuje w czasie przeziębienia, choroby, dłuższej podróży czy przy zmianie trybu życia.

◂ metody naturalne

Metody barierowe polegają na stosowaniu chemicznych lub fizycznych barier, których celem jest niedopuszczenie do połączenia komórki jajowej i plemnika. Podstawową metodą jest stosowanie **prezerwatywy**, czyli szczelnej osłonki zbudowanej z lateksu lub poliizoprenu. Prezerwatywa przylega do prącia i gromadzi uwalniające się w czasie ejakulacji nasienie (**ryc. II.37.6.**). Zaletą prezerwatywy jest fakt, że zapobiega ona zarażeniom wieloma chorobami przenoszonymi drogą płciową. Do jej wad natomiast należy wywoływanie reakcji alergicznych (w wypadku produktów wykonanych z lateksu). Wersja prezerwatywy dla kobiet przykrywa szyjkę macicy lub wypełnia pochwę. Do chemicznych barier należą **środki plemnikobójcze**: globulki dopochwowe, żele i kremy. Ich skuteczność jest niska i mogą być one stosowane jako metoda wspomagająca.

◂ metody barierowe

Ryc. II.37.6. Prezerwatywa to jedna z barierowych metod antykoncepcyjnych.

Implantacji zapłodnionej komórki jajowej zapobiega **wkładka wewnątrzmaciczna**, czyli pokryty miedzią plastikowy element (np. w kształcie litery T), umieszczony w jamie macicy. Zadaniem wkładki jest niszczenie plemników i wywoływanie niewielkiej reakcji zapalnej, która uniemożliwia zagnieżdżenie się komórki jajowej. Wkładki są wysoce skuteczne, jednak mają wady, np. mogą wywoływać ból, krwawienia czy stany zapalne. Wkładki wewnątrzmaciczne nasączone progesteronem stosuje się także w leczeniu m.in. nieprawidłowości związanych z budową endometrium.

Metody hormonalne opierają się na przyjmowaniu środków hormonalnych w postaci **pigułek antykoncepcyjnych**, zastrzyków, plastrów oraz krążków do-

◂ metody hormonalne

pochwowych. Do najbardziej rozpowszechnionych metod tego typu należą pigułki antykoncepcyjne (antykoncepcja doustna), czyli środki będące mieszaniną estrogenu i progesteronu, których zadaniem jest hamowanie wydzielania gonadotropowych hormonów przysadkowych: FSH oraz LH. Niewłaściwy poziom tych hormonów hamuje owulację. Dodatkowo progesteron zawarty w pigułce prowadzi do zagęszczenia śluzu szyjkowego, co blokuje wnikanie plemników. Metody hormonalne właściwie stosowane są bardzo skuteczne, ale w niektórych przypadkach zwiększają ryzyko wystąpienia zakrzepów i udarów. Stosowanie antykoncepcji jest przeciwwskazane u kobiet z rakiem piersi, zakrzepicą, cukrzycą, nadciśnieniem, a także kobiet powyżej 35. roku życia oraz palących papierosy (powyżej 15 sztuk na dobę).

Skuteczność dostępnych metod antykoncepcyjnych przedstawia się za pomocą **indeksu Pearla** (czyt. perla). Wyznacza się go na podstawie liczby stwierdzonych ciąż na 100 kobiet stosujących daną metodę przez 1 rok i wyraża w procentach. Im niższy **wskaźnik Pearla**, tym dana metoda jest skuteczniejsza. W **tabeli II.37.1.** przedstawiono skuteczność różnych metod antykoncepcyjnych mierzonych za pomocą indeksu Pearla.

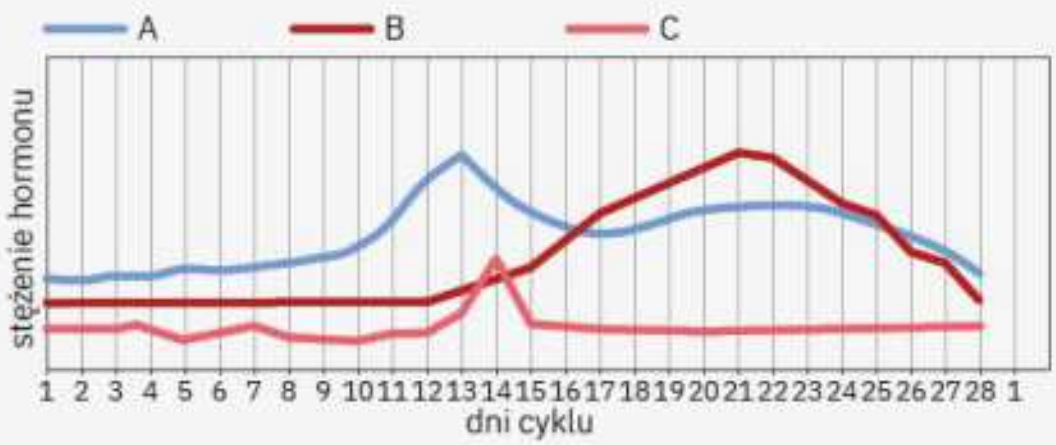
wskaźnik Pearla ▸

Tab. II.37.1. Skuteczność dostępnych metod antykoncepcyjnych

Metoda antykoncepcji	Częstość zajścia w ciążę przy właściwym stosowaniu [%] przez rok
brak antykoncepcji	85
środki plemnikobójcze	28
doustne pigułki antykoncepcyjne	0,05–0,03
wkładka wewnątrzmaciczna	< 1
prezerwatywa	2–18
metoda śluzowa	1–23
metoda termiczna	0,2–9

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Na wykresie przedstawiono zmiany poziomu trzech hormonów w czasie cyklu miesiączkowego. Wskaż, który z hormonów (A, B, czy C) oznacza poziom progesteronu, i uzasadnij swoją odpowiedź.



2. Wymień i podaj przykłady metod antykoncepcyjnych. Porównaj ich skuteczność.
3. Omów funkcje parzystych narządów w układzie rozrodczym żeńskim.
4. Wskaż podobieństwa i różnice w oogenezie i spermatogenezie.
5. Przedstaw zmiany zachodzące w obrębie błony śluzowej macicy w czasie cyklu macicznego.
6. Narysuj w zeszycie schemat cyklu jajnikowego, uwzględniając rolę hormonów w tym procesie.

PODSUMOWANIE LEKCJI

- **Żeński układ rozrodczy** odpowiada za produkcję i dojrzewanie komórek jajowych. ◂ s. 408
- Układ rozrodczy żeński składa się z **narządów płciowych zewnętrznych** (sromu) oraz **wewnętrznych** (pochwa, macica, jajowody i jajniki). ◂ s. 408
- **Pochwa** to kanał łączący narządy zewnętrzne z wewnętrznymi, jest miejscem pozostawania nasienia w czasie stosunku płciowego i drogą wyprowadzającą dla płodu w czasie porodu. ◂ s. 409
- **Macica** to pojedynczy narząd, którego błona śluzowa (endometrium) podlega comiesięcznym zmianom w czasie cyklu miesiączkowego. Macica jest miejscem rozwoju zarodka i płodu w czasie ciąży. ◂ s. 409
- **Jajowody** to parzyste narządy transportujące komórki jajowe z jajników do macicy. W jajowodzie dochodzi najczęściej do zapłodnienia. ◂ s. 409
- **Parzyste jajniki** są miejscem produkcji komórek jajowych. Komórki jajowe o różnym stopniu dojrzałości znajdują się w pęcherzykach Graafa, z których są uwalniane w czasie owulacji. ◂ s. 409
- Komórki jajowe powstają w czasie **oogenezy**, która rozpoczyna się w czasie życia płodowego, a w wieku dojrzałym przyjmuje postać cykliczną (co ok. 28 dni dojrzewa jedna komórka jajowa). ◂ s. 410
- W czasie **spermatogenezy** powstają plemniki. Pierwsze etapy procesu zachodzą w okresie płodowym, są kontynuowane w okresie dojrzewania i powtarzane przez wiele lat. ◂ s. 410
- **Cykl miesiączkowy** jest regulowany hormonalnie i obejmuje zmiany w jajniku (cykl jajnikowy) oraz w błonie śluzowej macicy (cykl maciczny). ◂ s. 412
- Zmiany w obrębie endometrium (**cykl maciczny**) zachodzą pod wpływem hormonów jajnikowych i mają postać trzyfazową: fazę miesiączkową (krwawienia), fazę odbudowy (dojrzewanie i pęknięcie pęcherzyka Graafa oraz uwolnienie komórki jajowej), fazę wydzielniczą (wydzielanie progesteronu przez ciałko żółte, zgrubienie endometrium). ◂ s. 412
- W **cyklu jajnikowym** odbywają się procesy dojrzewania pęcherzyków Graafa i powstawania ciałka żółtego. – Cykl jajnikowy dzieli się na trzy fazy: folikularną, owulacji i lutealną. ◂ s. 413
- Cykl płciowy jest regulowany przez **układ podwzgórzowo-przysadkowy**. Hormony folikulotropowy i luteinizujący regulują aktywność wydzielniczą jajników, które są źródłem estrogenów i progesteronu. ◂ s. 413
- Hormony płciowe męskie i żeńskie odpowiadają za rozwój **pierwszo- i drugorzędowych cech płciowych**. ◂ s. 414
- Cykl płciowy może być regulowany sztucznie za pomocą dostępnych metod antykoncepcyjnych. ◂ s. 414
- **Metody antykoncepcyjne** dzielimy na naturalne (metoda śluzowa, pomiar temperatury), barierowe (prezerwatywa), zapobiegające implantacji zapłodnionej komórki jajowej (wkładka wewnątrzmaciczna) oraz hormonalne (pigułki antykoncepcyjne). ◂ s. 414
- Skuteczność dostępnych metod antykoncepcyjnych określa **wskaźnik Pearla**, oznaczający liczbę stwierdzonych ciąż na 100 kobiet, które stosowały daną metodę przez rok, wyrażoną w procentach. ◂ s. 416

38. Rozwój prenatalny człowieka

NA TEJ LEKCJI:

- przeanalizujesz przebieg zapłodnienia;
- poznasz przebieg okresu zarodkowego i płodowego człowieka;
- dowiesz się, jaką rolę odgrywają łożysko i błony płodowe;
- zrozumiesz, na czym polega diagnostyka prenatalna;
- poznasz metody leczenia niepłodności.

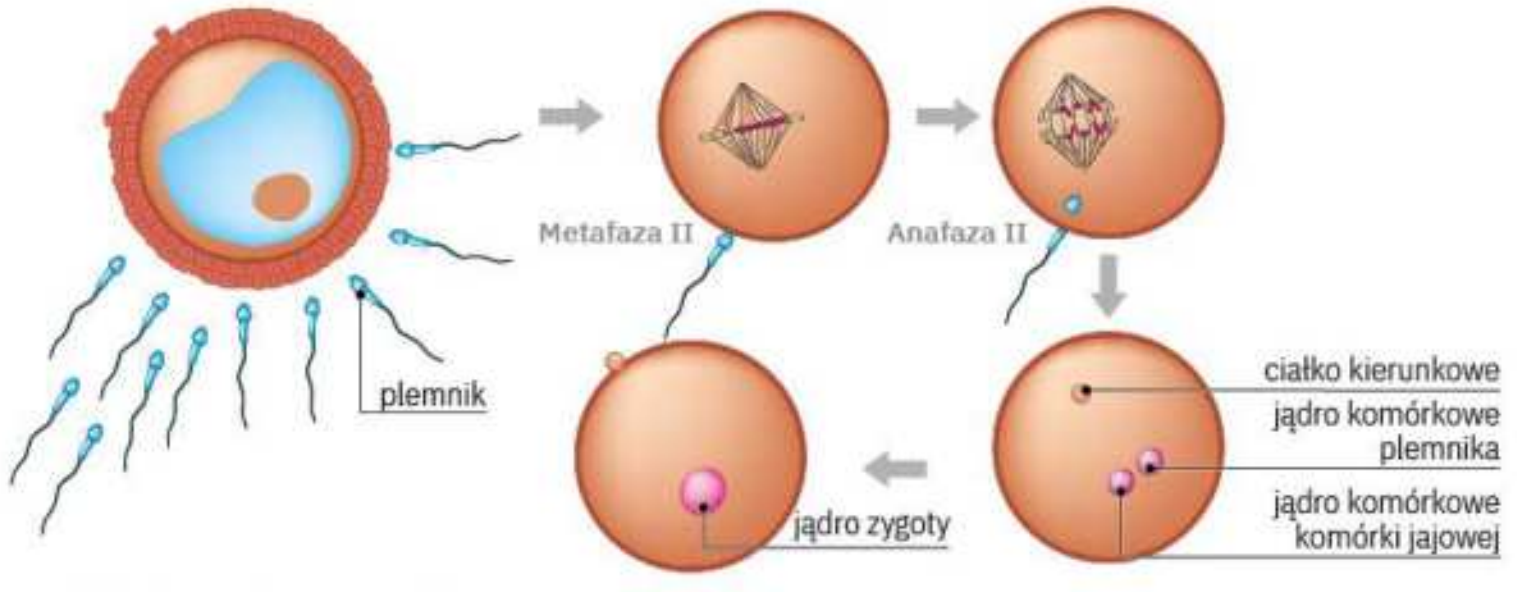
ontogeneza ▸ Rozwój człowieka, czyli **ontogeneza**, obejmuje wszystkie procesy i etapy, które zachodzą od chwili powstania pierwszej komórki nowego organizmu aż do jego śmierci. W ontogenezie wyróżnia się następujące etapy:

- **rozwój prenatalny** – okres od poczęcia do narodzin;
- **rozwój postnatalny** – okres od narodzin do śmierci.

Zapłodnienie i rozwój prenatalny

zapłodnienie ▸ **Zapłodnienie** ma miejsce w jajowodzie. Rozpoczyna się w momencie kontaktu plemnika z komórką jajową i ich połączenia się. Plemnik po dotarciu do komórki jajowej uwalnia enzymy, które rozpuszczają jej osłonkę. Gdy plemnik wniknie do jej wnętrza, w błonie komórki jajowej zachodzą zmiany uniemożliwiające innym plemnikom połączenie się z nią (reakcja korowa). Wniknięcie plemnika inicjuje dokończenie II podziału mejotycznego przez oocyt II rzędu. Następnie dochodzi do połączenia jąder obu komórek i powstania zygoty, czyli pierwszej komórki nowego organizmu. Po powstaniu zygoty rozpoczyna się mitoza. Mniej więcej po 3–4 dniach zarodek z jajowodu przemieszcza się do macicy, gdzie zagnieżdża się w jej grubiej błonie śluzowej. Ma to miejsce około 7. dnia po zapłodnieniu, kiedy zarodek składa się z około 100 komórek i jest w stadium rozwojowym zwanym **blastocystą** (**ryc. II.38.1.**).

blastocysta ▸



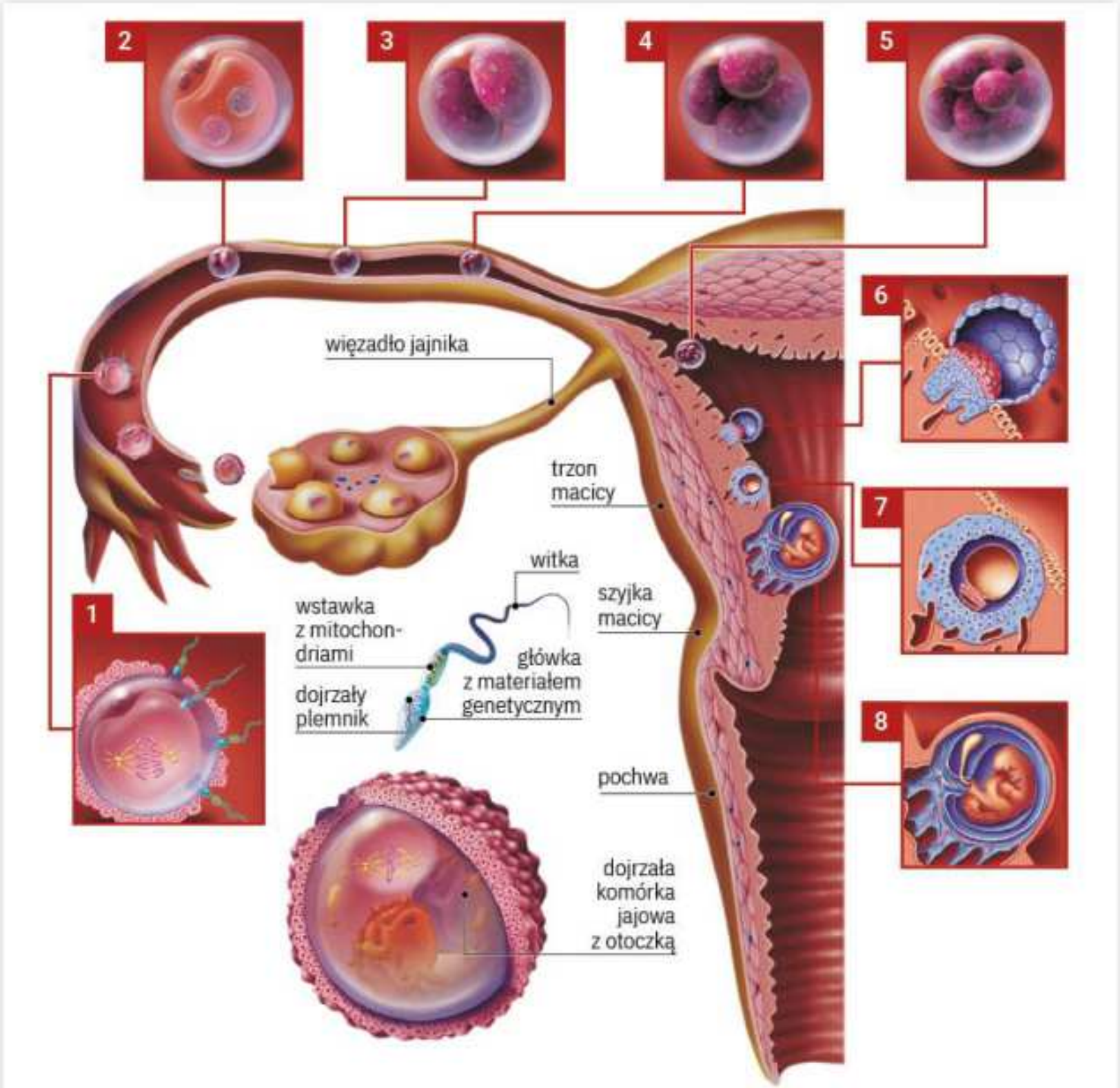
Ryc. II.38.1. Przebieg zapłodnienia.

Rozwój prenatalny obejmuje okres ciąży, która u człowieka trwa około 9 miesięcy (40 tygodni). Czas ten podzielono na dwa okresy: **zarodkowy** i **płodowy**. Okres zarodkowy trwa od powstania zygoty do momentu wytworzenia się wszystkich zawiązków narządów, czyli pierwsze 8 tygodni ciąży. Okres płodowy trwa od 9. tygodnia ciąży do porodu.

◂ **rozwój prenatalny**

Okres zarodkowy obejmuje bruzdkowanie, gastrulację i organogenezę. W czasie **bruzdkowania** komórki dzielą się i różnicują – przyjmują postać tzw. blastocysty (**ryc. II.38.2.**). Komórki zewnętrznej warstwy spłaszczają się, tworząc ścianę zwa-

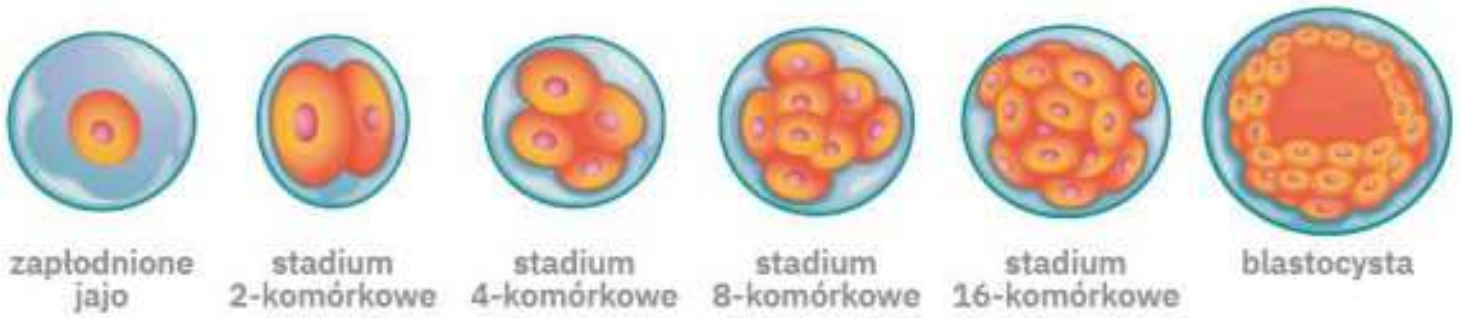
◂ **okres zarodkowy**



Ryc. II.38.2. Zapłodnienie i etapy rozwoju zarodkowego. 1 – zapłodnienie; 2, 3 – podział zygoty i rozpoczęcie bruzdkowania następuje ok. 30 h po zapłodnieniu; 4 – czterokomórkowy zarodek powstaje ok. 2 dni po zapłodnieniu; 5 – kolejne podziały komórkowe prowadzą do powstania kilkunastokomórkowej moruli; 6 – zarodek w stadium blastocysty zagnieżdża się w ścianie macicy ok. 8. dnia od zapłodnienia; 7 – w czasie gastrulacji powstają pierwotne tkanki oraz łożysko; 8 – pod koniec 2. miesiąca ciąży zarodek ma masę ok. 10 g, długość 3 cm i ma wykształcone zawiązki wszystkich narządów.

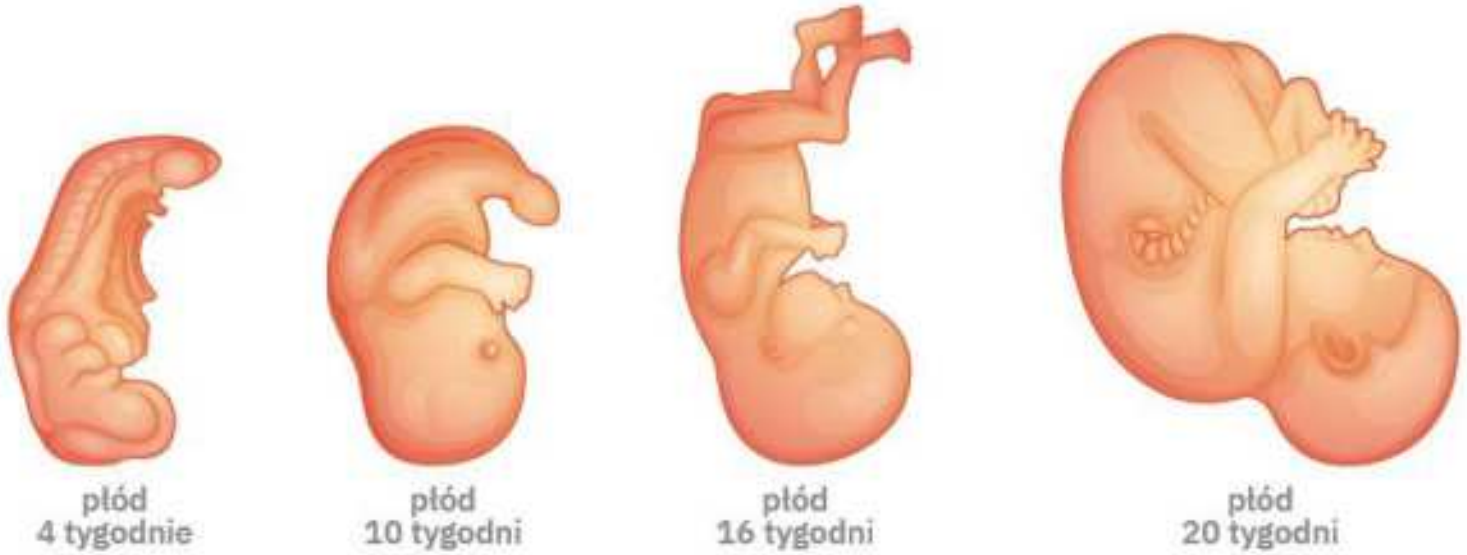
ną **trofoblastem**, która zawiera małą grupę komórek określanych jako **węzeł zarodkowy**. Z trofoblastu rozwijają się błony płodowe (kosmówka i owodnia), a z węzła zarodkowego – właściwy zarodek. Zarodek w stadium blastocysty zagnieżdża się (implantuje) w błonie śluzowej macicy. W trakcie kolejnego etapu rozwoju zarodkowego, czyli **gastrulacji**, powstają pierwotne tkanki: ektoderma, mezoderma i endoderma, które dają początek narządom pierwotnym (m.in. strunie grzbietowej czy cewie nerwowej). Narządy te w czasie **organogenezy** zostają zastąpione przez narządy ostateczne (m.in. kręgosłup, rdzeń kręgowy).

gastrulacja ▸



Ryc. II.38.3. Etapy rozwoju zarodka.

okres płodowy ▸ **Okres płodowy** obejmuje dalszy wzrost, różnicowanie budowy i czynności tkanek, narządów oraz układów (**ryc. II.38.4.**). Odżywianie i wymiana substancji między płodem i matką zachodzi przez łożysko.

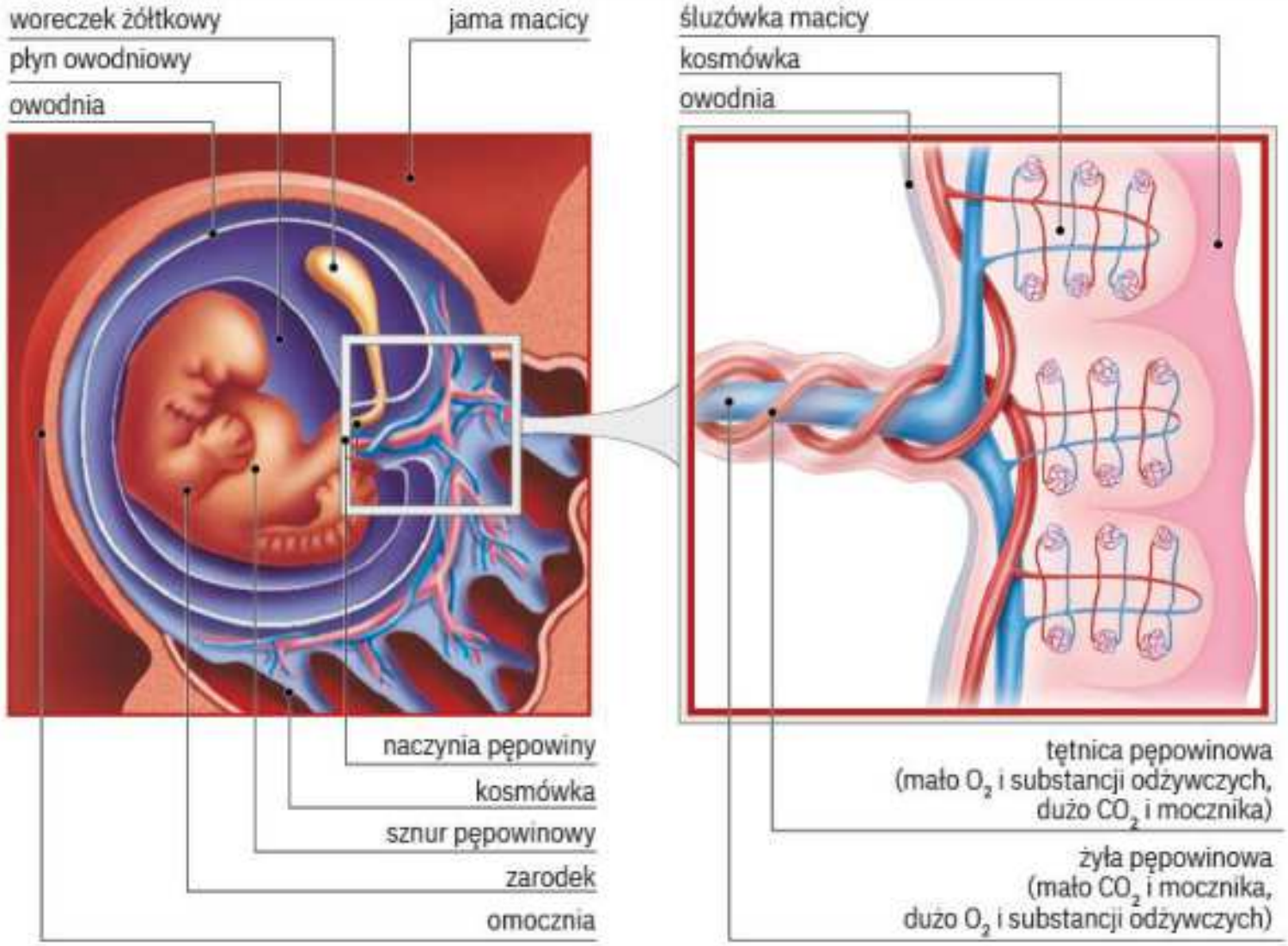


Ryc. II.38.4. Rozwój płodowy obejmuje wzrost, rozwój i specjalizację czynności narządów.

łożysko ▸ **Łożysko** przekazuje składniki odżywcze i tlen dla zarodka, a odprowadza produkty przemiany materii, które wydala matka. Jest strukturą zbudowaną z części zarówno płodowej, jak i matczynej. Łączy się z płodem za pomocą **sznura pępowinowego**. Krwiobiegi matki i płodu są oddzielone błoną, tzw. **barierą łożyskową**, przez którą substancje są transportowane. Należy zwrócić uwagę, że tą drogą poza substancjami odżywczymi, wodą i gazami mogą przenikać także substancje trujące i niebezpieczne dla zdrowia i życia płodu, takie jak: nikotyna, alkohol, kofeina, metale ciężkie oraz wirusy i bakterie. Przez barierę łożyskową przechodzą do

płodu również przeciwciała matczyne, zapewniające noworodkowi obronę, zanim zacznie on wytwarzać własne przeciwciała. Łożysko pełni ponadto funkcję gruczołu dokrewnego. Od momentu implantacji wydziela tzw. **ludzką gonadotropinę kosmówkową** (hCG) (**ryc. II.38.5.**), a także progesteron i estrogeny. Pod wpływem hCG ciałko żółte podtrzymuje produkcję progesteronu we wczesnych etapach ciąży, aby utrzymać prawidłową funkcję endometrium macicy. hCG pobudza także produkcję testosteronu przez rozwijające się jądra płodów męskich. Łożysko jest wydalane wraz z błonami płodowymi w czasie porodu.

ludzka gonadotropina kosmówkowa



Ryc. II.38.5. Budowa łożyska i błony płodowe.

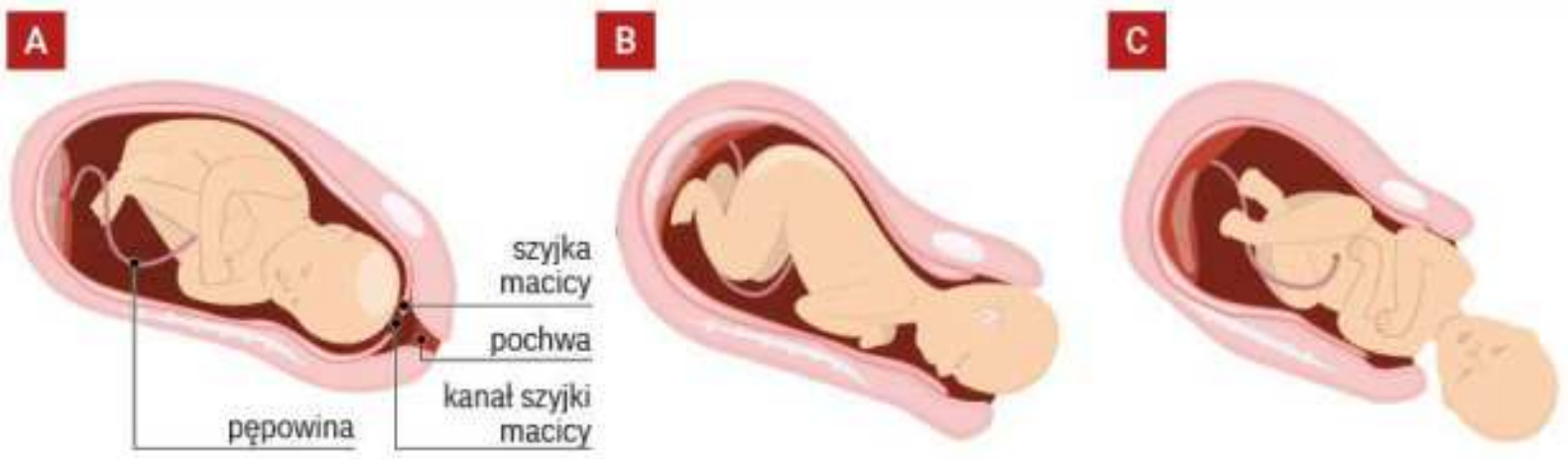
Ryc. II.38.6. Domowe testy ciążowe pozwalają na wykrycie w moczu ludzkiej gonadotropiny kosmówkowej (hGC), która wydziela się od momentu zagnieżdżenia się zarodka w błonie śluzowej macicy, czyli na bardzo wczesnym etapie ciąży. Dawniej do wykonywania testów ciążowych używano królików, u których hCG wywołuje owulację.

Poród

poród ▸ Poród oznacza zakończenie rozwoju prenatalnego. Zwykle następuje po około 270 dniach od zapłodnienia (38.–40. tydzień ciąży). Akcję porodową rozpoczynają regularne skurcze macicy (tzw. bóle porodowe). Skurcze wywołuje hormon przysadkowy – **oksytocyna**. Poród obejmuje trzy fazy:

- **faza I** – od pojawienia się skurczów do pełnego rozwarcia szyjki macicy; płód przemieszcza się w kierunku rozszerzającej się szyjki macicy (**ryc. II.38.7.A**);
- **faza II** – **poród właściwy**, następuje pęknięcie owodni i odejście wód płodowych; silne skurcze macicy i mięśni brzucha przesuwają dziecko przez szyjkę macicy i pochwę na zewnątrz; po przecięciu i zawiązaniu pępowiny dziecko rozpoczyna samodzielne życie (**ryc. II.38.7.B i C**);
- **faza III** – obejmuje wydalenie łożyska i błon płodowych.

Zaraz po porodzie (w ciągu pierwszych 5 min) ocenia się stan zdrowia dziecka za pomocą **skali Apgar**. Ocenie podlega pięć parametrów (tętno, oddech, napięcie mięśniowe, pobudliwość i barwa skóry), za które noworodek może otrzymać 0–2 pkt. Maksymalna liczba punktów to 10. Wynik poniżej 3 oznacza, że noworodek wymaga specjalistycznej opieki lekarskiej.



Ryc. II.38.7. Fazy porodu.

rozwój prenatalny a warunki środowiskowe

Rozwój prenatalny a środowisko zewnętrzne

W trakcie rozwoju prenatalnego zmiany zachodzą w ogromnym tempie, niespotykanym na żadnym innym etapie ontogenezy człowieka. Rozwijający się organizm jest szczególnie wrażliwy na działanie czynników środowiskowych (fizycznych, chemicznych i biologicznych) (**tab. II.38.1.**). Wiele z nich działa jako tzw. **teratogeny**, czyli czynniki zaburzające organogenezę, co prowadzi do powstawania wad rozwojowych. Wpływ tych czynników zależy od stadium rozwojowego zarodka lub płodu, dawki oraz czasu działania. Najbardziej krytycznym momentem w rozwoju prenatalnym są pierwsze trzy miesiące, ponieważ wtedy kształtuje się większość struktur nowego organizmu.

Tab. II.38.1. Wpływ czynników środowiskowych na rozwój prenatalny

Czynniki	Przykład	Skutek
chemiczne	niska podaż substancji odżywczych, głównie białek i witamin (niedożywienie)	Następuje zahamowanie wzrostu, występuje mniejsza ilość komórek nerwowych, niedorozwój układu nerwowego, rozszczep kręgosłupa (niedobór kwasu foliowego), niska masa urodzeniowa.
	leki, nadmiar witamin	Kobiety w ciąży powinny stosować suplementy diety tylko w zalecanych dawkach. Konieczność przyjmowania lekarstw musi stwierdzić lekarz.
	używki: alkohol, narkotyki, papierosy	Dochodzi do upośledzenia umysłowego i fizycznego, spowolnienia wzrostu, występuje niska masa urodzeniowa, poronienia, wzrasta ryzyko śmierci noworodka.
biologiczne	wirus różyczki	Przenika przez łożysko, może prowadzić do głuchoty, wady serca, upośledzenia umysłowego. Profilaktyka obejmuje szczepienia przeciwko różyczce na kilka miesięcy przed planowanym poczęciem.
	wirus HIV, ospy, półpaśca	Pojawiają się zaburzenia neurologiczne, wady wzroku, przedwczesny poród, ryzyko poronienia.
	pasożyt *Toxoplasma gondii*	Wywołuje toksoplazmozę. Może prowadzić do małogłowia i wodogłowia, wad wzroku, wad serca i opóźnienia umysłowego.
fizyczne	promieniowanie jonizujące (głównie rentgenowskie)	Wzrasta ryzyko rozwoju wad rozwojowych i białaczki.

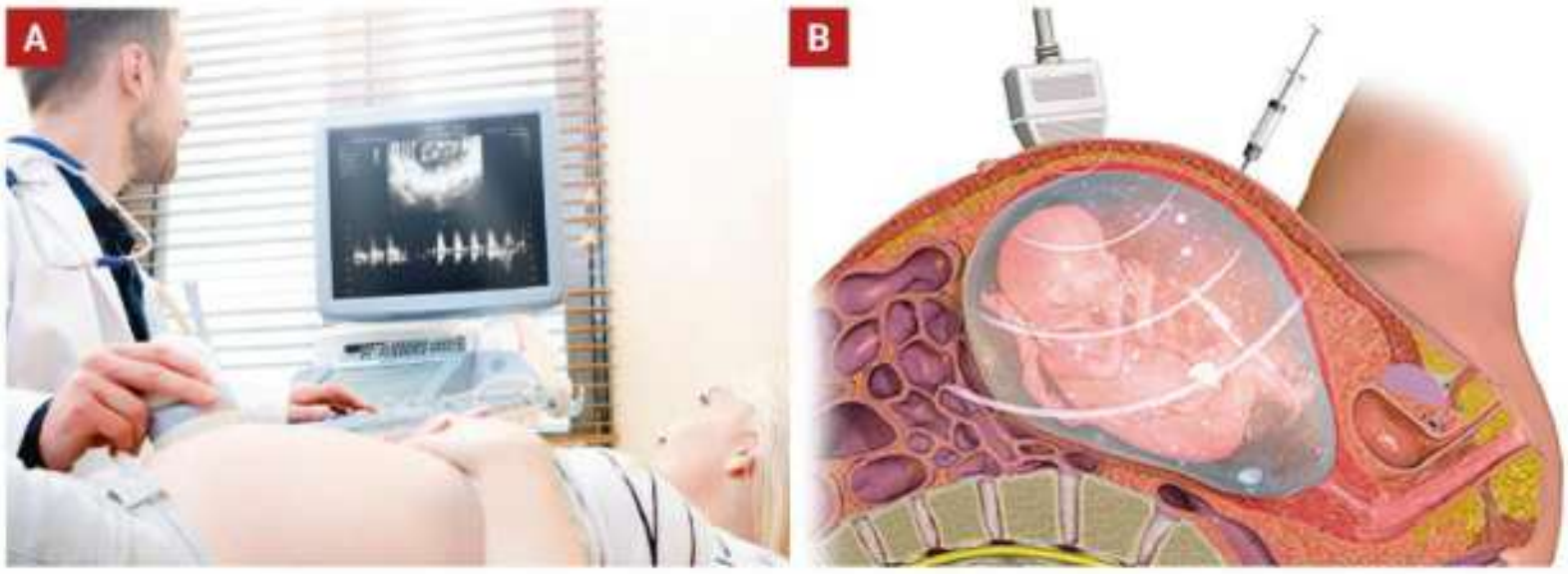
Diagnostyka prenatalna

◂ diagnostyka prenatalna

Diagnostyka prenatalna to zespół badań przeprowadzanych w czasie ciąży, aby określić, czy płód rozwija się prawidłowo, oraz wykryć potencjalne wady rozwojowe i choroby genetyczne (m.in. wady cewy nerwowej czy zespół Downa). Daje to możliwość podjęcia odpowiedniego działania, np. leczenia niektórych chorób jeszcze przed urodzeniem.

Badania prenatalne dzieli się na nieinwazyjne i **inwazyjne**. Do pierwszej grupy zaliczamy **ultrasonografię** (USG) (**ryc. II.38.8**.) oraz badania krwi obwodowej matki. Za pomocą USG monitoruje się rozwój płodu, a także wykrywa się większość wad rozwojowych zarodka i płodu. Badania inwazyjne wykonuje się wówczas, gdy istnieje realne prawdopodobieństwo wady genetycznej płodu. Do tych metod należą m.in. **amniopunkcja** oraz biopsja **kosmówki**. W trakcie amniopunkcji nakłuwa się powłoki brzuszne i pobiera się do analizy płyn owodniowy (**ryc. II.38.8**.). Znajdujące się w nim komórki płodu poddaje się analizie pod kątem wad genetycznych. Biopsja kosmówki polega na pobraniu igłą (przez powłoki brzuszne) lub cewnikiem (przez szyjkę macicy) wycinka kosmówki płodu. Analiza DNA wyizolowanego z tego materiału pozwala wykryć m.in. zanik mięśni, wady chromosomalne czy niedokrwistość sierpowatą. Innowacyjnym, nieinwazyjnym testem prenatalnym jest coraz częściej wykonywane badanie DNA płodowego (z ang. NIPT od *non-invasive pre-*

natal testing). Badanie to polega na pobraniu krwi ciężarnej (po 10. tygodniu ciąży), a następnie analizie zawartego w niej DNA płodu (pochodzącego z komórek łożyska). Test NIPT służy głównie do wykrywania trisomii (np. zespołu Downa). Dodatni wynik testu jest wskazaniem do zabiegu inwazyjnego (np. amniopunkcji).



Ryc. II.38.8. Do badań prenatalnych nieinwazyjnych należy USG (A), a do inwazyjnych – amniopunkcja (B).

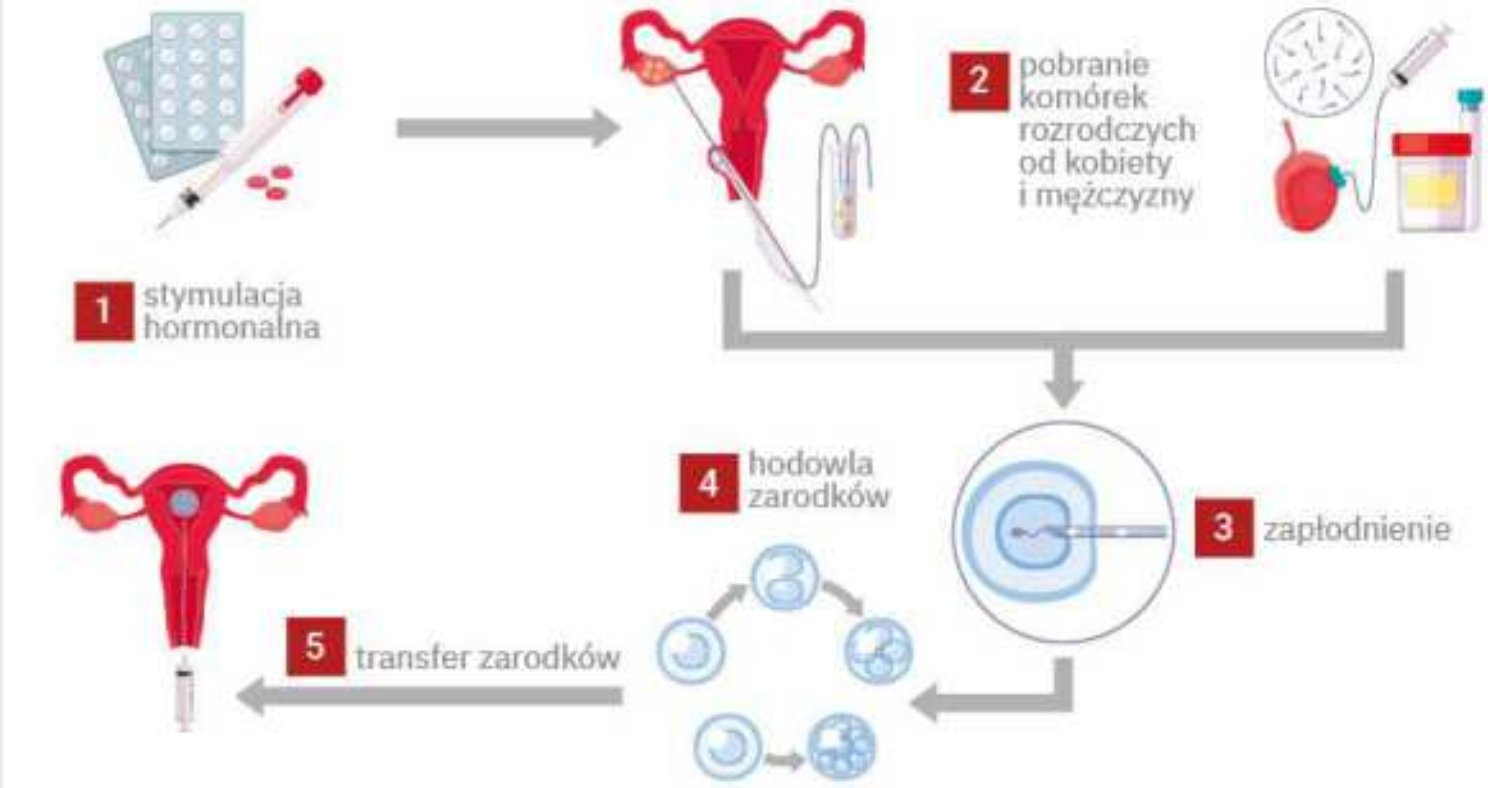
Niepłodność i techniki wspomaganego rozwoju

niepłodność

Niepłodność jest definiowana jako niezdolność pary do poczęcia dziecka w ciągu roku współżycia płciowego bez zabezpieczeń (pojęcie niepłodność jest często zamiennie stosowane z pojęciem bezpłodność; należy podkreślić, że w przeciwieństwie do niepłodności bezpłodność oznacza trwałą niezdolność do zajścia w ciążę, której nie da się wyleczyć żadnymi z dostępnych metod). Niepłodność może dotyczyć tylko kobiety, tylko mężczyzny lub obojga partnerów. Najczęstszymi przyczynami niepłodności męskiej jest zbyt mała liczba plemników lub produkowanie plemników uszkodzonych. Podłoże żeńskiej niepłodności może być mechaniczne (np. niedrożność jajowodów) lub hormonalne, które prowadzi do zaburzeń lub braku owulacji. Dodatkowym problemem są samoistne poronienia w pierwszych tygodniach ciąży. Według badań około 1/3 wszystkich ciąż ulega zakończeniu, zanim kobieta dowie się, że jest w ciąży.

metody leczenia niepłodności

Do metod leczenia niepłodności zalicza się terapię hormonalną (zwiększenie liczby komórek jajowych) oraz techniki chirurgiczne (m.in. udrażnianie jajowodów). Pary, których dotyka problem bezpłodności, mogą korzystać także z **technik wspomaganego rozrodu**. Najbardziej znaną techniką tego typu jest **zapłodnienie *in vitro*** (**ryc. II.38.9**.). Technika ta polega na hormonalnym stymulowaniu jajników kobiety do uwolnienia w jednym czasie większej liczby komórek jajowych. Następnie komórki te są pobierane i zapładniane poza organizmem kobiety (*in vitro* znaczy „w szkle"). Rozwijający się zarodek zostaje następnie umieszczony w macicy. Aby zwiększyć skuteczność tej techniki, do macicy często wprowadza się kilka zarodków, co może skutkować ciążą mnogą. Procedura zapłodnienia *in vitro* jest bardzo złożona, a dodatkową przeszkodą dla wielu par są wysokie koszty jej przeprowadzenia. Jednak takie zapłodnienie dla tysięcy bezpłodnych par jest jedyną szansą na posiadanie potomka.



Ryc. II.38.9. Istota zapłodnienia *in vitro*.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Przedstaw kolejne etapy procesu prowadzącego do zagnieżdżenia się zarodka w błonie śluzowej macicy.

   1) Plemnik zostaje wprowadzony do dróg rodnych kobiety. → 2) → 3)

2. Wyjaśnij różnice między podanymi pojęciami.

   a) rozwój prenatalny i rozwój postnatalny

   b) rozwój zarodkowy i rozwój plodowy

3. Przerysuj do zeszytu i uzupełnij tabelę dotyczącą rodzajów hormonów, ich funkcji oraz gruczołu wydzielającego hormony uwalniane w trakcie ciąży i porodu.

Hormon	Funkcja	Gruczoł wydzielający
ludzka gonadotropina kosmówkowa	...	...
progesteron	...	...
oksytocyna	...	...
prolaktyna	...	...

4. Wytłumacz, dlaczego wszelkie zaburzenia budowy i funkcji łożyska w okresie ciąży mogą skutkować nieprawidłowym jej przebiegiem i stanowią zagrożenie dla zdrowia i życia płodu.

5. Wyjaśnij, jakie niebezpieczeństwo niesie ze sobą palenie tytoniu i picie alkoholu przez ciężarne kobiety.

6. Co to jest amniopunkcja? Wymień sytuacje, w których konieczne jest jej przeprowadzenie.

7. Wytłumacz pojęcia: niepłodność, zapłodnienie *in vitro*.

PODSUMOWANIE LEKCJI

s. 418
- **Ontogeneza**, czyli rozwój człowieka, obejmuje wszystkie procesy zachodzące od poczęcia aż do śmierci.

s. 418
- **Zapłodnienie** zachodzi w jajowodzie i polega na połączeniu się plemnika z komórką jajową i powstaniu zygoty.

s. 418
- Komórki zarodka dzielą się mitotycznie i przyjmują postać **blastocysty**, która zagnieżdża się w błonie śluzowej macicy.

s. 419
- **Rozwój prenatalny** obejmuje czas ciąży i składa się z okresu zarodkowego (pierwsze 8 tygodni ciąży) i płodowego (od 9. tygodnia do porodu).

s. 419
- **Okres zarodkowy** obejmuje bruzdkowanie (różnicowanie komórek, wytworzenie trofoblastu), gastrulację (powstanie pierwotnych tkanek i narządów) i organogenezę (wytworzenie narządów ostatecznych). Okres płodowy obejmuje wzrost, różnicowanie budowy i czynności tkanek narządów oraz układów, a kończy się porodem.

s. 420
- **Łożysko** zapewnia wymianę substancji odżywczych i tlenu między płodem a matką. Jest zbudowane z części matczynej i płodowej. Łączy się z płodem sznurem pępowinowym.

s. 421
- Łożysko wydziela hormony: **ludzką gonadotropinę kosmówkową**, progesteron i estrogeny.

s. 422
- **Poród** następuje po ok. 38–40 tygodniach od zapłodnienia. Rozpoczyna się od regularnych skurczów macicy wywoływanych przez oksytocynę.

s. 422
- Na **rozwój prenatalny wpływają czynniki środowiskowe**, m.in. chemiczne (np. leki, używki), biologiczne (np. wirusy, bakterie) oraz fizyczne (np. promieniowanie jonizujące).

s. 423
- **Diagnostyka prenatalna** obejmuje zespół badań w trakcie ciąży, których celem jest określenie rozwoju płodu i wykrycie potencjalnych wad rozwojowych i chorób genetycznych.

s. 423
- **Diagnostyka prenatalna** obejmuje ultrasonografię, amniopunkcję i biopsję kosmówki.

s. 424
- **Niepłodność** to niezdolność pary do poczęcia dziecka przez okres roku w czasie niezabezpieczonych stosunków płciowych.

s. 424
- **Metodą leczenia niepłodności** jest m.in. terapia hormonalna. Do technik wspomaganego rozrodu zalicza się zapłodnienie *in vitro*.

39. Choroby i profilaktyka układu rozrodczego

NA TEJ LEKCJI:

- dowiesz się, jakie choroby są najczęściej przenoszone drogą płciową;
- poznasz choroby nowotworowe układu rozrodczego.

Choroby przenoszone drogą płciową

choroby weneryczne

Choroby przenoszone drogą płciową (**choroby weneryczne**) stanowią zaraz po grypie najbardziej pospolite choroby na świecie. Wśród nich najpowszechniejsze są stany zapalne. U kobiet najczęściej rozwijają się w okolicy zewnętrznych narządów płciowych oraz w pochwie, a u mężczyzn – w cewce moczowej. Ich przyczynami są bakterie, wirusy, grzyby i protisty. Wiele z nich ma charakter niegroźnych infekcji. Istnieją jednak takie, które wywołują poważne zaburzenia i mogą prowadzić nawet do śmierci. Charakterystykę chorób przenoszonych drogą płciową przedstawiono w tabeli.

Tab. II.39.1. Najczęstsze choroby przenoszone drogą płciową

Choroba	Przyczyna	Przebieg choroby i leczenie
Zakażenie HPV	wirus brodawczaka ludzkiego HPV (ang. *human papilloma virus*)	Powoduje powstawanie brodawek na skórze (kurzajki) oraz na narządach płciowych (tzw. kłykcin). Niektóre szczepy są przyczyną raka szyjki macicy. Aby zwalczyć zakażenie, stosuje się leczenie interferonem. Profilaktyka natomiast obejmuje stosowanie szczepień u dzieci i młodzieży przed rozpoczęciem współżycia seksualnego.
Rzeżączka	bakteria *Neisseria gonorrhoeae* (czyt. neisseria gonorroe), dwoinka rzeżączki	To ropne zapalenie cewki moczowej u mężczyzn (ale też jąder). U kobiet zakażenie dotyczy sromu, pochwy, szyjki macicy, jajowodów i jajników. Może prowadzić do zrośnięcia się jajowodów i bezpłodności. Powikłaniami rzeżączki są: zapalenie stawów, mięśnia sercowego i opon mózgowo-rdzeniowych. Rzeżączkę leczy się antybiotykami.
Kiła (syfilis)	bakteria *Treponema pallidum*, krętek blady (**ryc. I.23.1.**)	Pierwsze objawy to owrzodzenie narządów płciowych i powiększenie węzłów chłonnych. Po cofnięciu się zmian, po ok. 4 miesiącach następuje nawrót choroby w postaci uogólnionej wysypki. Po latach pojawiają się zmiany wielonarządowe (m.in. na skórze, kościach, w układzie nerwowym). Bakterie przenikają przez łożysko i mogą prowadzić do uszkodzenia płodu. Kiłę leczy się najczęściej penicyliną.

Choroba	Przyczyna	Przebieg choroby i leczenie
Chlamydioza	bakteria *Chlamydia trachomatis*	Powoduje stan zapalny narządów płciowych (m.in. szyjki macicy u kobiet i zapalenie cewki moczowej u mężczyzn). Leczy się ją antybiotykami.
Rzęsistkowica	protist *Trichomonas vaginalis* rzęsistek pochwowy	Powoduje zapalenie sromu i pochwy, upławy, bolesność. U mężczyzn przebiega bezobjawowo. Do jej zwalczenia stosuje się antybiotyki.
Grzybica	drożdże *Candida albicans*	U kobiet objawami zakażenia są: podrażnienie, zaczerwienie, bolesność, upławy. U mężczyzn choroba przebiega bezobjawowo. Grzybicę leczy się lekami przeciwgrzybiczymi.
Opryszczka	wirus *Herpes simplex* wirus opryszczki	Często zakażenie jest bezobjawowe lub występuje owrzodzenie narządów płciowych. Opryszczka jest chorobą nawracającą i groźną dla płodu. Leczy się ją lekami przeciwwirusowymi, które łagodzą objawy.

Ryc. II.39.1. Drobnoustroje będące podłożem chorób wenerycznych: krętek blady wywołujący kiłę (A), dwoinka rzeżączki (B), drożdże *Candida albicans* wywołujące grzybicę (C).

choroby nowotworowe układu rozrodczego

Choroby nowotworowe układu rozrodczego

Odrębny problem stanowią **choroby nowotworowe** narządów płciowych. U mężczyzn najczęściej występują rak jądra i rak prostaty. **Rak jądra** o charakterze złośliwym stanowi około 1% nowotworów złośliwych u mężczyzn. Najczęściej dotyka młodych mężczyzn, między 15. a 44. rokiem życia. Objawia się zazwyczaj jako bolesny guz w mosznie. Czynnikami ryzyka są m.in. wnętrostwo (brak jednego lub obu jąder w mosznie) i predyspozycje genetyczne. Profilaktyka polega na samobadaniu i wczesnym wykryciu zmian. Guzy usuwa się operacyjnie. **Rak prostaty** występuje najczęściej u mężczyzn po 50. roku życia. Podłożem tej choroby mogą być zmiany hormonalne lub zakażenia wirusowe. Wczesnymi objawami są bolesność przy oddawaniu moczu, pieczenie i bóle w podbrzuszu. Wczesny rak prostaty nie daje żadnych objawów, zatem kluczowa w tym przypadku jest profilaktyka. Raka prostaty można wykryć za pomocą specjalistycznego badania krwi. Wczesne wykrycie daje dużą szansę na wyleczenie.

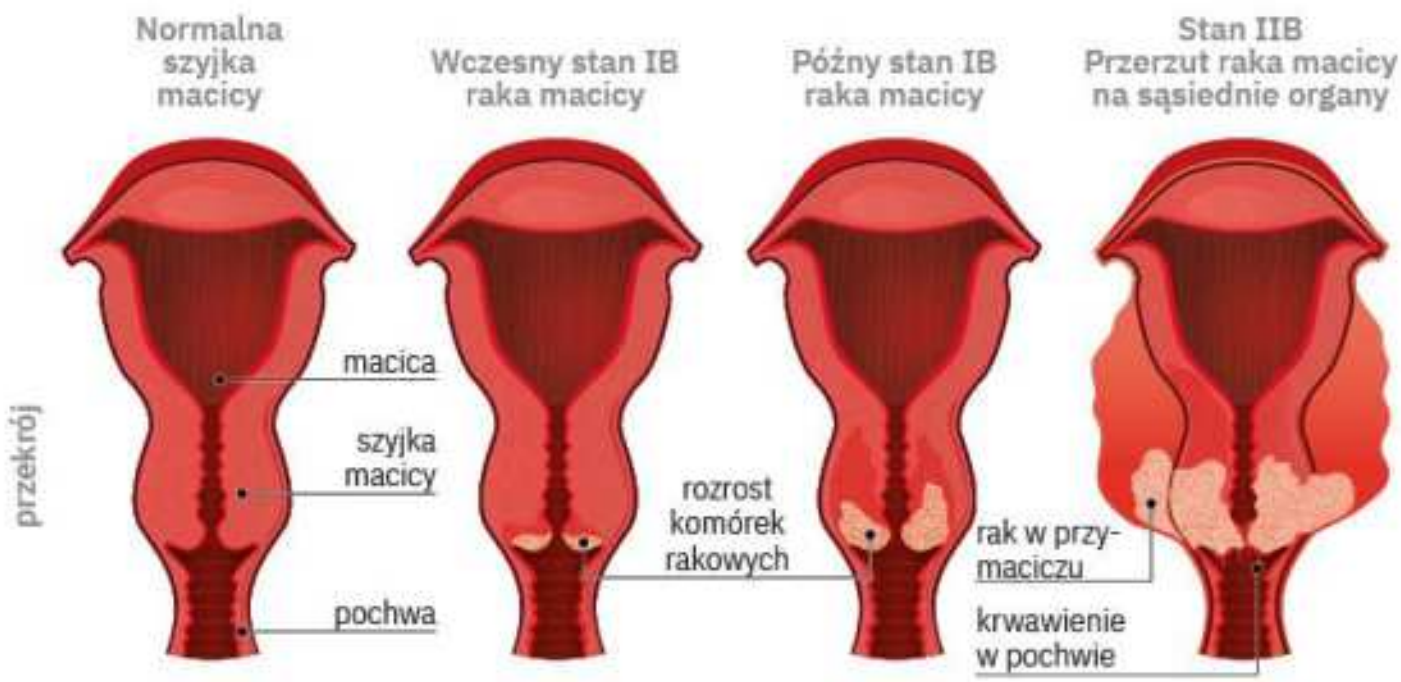
Do najczęstszych nowotworów układu rozrodczego żeńskiego należą rak szyjki macicy i rak jajnika. **Rak jajnika** występujący u kobiet w wieku 20–45 lat zwykle ma charakter łagodny, natomiast złośliwy jest u dziewcząt w okresie pokwitania. Choroba długo rozwija się bezobjawowo, a nowotwór zostaje wykryty dopiero w późnym stadium. Osoby z ryzykiem wystąpienia tego typu nowotworu powinny regularnie badać **markery nowotworowe** we krwi (CA 125 i CA 19-9), które pomagają wykryć chorobę na wczesnym etapie oraz podjąć stosowne leczenie. Ryzyko wystąpienia odmian dziedzicznych raka jajnika można określić na podstawie badań genetycznych.

Rak szyjki macicy to jeden z najczęstszych nowotworów narządów płciowych u kobiet w Polsce, co wynika ze zbyt późnego jego wykrywania. Rozwija się w wyniku uszkodzenia komórek nabłonkowych szyjki macicy (**ryc. II.39.2.**). Choroba jest prawie zawsze wywoływana przez wirusa brodawczaka ludzkiego (HPV, z ang. *human papilloma virus*, czyt. hjuman papiloma wajrus). Wirus ten jest przenoszony drogą płciową, a zakażenia nim są dość powszechne. Większość zakażeń ulega samoistnemu wyleczeniu, ale niektóre powodują nieprawidłowości nabłonka i rozwój raka. Na wykrycie raka we wczesnym stadium pozwalają regularne **badania ginekologiczne i cytologiczne**, czyli rozmaz komórek pobranych z szyjki macicy. Wyleczalność raka wykrytego we wczesnym stadium wynosi między 90 a 100%. Niestety w Polsce wczesna wykrywalność raka szyjki macicy jest bardzo niska i u ponad 60% kobiet wykrywa się go w zaawansowanym stadium, kiedy daje przerzuty do innych narządów (**ryc. II.39.2**.). Wówczas stosuje się leczenie chirurgiczne i chemioterapię, ale szanse na wyleczenie są małe. Podstawę profilaktyki raka szyjki macicy stanowią badania ginekologiczne i cytologiczne (przynajmniej raz w roku). W Polsce jest dostępna szczepionka przeciwko wirusowi HPV, która zmniejsza ryzyko zachorowania na raka szyjki macicy o ponad 90%. Szczepionka podana trzykrotnie będzie najskuteczniejsza u osób, które nie rozpoczęły jeszcze współżycia seksualnego.

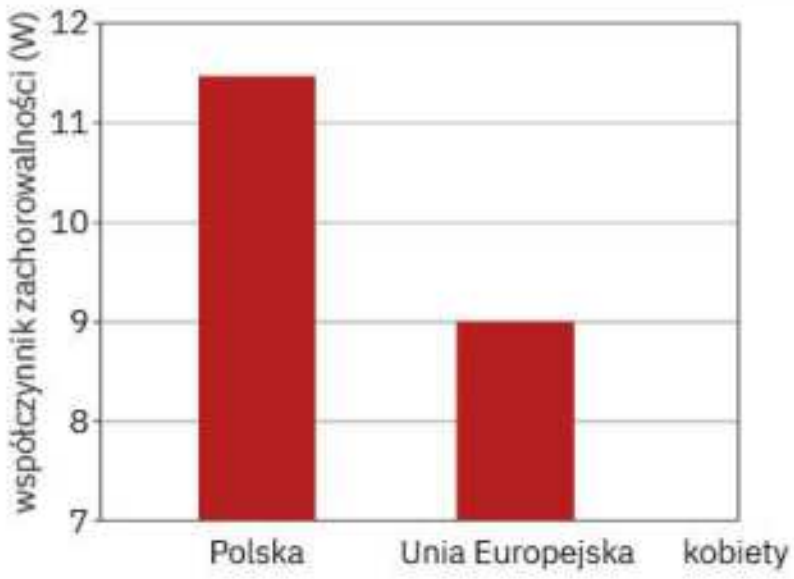
rak szyjki macicy

wirus brodawczaka ludzkiego

szczepionka przeciwko HPV



Ryc. II.39.2. Rozwój raka szyjki macicy.



Ryc. II.39.3. Porównanie zachorowalności na raka szyjki macicy w Polsce i krajach UE.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Omów trzy przykłady bakteryjnych chorób wenerycznych.
2. Wymień przykłady chorób przenoszonych drogą płciową. Jak można im zapobiegać?
3. Wyjaśnij przyczynę wielu zachorowań na raka szyjki macicy w Polsce. Jakie działania profilaktyczne należy podjąć, aby zmniejszyć ryzyko wystąpienia tej choroby?
4. Przeczytaj poniższy tekst i wykonaj polecenie.

Wirus brodawczaka ludzkiego (HPV) jest przenoszony drogą płciową i sprzyja rozwojowi raka szyjki macicy u kobiet, dlatego w wielu krajach od ponad 10 lat szczepi się przeciwko niemu dziewczynki w wieku 11–13 lat, zanim jeszcze rozpoczną życie seksualne. Szczepionka zapobiega zakażeniu tym drobnoustrojem i chroni przed nowotworem. Wirus ten podczas kontaktów seksualnych przenoszą mężczyźni, ale mogą oni zarażać się także od zainfekowanych nim partnerek. Wirus HPV poza rakiem szyjki macicy może sprzyjać rozwojowi także innych nowotworów, takich jak rak jamy ustnej i gardła oraz rak odbytu.

Źródło: http://link.operon.pl/naukawpolscepl.

Czy twoim zdaniem szczepienia przeciwko HPV zarówno dziewczynek, jak i chłopców mogłyby pomóc w ograniczeniu rozprzestrzeniania się tego wirusa? Uzasadnij swoją odpowiedź.

PODSUMOWANIE LEKCJI

s. 427 • **Choroby weneryczne** są przenoszone drogą płciową. Wywołują je bakterie, wirusy i grzyby.

s. 427 • Do **najczęstszych chorób wenerycznych** należą: rzeżączka, kiła, rzęsistkowica, chlamydioza i grzybica.

s. 428 • Najczęstsze **choroby nowotworowe** to rak jądra i prostaty (u mężczyzn) oraz rak jajnika i szyjki macicy (u kobiet).

s. 429 • Rozpowszechnienie **raka szyjki macicy** w Polsce wynika ze zbyt późnego jego wykrywania.

s. 429 • Przyczyną raka szyjki macicy jest **wirus brodawczaka ludzkiego** (HPV).

s. 429 • **Szczepionka przeciwko HPV** zmniejsza ryzyko zachorowania na raka szyjki macicy nawet o 90%.

40. Wzrost i starzenie się człowieka

NA TEJ LEKCJI:

- przeanalizujesz etapy rozwoju postnatalnego człowieka;
- dowiesz się, jak przebiegają poszczególne etapy dojrzewania człowieka;
- poznasz przyczyny i konsekwencje wzrostu średniej długości życia ludzi.

Po rozwoju prenatalnym cykl życiowy człowieka przebiega dalej przez stadia: noworodkowe, niemowlęce, dzieciństwo, młodość, dorosłość, wiek średni i starość (**ryc. II.40.1.**). Zmiany te określane zbiorczo jako **rozwój postnatalny** dotyczą wszystkich ludzi, ale tempo ich przebiegu jest osobnicze, a przedziały czasowe są orientacyjne.

◂ rozwój postnatalny

Okres dojrzewania

◂ okres dojrzewania

Początek dojrzewania (pokwitania) u dziewczynek objawia się wzrostem piersi oraz pierwszym cyklem miesiączkowym (tzw. menarche). Średni wiek wystąpienia pierwszej miesiączki to 12–13 lat. W tym czasie rozwijają się także piersi, pojawia się owłosienie łonowe i pachowe. Początek okresu dojrzewania u chłopców jest rozciągnięty w czasie, a jego oznakami są: owłosienie łonowe, zarost, obniżenie wysokości głosu, zmiana budowy sylwetki i szybki wzrost ciała. Następuje to między 9. a 14. rokiem życia. Proces dojrzewania jest kontrolowany hormonalnie na osi podwzgórze–przysadka–gonady. Osiągnięcie dojrzałości wiąże się ze zwiększonym wydzielaniem GnRH przez podwzgórze, który pobudza uwalnianie hormonów płciowych. Jednym z efektów działania tego hormonu jest także **przyspieszone wzrastanie**, czyli okres, w którym w szybkim tempie wzrasta wysokość ciała (w ciągu roku nawet 8–12 cm).

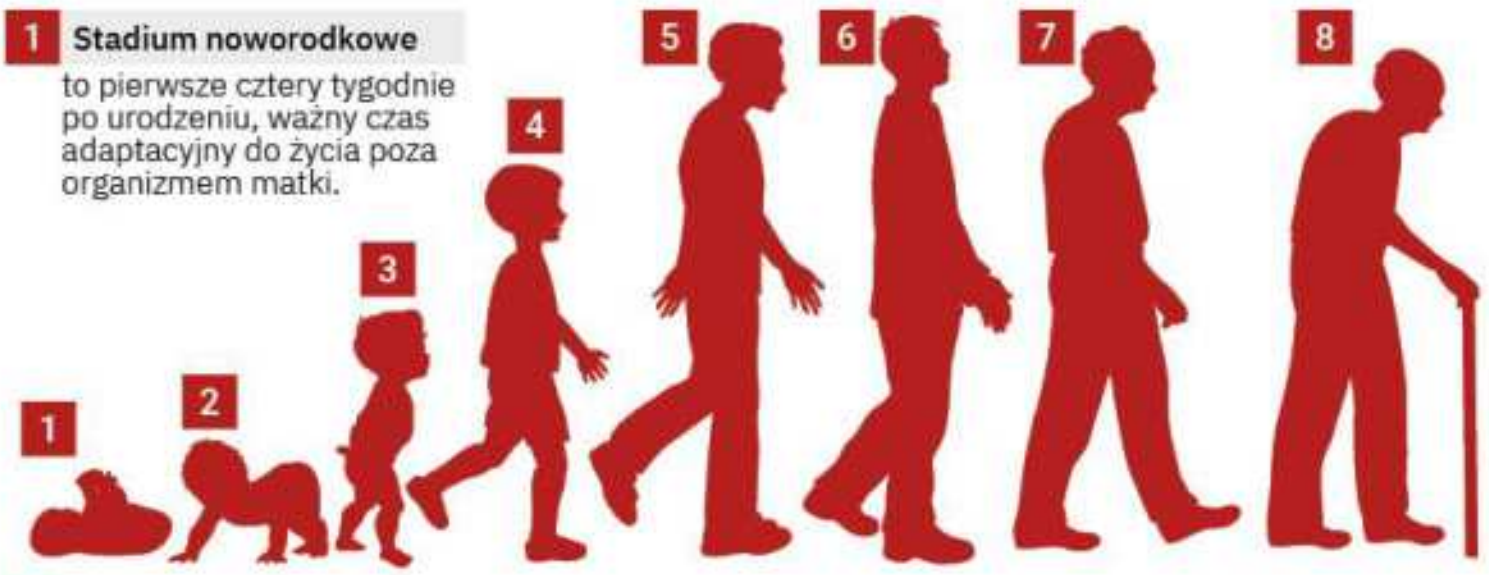
◂ początek dojrzewania

Starzenie się i starość

◂ starzenie się

Na dalsze etapy życia, w tym starość, znacząco wpływają tryb i warunki życia w okresach, w których organizm się rozwijał (m.in. warunki środowiskowe, nawyki żywieniowe). Proces starzenia jest wieloczynnikowy, a przez to bardzo trudny do zgłębiania dla badaczy. Wysuwane teorie starzenia się wskazują różne jego przyczyny, m.in. genetyczne, ewolucyjne, żywieniowe czy związane z osłabieniem działania układu odpornościowego. Jedna z uznawanych teorii zakłada, że przyczyną starzenia się jest skracanie telomerów obecnych na końcach chromosomów, pełniących w stosunku do nich funkcje ochronne. Mówiąc o procesie starzenia, musimy uwzględniać wszystkie te przyczyny. Ponadto nie jest łatwo wskazać moment rozpoczęcia procesu starzenia się, gdyż to kwestia indywidualna i zróżnicowana,

oznaki starości ▸ m.in. płciowo, geograficznie. Istnieją zmiany, których pojawienie się wiąże się z procesem starzenia się: zmiany skórne (tzw. plamy starcze, **ryc. II.40.2.**), siwienie włosów, utrata elastyczności skóry (zmarszczki) czy większa wrażliwość na czynniki środowiskowe przez pogorszenie reakcji odpornościowych i osłabienie układu krążenia. Wpływa to także na częstsze niż we wcześniejszych okresach ży-



1 Stadium noworodkowe
to pierwsze cztery tygodnie po urodzeniu, ważny czas adaptacyjny do życia poza organizmem matki.

2 Stadium niemowlęctwa
trwa do końca pierwszego roku życia; organizm rośnie, rozwija się ruchowo – pod koniec tego okresu dziecko zaczyna chodzić; ok. 6. miesiąca życia pojawiają się pierwsze zęby mleczne; dziecko zaczyna wymawiać proste słowa.

3 Stadium poniemowlęce
trwa od pierwszego do trzeciego roku życia; doskonalenie zręczności i sprawności ruchowej, rozwoju mowy, kojarzenia i koncentracji uwagi, samodzielności.

4 Stadium dzieciństwa
trwa od trzeciego roku życia do rozpoczęcia dojrzewania. Dziecko rozwija się intelektualnie, uczy się funkcjonowania w grupie, kształtuje się jego osobowość.

5 Stadium dojrzewania
rozpoczyna się ok. 9. roku życia u dziewcząt i ok. 11. roku życia u chłopców. Pod wpływem hormonów płciowych sylwetka nabiera cech charakterystycznych dla płci.

6 Stadium dorosłości
rozpoczyna się ok. 25. roku życia – człowiek osiąga dojrzałość fizyczną i psychiczną, społeczną (podejmuje pracę, jest niezależny finansowo).

7 Stadium wieku średniego
u kobiet rozpoczyna się ok. 50.–55. roku życia, u mężczyzn po 55. roku życia. Spada stężenie hormonów płciowych – u kobiet dochodzi do zahamowania miesiączkowania, a u mężczyzn do obniżenia zdolności rozrodczych.

8 Stadium starości
obniżenie zdolności do utrzymania homeostazy organizmu, większa zachorowalność, osłabienie aktywności wielu narządów. Okres dzieli się na kilka podokresów, a tempo zmian jest indywidualne.

Ryc. II.40.1. Etapy rozwoju postnatalnego człowieka.

cia występowanie chorób towarzyszących procesowi starzenia się, m.in.: nadciśnienia, niedosłuchu, osteoporozy, reumatyzmu czy chorób sercowo-naczyniowych. Obecnie obserwuje się znaczny wzrost **średniej długości życia** (w 2018 r. wynosiła ona 74 lata dla mężczyzn i 81,8 roku dla kobiet). Przybywa również osób w wieku zaawansowanym (powyżej 80 lat i więcej). Ma to związek m.in. z lepszą opieką medyczną i poprawą jakości życia. Zmiany demograficzne wymuszają także odmienne podejście do wyznaczania początków starości. Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) za początek starości uznaje 60.–65. rok życia, a cały okres starości dzieli na trzy podokresy: starość wczesną (tzw. młodzi starzy, 60–74 lat), starość późną (75–89 lat, tzw. starzy starzy) i starość bardzo późną (90 lat i więcej, tzw. najstarsi starzy).

średnia długość życia

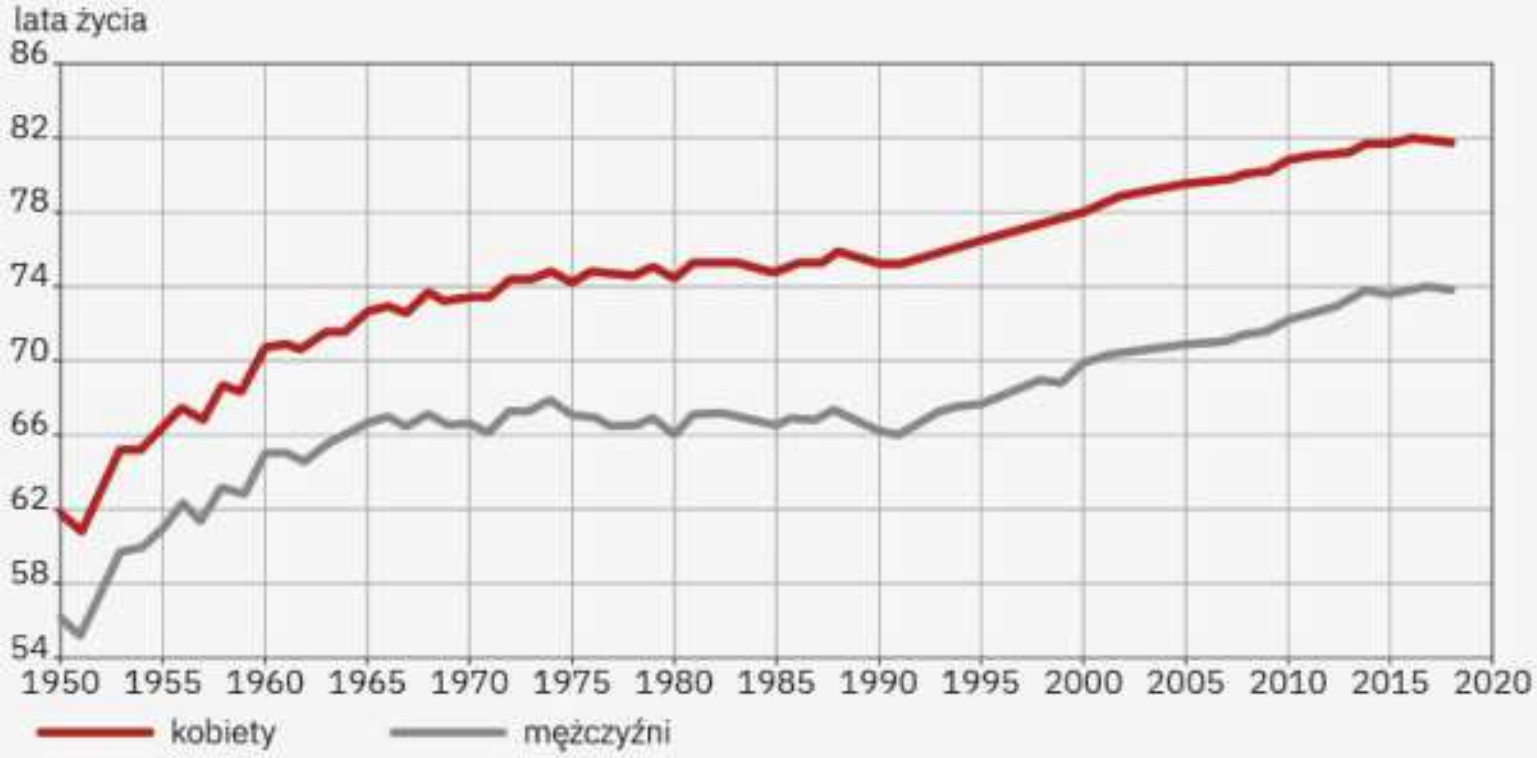
Ryc. II.40.2. Starzeniu się towarzyszy pojawianie się plam starczych.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Wymień etapy rozwoju postnatalnego i omów wybrane dwa z nich.

2. Porównaj okres dojrzewania u dziewcząt i chłopców.

3. Na wykresie przedstawiono średnią długość życia Polaków z podziałem na płeć w latach 1950–2018. Wykonaj polecenia w zeszycie.



a) Porównaj średnią długość życia kobiet i mężczyzn na przestrzeni lat.

b) Podaj kilka przyczyn wydłużającej się średniej długości życia.

PODSUMOWANIE LEKCJI

s. 431
- **Rozwój postnatalny** obejmuje okresy: noworodkowy, niemowlęcy, dziecięcy, młodości, dorosłości, wieku średniego i starości.

s. 431
- **Okres dojrzewania** u płci żeńskiej rozpoczyna się od momentu wystąpienia pierwszego cyklu miesiączkowego.

s. 431
- **Początek dojrzewania** u chłopców wiąże się m.in. z pojawieniem się zarostu, obniżeniem głosu i zmianą budowy sylwetki.

s. 431
- **Starzenie się** jest procesem wieloczynnikowym, na który wpływają czynniki genetyczne, ewolucyjne, środowiskowe i fizjologiczne.

s. 432
- Do **oznak starości** zaliczamy zmiany skórne, siwienie, utratę elastyczności skóry oraz częstsze występowanie chorób związanych z wiekiem, np. osteoporozy czy chorób sercowo-naczyniowych.

s. 433
- Ze względu na wydłużającą się **średnią długość życia** granica starości przesuwa się, a dodatkowo jest podzielona na okresy wczesnej i późnej starości.

s. 433
- Wzrost **średniej długości życia** jest związany m.in. z lepszą opieką medyczną i poprawą jakości życia.

PODSUMOWANIE PRZED SPRAWDZIANEM

Podział tkanek zwierzęcych

s. 108–123

Tkanka						
nabłonkowa	**łączna**				**mięśniowa**	**nerwowa**
	właściwa	**oporowa**		**płynna**		
		kostna	**chrzęstna**			
nabłonki jednowarstwowe • płaskie • sześcienne • walcowate nabłonki wielowarstwowe • płaskie	włóknista • wiotka • zbita siateczkowa tłuszczowa • biała • brunatna • zarodkowa	zbita gąbczasta	szklista sprężysta włóknista	krew limfa	gładka poprzecznie prążkowana szkieletowa poprzecznie prążkowana serca	

Sposoby odżywiania się zwierząt

s. 132

Roślinożercy	**Mięsożercy**	**Wszystkożercy**
• konsumenci I rzędu • odżywiają się roślinami • długi przewód pokarmowy • obecne modyfikacje układu pokarmowego umożliwiające udział organizmów symbiotycznych w trawieniu	• zwierzęta drapieżne • konsumenci II i wyższych rzędów • krótki przewód pokarmowy • przystosowania do chwytania i rozrywania ofiar	• odżywiają się zarówno pokarmem roślinnym, jak i zwierzęcym • silnie rozwinięte narządy zmysłów zapewniające selekcję smaków i zapachów pokarmu
np. sarna, jeleń, koń, krowa, koza, owca, żyrafa	np. lew, hiena, sęp	np. człowiek, świnia

Rodzaje pobieranego pokarmu

s. 140–141

Rodzaj pokarmu	**Sposób pobierania i przystosowania**	**Przykłady gatunków**
Małe cząstki pokarmowe	• bezpośrednie wchłanianie • obecność narządów filtracyjnych, np. fiszbin	ameby, jamochłony, ryby (np. rekin, makrela, śledź), flamingi, walenie fiszbinowe
Duże masy pokarmowe	• żucie, zeskrobywanie, chwytanie i połykanie ofiary w całości • kły, silna szczęka u drapieżników; czterokomorowy żołądek u przeżuwaczy związany z symbiotycznym trawieniem pokarmu roślinnego	przeżuwacze: krowy, owce, jelenie, żyrafy; drapieżniki: węże, jaszczurki, niedźwiedź, gepard, lew
Płyny	• aparaty gębowe typu kłującego lub kłująco-ssącego • obecność haczyków, przyssawek	motyle, mszyce, komary, pijawki, kleszcze

s. 135 –137

Rodzaje trawienia

Trawienie wewnątrzkomórkowe	Trawienie zewnątrzkomórkowe
• trawienie zachodzi wewnątrz komórek przez enzymy obecne w wodniczce trawiennej • występuje u płazińców, parzydełkowców, gąbek	• rozkład pokarmu zachodzi pod wpływem enzymów wydzielanych do światła przewodu pokarmowego • występuje u kręgowców

s. 139 –143

Najważniejsze składniki odżywcze

Składnik odżywczy		Funkcje w organizmie	Źródła pokarmowe
ORGANICZNE	Białka	• są głównym elementem strukturalnym komórek • enzymy umożliwiają zachodzenie przemian metabolicznych w komórce • uczestniczą w obronie immunologicznej organizmu • transportują substancje (tlen, żelazo) • regulują ekspresję genów	mięso, ryby, jajka, nabiał, nasiona strączkowe
	Węglowodany	• stanowią główne źródło energii dla komórek • pełnią funkcje strukturalne (pentozy są składnikami kwasów nukleinowych i ATP) • pełnią funkcję zapasową (glikogen zgromadzony w wątrobie i w mięśniach) • błonnik pokarmowy reguluje pracę układu pokarmowego (m.in. wpływa na perystaltykę jelit)	przetwory zbożowe, pieczywo, owoce, warzywa, nasiona strączkowe, nabiał, soki, cukier, miód
	Tłuszcze	• są składnikami błon biologicznych • stanowią wydajne źródło energii • są nośnikiem wielu ważnych substancji (m.in. witamin, antyoksydantów) • stanowią substrat w syntezie niektórych hormonów • odgrywają rolę termoizolacyjną i ochronną	oleje, orzechy, nasiona, tłuste ryby, jadalne mięczaki i skorupiaki
	Witaminy	• regulują istotne procesy metaboliczne (m.in. wzrost, rozmnażanie, rozwój)	mleko, przetwory mleczne, jaja, mięso, podroby, warzywa, owoce, oleje, tran, nasiona
NIEORGANICZNE	Woda	• stanowi środowisko dla reakcji biochemicznych komórki • bierze udział w termoregulacji • reguluje gospodarkę kwasowo-zasadową organizmu • jest niezbędna w procesach trawienia, wchłaniania i wydalania	napoje i pokarmy (w tym warzywa i owoce)
	Sole mineralne	• są składnikami strukturalnymi komórki • stanowią materiał budulcowy kości, zębów, skóry) • są kofaktorami enzymów • regulują gospodarkę kwasowo-zasadową	mleko i przetwory mleczne, owoce, warzywa, ryby, mięso

Podział witamin

s. 145

Witaminy	
rozpuszczalne w wodzie	**rozpuszczalne w tłuszczach**
witamina B_1 (tiamina), witamina B_2 (ryboflawina), witamina B_6 (pirydoksyna), witamina B_{12} (kobalamina), kwas foliowy, witamina C	witamina A (retinol), witamina D (kalcyferol), witamina E (tokoferol), witamina K (filochinon)

Zasady zdrowego żywienia

s. 151–152

ZASADY ZDROWEGO ŻYWIENIA

1. Należy jeść 4–5 posiłków w regularnych odstępach czasu.
2. Dieta powinna być bogata w warzywa, owoce, produkty zbożowe i pełnoziarniste.
3. W diecie powinny być uwzględnione mleko i jego przetwory, ryby, nasiona roślin strączkowych, jajka, chude mięso.
4. Należy ograniczyć spożycie produktów przetworzonych i tłuszczów zwierzęcych.
5. Należy unikać spożywania cukru, słodyczy, słodkich napojów, soli i słonych przekąsek oraz jedzenia typu *fast food*.
6. Należy pić dużo wody do posiłku i między posiłkami.
7. Aktywność fizyczną należy uprawiać codzienne ok. 60 min.

Charakterystyka kolejnych odcinków przewodu pokarmowego

s. 155–159

Odcinek układu pokarmowego	Opis
Jama ustna	To pierwszy odcinek układu pokarmowego. Znajdują się w niej zęby oraz język. Do jamy ustnej uchodzą gruczoły ślinowe. Następuje w niej wstępna obróbka mechaniczna pokarmu i zachodzi tu wstępne trawienie węglowodanów.
Gardło	Stanowi skrzyżowanie dróg oddechowych i pokarmowych. Umożliwia połykanie pokarmu i zabezpiecza przed jego dostaniem się do tchawicy.
Przełyk	Skurcze mięśni przełyku umożliwiają przesuwanie się pokarmu do żołądka. Zwieracz przełyku zabezpiecza przed cofaniem się pokarmu.
Żołądek	Błona śluzowa żołądka i obecne w niej gruczoły żołądkowe wydzielają sok żołądkowy. Żołądek to miejsce gromadzenia i rozdrabniania pokarmu. W żołądku zachodzi częściowe trawienie białek oraz neutralizacja chorobotwórczych mikroorganizmów.
Jelito cienkie	Błona śluzowa jelita jest pokryta licznymi kosmkami, które zwiększają jego powierzchnię czynną. Pierwszym odcinkiem jelita jest dwunastnica, do której uchodzą żółć i sok trzustkowy, a za dwunastnicą występuje jelito czcze i kręte. W jelicie cienkim zachodzi trawienie i wchłanianie składników odżywczych.
Jelito grube	Końcowy odcinek przewodu pokarmowego jest zakończony odbytnicą. W jelicie grubym są wchłaniane woda i sole mineralne, zachodzi synteza witamin z grupy B i kwasu foliowego oraz jest formowany kał.

s. 161–163

Wydzieliny układu pokarmowego i ich rola

Wydzielina	Miejsce wytwarzania	Skład/funkcja
Ślina	ślinianki	• woda – upłynnia pokarm • enzym amylaza ślinowa – wstępne trawienie skrobi • śluz – nadaje poślizg • lizozym – działanie antybakteryjne • przeciwciała – obrona immunologiczna
Sok żołądkowy	żołądek	• woda – upłynnia pokarm • śluz – nadaje poślizg, ułatwia mieszanie i przemieszczanie się • kwas solny – zakwasza pokarm, hamuje działanie amylazy ślinowej, zabija drobnoustroje • pepsyna, trawi białka • lipaza żołądkowa – trawi część trójglicerydów • białko konieczne do wchłaniania witaminy B_{12}
Sok trzustkowy	trzustka	• amylazy (enzymy trawiące węglowodany) • lipazy (enzymy trawiące tłuszcze) • proteazy (enzymy trawiące białka) • enzymy rozkładające kwasy nukleinowe
Żółć	wątroba	• sole żółciowe – emulgacja tłuszczów • woda i sole mineralne • śluz • barwniki żółciowe (np. bilirubina) • cholesterol

s. 163–165

Trawienie i wchłanianie substancji odżywczych w kolejnych odcinakach przewodu pokarmowego

Odcinek	Trawienie	Wchłanianie
Jama ustna	skrobia jest wstępnie trawiona przez amylazę ślinową	nie zachodzi
Żołądek	białka są rozkładane przez pepsynę; lipaza żołądkowa rozkłada część trójglicerydów	substancje rozpuszczalne w tłuszczach, np. alkohol, leki
Jelito cienkie	białka (trypsyna, chymotrypsyna, karboksypeptydazy, aminopeptydazy i dipeptydazy) lipidy (lipaza trzustkowa, lipaza jelitowa) węglowodany (amylaza trzustkowa, amylaza jelitowa, disacharydazy) kwasy nukleinowe (nukleazy)	aminokwasy, kwasy tłuszczowe, glicerol, monosacharydy, nukleotydy, woda, witaminy, sole mineralne
Jelito grube	nie zachodzi	sole mineralne, witaminy, woda, produkty metabolizmu bakterii jelitowych

Zaburzenia odżywiania

s. 169–172

Zaburzenie odżywiania	Przyczyny	Skutki i leczenie
Bulimia	zaburzenia psychiczne, niestabilność emocjonalna, niska samoocena	zaburzanie gospodarki wodno-mineralnej, niedobór składników odżywczych, arytmia, osłabienie, zaburzenia miesiączkowania, dolegliwości układu pokarmowego leczenie: farmakologiczne i psychoterapeutyczne
Anoreksja	zaburzenia psychiczne, brak akceptacji swojego wyglądu, niska samoocena	brak apetytu, spadek masy ciała, obniżenie ciśnienia krwi, wypadanie włosów, zatrzymanie miesiączkowania, uszkodzenia narządów wewnętrznych; może prowadzić do śmierci leczenie: farmakologiczne i psychoterapeutyczne
Otyłość	nadmiar tkanki tłuszczowej; mała aktywność fizyczna, nieprawidłowa dieta, podłoże kulturowe (otyłość pierwotna), jako efekt choroby (np. niedoczynności tarczycy; otyłość wtórna)	nadciśnienie tętnicze, choroba niedokrwienna serca, udar mózgu, problemy z układem kostnym, cukrzyca typu II, kamica dróg żółciowych, nowotwory leczenie: zmiana nawyków żywieniowych, aktywność fizyczna; farmakologiczne

Elementy składające się na układ odpornościowy

s. 177–181

Narządy limfatyczne	Komórki odpornościowe	Substancje odpornościowe
grasica śledziona szpik kostny migdałki węzły chłonne	limfocyty B limfocyty T (Tc, Th) makrofagi granulocyty (neutrofile, bazofile, eozynofile) komórki dendrytyczne komórki NK	przeciwciała (IgA, IgD, IgE, IgM, IgG) cytokiny białka ostrej fazy defensyny lizozym układ dopełniacza

Rodzaje odporności

s. 181

<table>
<tr><th colspan="3">Odporność</th></tr>
<tr><th>Nieswoista</th><th colspan="2">Swoista</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Odporność wrodzona, funkcjonuje od chwili narodzin, nie wymaga aktywacji i jest bardzo szybka. Jest niespecyficzna, tzn. nie jest skierowana przeciwko konkretnym antygenom. Obejmuje skórę i błony śluzowe, mechanizmy fizjologiczne (np. kaszel, wymioty), fagocytozę i stan zapalny.</td><td colspan="2">To odporność nabyta – wytwarza się w trakcie całego życia. Jest specyficzna – skierowana przeciwko konkretnym antygenom.</td></tr>
<tr><td>komórkowa</td><td>humoralna</td></tr>
<tr><td></td><td>zależna od limfocytów T cytotoksycznych (Tc)</td><td>zależna od limfocytów B i produkowanych przez nie przeciwciał</td></tr>
</table>

s. 183 ▸ **Rodzaje odporności swoistej (sposób powstawania)**

Odporność swoista (nabyta)			
czynna (wytwarzana w wyniku kontaktu z antygenem)		bierna (otrzymana w postaci gotowych przeciwciał)	
naturalna	sztuczna	naturalna	sztuczna
po przebytej chorobie	po szczepieniu	przez łożysko i z mlekiem matki	po otrzymaniu surowicy

s. 184 ▸ **Pierwotna i wtórna odpowiedź immunologiczna**

Odpowiedź immunologiczna pierwotna	**Odpowiedź immunologiczna wtórna**
To reakcja organizmu w czasie pierwszego kontaktu z antygenem i produkcją przeciwciał przez limfocyty B. Po tym zdarzeniu zostają zachowane komórki pamięci immunologicznej.	Ponowne zetknięcie z tym samym rodzajem antygenu powoduje szybką odpowiedź i natychmiastowe namnażanie się komórek pamięci, co skutkuje zwiększeniem ilości przeciwciał w osoczu.

s. 192–194 ▸ **Wybrane schorzenia układu odpornościowego**

Choroby autoimmunizacyjne	**Alergie**	**Nowotwory**
złożone, często o podłożu genetycznym; układ odpornościowy atakuje swoje komórki Przykłady: cukrzyca typu I, choroba Hashimoto, choroba Addisona, stwardnienie rozsiane, zapalenie jelita, toczeń rumieniowaty	złożone: genetyczne i środowiskowe; kontakt z alergenem prowadzi do silnych, nadwrażliwych reakcji organizmu Objawy alergii: katar sienny, rumień na skórze, wysypka, obrzęk spojówek, duszności, obrzęki krtani, wstrząs anafilaktyczny	antygeny komórek niektórych nowotworów nie są rozpoznawane przez układ odpornościowy; terapie przeciwnowotworowe prowadzą do osłabienia obrony immunologicznej

s. 195–196 ▸ **Niedobory odporności**

Niedobory odporności	
pierwotne	**wtórne**
Są wrodzone, zwykle mają podłoże genetyczne: • ciężki złożony niedobór odporności (SCID) (niedobór lub brak limfocytów), • agammaglobulinemia Burtona (brak przeciwciał i niedobór limfocytów B).	Są nabyte. Zwykle występują w późniejszym okresie życia. Powstają w wyniku uszkodzenia śledziony, niewydolności nerek lub zakażenia: • zespół nabytego niedoboru odporności (AIDS) wywołany przez wirusa HIV, który niszczy limfocyty T pomocnicze.

Narządy wymiany gazowej u zwierząt

s. 198 –206

Narząd	Środowisko	Charakterystyka	Występowanie
powierzchnia ciała (nabłonek, skóra)	wodne i lądowe	• małe organizmy o niskim metabolizmie • może uzupełniać pracę innych narządów oddechowych (płuc lub skrzeli)	• parzydełkowce, płazińce, nicienie, szkarłupnie, część pierścienic • uzupełnia oddychanie u ryb i płazów
skrzela	wodne	• zewnętrzne na powierzchni ciała, np. odnóżach • wewnętrzne pokryte pokrywami skrzelowymi	• wieloszczety, skorupiaki i mięczaki wodne • kręgowce wodne • larwy płazów
płuca	lądowe	• unaczynione worki o różnym stopniu pofałdowania	• pajęczaki (płucotchawki) • część ślimaków (jama płucna) • kręgowce lądowe
tchawki	lądowe	• cienkie rurki rozgałęziające się bezpośrednio do narządów • brak powiązania z układem krwionośnym	• część pajęczaków, wije, owady

Elementy układu oddechowego człowieka

s. 207 –210

Elementy budowy	Funkcja
Drogi oddechowe	
jama nosowa	• ogrzanie, nawilżanie, oczyszczanie powietrza • odbieranie bodźców zapachowych
gardło	• transport powietrza z jamy nosowej do krtani
krtań	• transport powietrza do dalszych odcinków dróg oddechowych • ochrona przed dostaniem się cząsteczek pokarmowych do dróg oddechowych • narząd wydawania głosu
tchawica	• łączy krtań z oskrzelami • usuwanie zanieczyszczeń z powietrza
oskrzela	• oczyszczanie i transport powietrza do pęcherzyków płucnych
płuca	• wymiana gazowa zewnętrzna

s. 211–212

Porównanie wdechu i wydechu

	Wdech	Wydech
Przepona	kurczy się	rozkurcza się
Mięśnie międzyżebrowe	kurczą się	rozkurczają się
Żebra	unoszą się ku górze i na boki	opadają
Mostek	unosi się i wysuwa do przodu	opada
Ściany klatki piersiowej	rozciągają się	zmniejszają się
Objętość klatki piersiowej	zwiększa się	zmniejsza się
Ciśnienie w jamie opłucnowej i pęcherzykach płucnych	obniża się poniżej ciśnienia atmosferycznego	wzrasta powyżej ciśnienia atmosferycznego
Kierunek przepływu powietrza	przechodzi do płuc	wychodzi z płuc

s. 218–222

Transport gazów oddechowych

Cechy	Dwutlenek węgla	Tlen
Kierunek transportu	tkanki → pęcherzyki płucne	pęcherzyki płucne → tkanki
Ciśnienie parcjalne gazów oddechowych	wyższe w tkankach niż we krwi	wyższe we krwi niż w tkankach
Element transportujący	głównie osocze	głównie erytrocyty
Forma transportu	• jony wodorowęglanowe • karbaminohemoglobina • fizycznie rozpuszczony w osoczu krwi	• oksyhemoglobina

s. 226–232

Układy krwionośne zwierząt

Typ układu	Grupa zwierząt	Charakterystyka
Otwarty • serce oraz naczynia otwierają się do jamy ciała • hemolimfa – płyn krążący w układzie krążenia i jamie ciała	stawonogi	serce z ostami, przepływ hemolimfy następuje w wyniku skurczów serca
	mięczaki	serce zbudowane z przedsionków i komór; głowonogi mają serca skrzelowe i naczynia włosowate, krew przepływa w wyniku skurczu serca
	szkarłupnie	brak serca, u niektórych funkcję układu krwionośnego pełni układ wodny
Zamknięty • serce oraz naczynia żylne i tętnicze i naczynia włosowate • krew krąży w układzie krążenia	pierścienice	brak serca, przepływ krwi w wyniku skurczu ścian niektórych naczyń
	ryby	serce składa się z zatoki żylnej, przedsionka, komór, jeden obieg krwi
	płazy	serce składa się z jednej komory i dwóch przedsionków, dwa obiegi krwi

Typ układu	Grupa zwierząt	Charakterystyka
	gady	serce składa się z jednej komory z niepełną przegrodą i dwóch przedsionków (u krokodyli pełna przegroda), dwa obiegi krwi
	ptaki	serce składa się z dwóch przedsionków i dwóch komór, dwa obiegi krwi
	ssaki	serce składa się z dwóch przedsionków i dwóch komór, dwa obiegi krwi

Naczynia krwionośne

s. 228–229

Cecha	Tętnice	Żyły	Naczynia włosowate
Kierunek transportu krwi	z serca do narządów i tkanek	do serca z narządów i tkanek	wymiana między krwią a tkankami
Ciśnienie krwi	wysokie	niskie	najniższe
Budowa ścian	trzy warstwy, warstwa środkowa najgrubsza, zbudowana z mięśni gładkich i włókien sprężystych	trzy warstwy, warstwa środkowa cienka, zawiera mało mięśni gładkich, a więcej tkanki łącznej	jedna warstwa komórek
Obecność zastawek	brak	obecne	brak

Cykl pracy serca

s. 236

Fazy	Czas (s)	Przedsionki	Komory
I	0,11	skurcz	rozkurcz
II	0,32	rozkurcz	skurcz
III	0,40	rozkurcz	rozkurcz

Porównanie azotowych produktów przemiany materii

s. 250–252

Związek azotowy	Charakterystyka	Typ zwierząt	Środowisko	Grupa zwierząt
amoniak	toksyczny, bardzo dobrze rozpuszcza się w wodzie	amonioteliczne	wodne	większość ryb, skorupiaki
mocznik	nietoksyczny, dobrze rozpuszczalny w wodzie, do wytworzenia wymaga dużo energii	ureoteliczne	lądowe	ssaki, płazy, ryby chrzęstnoszkieletowe
kwas moczowy	trudno rozpuszczalny w wodzie, do wytworzenia wymaga bardzo dużo energii	urykoteliczne	lądowe	owady, gady, ptaki

s. 253–256

Układy wydalnicze zwierząt

Narząd	Charakterystyka	Grupa zwierząt
Powierzchnia ciała	usuwanie produktów przemiany materii całą powierzchnią ciała	parzydełkowce
Protonefrydia	kanały zakończone komórkami płomykowymi	płazińce, bezczaszkowce
Metanefrydia	kanały otwierające się orzęsionym lejkiem do jamy ciała	pierścienice
Gruczoły szczękowe i czułkowe, gruczoły biodrowe	przekształcone metanefrydia	skorupiaki, pajęczaki
Cewki Malpighiego	kanaliki uchodzące do jelita na pograniczu jelita środkowego i tylnego	wije, owady, niektóre pajęczaki
Nerki	przekształcone metanefrydia	mięczaki
Przednercza	orzęsione lejki otwierające się do jamy ciała, brak kłębuszków nerkowych	kręgowce w rozwoju embrionalnym
Pranercza (śródnercza)	kanaliki z orzęsionym lejkiem i kłębuszkiem naczyniowym	dorosłe ryby i płazy, zarodki owodniowców
Zanercza – nerka właściwa	kanalik z kłębuszkiem naczyniowym	dorosłe owodniowce (gady, ptaki, ssaki)

s. 257–258

Elementy układu wydalniczego

Element budowy	Funkcja
nerka	• usuwanie produktów przemiany materii • wytwarzanie moczu
moczowód	• odprowadzanie moczu z miedniczek nerkowych do pęcherza moczowego
pęcherz moczowy	• czasowe magazynowanie moczu
cewka moczowa	• wyprowadzanie moczu na zewnątrz

s. 259–260

Proces powstawania moczu

Etap	Miejsce zachodzenia	Charakterystyka	Efekt procesu
Filtracja	ciałko nerkowe	• przesączanie składników osocza krwi do torebki kłębuszka	• powstanie moczu pierwotnego o składzie zbliżonym do osocza krwi
Resorpcja	kanaliki kręte (głównie I rzędu), pętla nefronu	• wchłanianie zwrotne wszystkich potrzebnych organizmowi składników	• wchłanianie do krwi glukozy, aminokwasów, witamin, soli mineralnych

Sekrecja	głównie kanaliki II rzędu	• wydzielanie niektórych substancji (np. jonów potasu, hormonów steroidowych, penicyliny) z krwi do przesączu w kanaliku nerkowym	• powstanie moczu ostatecznego

Podział hormonów ze względu na budowę chemiczną i rozpuszczalność

s. 266–268

Hormony		
Rozpuszczalne w wodzie		**Rozpuszczalne w tłuszczach**
pochodne aminokwasów	**peptydowe i białkowe**	**steroidowe (pochodne cholesterolu)**
adrenalina, tyroksyna, melatonina	insulina, oksytocyna, glukagon, hormon wzrostu	kortyzol, testosteron, progesteron, estradiol

Rodzaje sygnalizacji hormonalnej

s. 268

Sygnalizacja hormonalna			
endokrynna	**neuroendokrynna**	**autokrynna**	**parakrynna**
wydzielanie hormonów przez gruczoły i ich transport przez krew	wydzielanie hormonów przez neurony endokrynne i ich transport przez krew lub przenikanie do płynu międzykomórkowego	hormon działa na komórki, które go produkują	hormon działa na komórki inne niż te, które go wydzielają

Porównanie mechanizmu działania hormonów steroidowych i peptydowych (białkowych)

s. 270

Cecha	**Hormon steroidowy**	**Hormon peptydowy**
Przenikanie przez błonę komórkową	przenikają przez błony; są rozpuszczalne w tłuszczach	nie przenikają przez błony; nie rozpuszczają się w tłuszczach
Lokalizacja receptorów dla hormonów	cytoplazma komórki/macierz organelli komórkowych	na powierzchni błony komórkowej
Uruchamianie szlaków sygnałowych	nie	tak; aktywacja białka G, cyklazy adenylowej i produkcja cAMP, który jest aktywatorem białek wewnątrz komórki
Przykłady	hormony tarczycy	insulina

s. 272–273

Gruczoły dokrewne i hormony przez nie wydzielane

Gruczoł	Hormon	Funkcje
Przysadka (przedni płat)	hormony tropowe	pobudza inne gruczoły do wydzielania hormonów
	somatotropina	pobudza przemianę białek, węglowodanów, tłuszczów
	prolaktyna	stymuluje wytwarzanie i wydzielanie mleka
Przysadka (tylny płat)	wazopresyna	podnosi ciśnienie krwi, reguluje gospodarkę wodną organizmu
	oksytocyna	stymuluje uwalnianie mleka, pobudza skurcze macicy podczas akcji porodowej
Szyszynka	melatonina	reguluje cykle snu i czuwania
Tarczyca	tyroksyna trójjodotyronina	stymuluje przemiany metaboliczne, pobudza wzrost
	kalcytonina	zmniejsza stężenie wapnia we krwi; powoduje odkładanie wapnia w kościach
Przytarczyce	parathormon	zwiększa stężenie wapnia we krwi i kontroluje gospodarkę fosforanową
Nadnercze (rdzeń)	adrenalina noradrenalina	podnoszą ciśnienie krwi, zwiększają częstotliwość skurczów serca, rozszerzają oskrzela i zwiększają tempo wentylacji płuc, przyspieszają rozkład glikogenu
Nadnercze (kora)	kortyzol	zwiększa stężenie glukozy we krwi, podnosi ciśnienie krwi, obniża odporność organizmu
	aldosteron	zwiększa wchłanianie jonów sodu i potasu w nerkach
Trzustka	insulina	zmniejsza stężenie glukozy we krwi, pobudza syntezę glikogenu
	glukagon	zwiększa stężenie glukozy we krwi, pobudza rozkład glikogenu
Jajniki	estrogeny	odpowiadają za rozwój drugorzędowych cech płciowych
	progesteron	stymuluje rozwój zarodka i płodu
Jądra	testosteron	odpowiadają za rozwój drugorzędowych cech płciowych

s. 274

Regulacja czynności układu dokrewnego

Układ nerwowy zwierząt

s. 285–290

Grupa zwierząt	Typ układu	Charakterystyka
Parzydełkowce	rozproszony	siatka połączeń komórek nerwowych, rozmieszczonych równomiernie w ścianie ciała bez elementów centralnych
Płazińce	pasmowy	zwoje głowowe w przedniej części ciała i odchodzące podłużne pnie nerwowe
Nicienie	pasmowy	pierścień okołogardzielowy w przedniej części ciała i odchodzące podłużne pnie nerwowe
Pierścienice	drabinkowy	obrączka okołoprzełykowa, dwa brzuszne pnie nerwowe z parą zwojów na segment, zwoje w obrębie segmentu połączone spoidłami
Stawonogi	drabinkowy	parzysty zwój nerwowy, obrączka okołoprzełykowa i dwa pnie brzuszne z parzystymi zwojami segmentalnymi; u owadów tendencja do łączenia się zwojów segmentalnych w większe i wytworzenie ośrodka centralnego mózgu
Mięczaki	zróżnicowany	od drabinkowego – obrączka okołogardzielowa i pary zwojów połączonych poprzecznymi spoidłami: głowowe, nożne, płaszczowe i trzewiowe; u głowonogów silna koncentracja zwojów w złożony mózg z ośrodkami kojarzeniowymi
Kręgowce	pięcioczęściowy mózg	mózg składa się z kresomózgowia, międzymózgowia, śródmózgowia, móżdżku i rdzenia kręgowego w miarę rozwoju ewolucyjnego wzrasta rola kresomózgowia i wyspecjalizowanych ośrodków kojarzeniowych

Ewolucja mózgu u kręgowców

s. 288–289

Części mózgu	Gromady zwierząt				
	ryby	płazy	gady	ptaki	ssaki
Kresomózgowie	niewielkie, u ryb chrzęstnoszkieletowych duże opuszki węchowe	duże, z początkiem kory mózgowej	duże, pokrywające międzymózgowie, obecna kora mózgowa	bardzo duże	bardzo duże z silnie pofałdowaną korą mózgową
Międzymózgowie	stosunkowo niewielkie				
Śródmózgowie	największa część (mniejsza u ryb chrzęstnych)	duże	średniej wielkości	niezbyt wielkie	bardzo małe
Móżdżek	zwykle duży	bardzo mały	różnej wielkości	bardzo duży z silnie pofałdowaną korą	bardzo duży z silnie pofałdowaną korą podzieloną na dwie półkule
Rdzeń przedłużony	bardzo duży	duży	mały esowato wygięty	mały, esowato wygięty	mały esowato wygięty

s. 293–294

Porównanie synaps

	Synapsa chemiczna	Synapsa elektryczna
Budowa	między aksonem jednej komórki nerwowej a dendrytem następnej komórki nerwowej występuje szczelina synaptyczna	akson jednej komórki nerwowej łączy się z dendrytem następnej komórki nerwowej
Przepływ impulsu elektrycznego	impuls elektryczny uwalnia neuroprzekaźnik, który po przejściu szczeliny synaptycznej łączy się z receptorem następnej komórki nerwowej	impuls elektryczny przechodzi z jednej komórki nerwowej do drugiej
opóźnienie impulsu	występuje ze względu na obecność neuroprzekaźnika	brak

s. 296–297

Odruchy warunkowe i bezwarunkowe

Odruchy bezwarunkowe	Odruchy warunkowe
• ośrodki odruchów mieszczą się w rdzeniu kręgowym i przedłużonym • wrodzone • przekazywane dziedzicznie • niezmienne w życiu • zawsze taka sama reakcja na ten sam bodziec • nie pozwalają na przeżycie w zmienionych warunkach środowiska • przykłady – odruch źreniczny, kolanowy, wydzielania śliny na widok pokarmu	• ośrodki odruchów mieszczą się w korze mózgowej • nabyte w życiu człowieka • niedziedziczone, nabywane na bazie odruchów bezwarunkowych • zmienne w ciągu życia • reakcje na bodziec są cechą indywidualną • pozwalają na przystosowanie się do zmieniających się warunków środowiska • przykłady – zatrzymywanie się na przejściu na czerwonym świetle, uczenie się

s. 299–300

Podział układu nerwowego

Układ nerwowy		
podział anatomiczny	ośrodkowy	obwodowy
	mózg i rdzeń kręgowy	nerwy czaszkowe, rdzeniowe, zwoje nerwowe i receptory
	funkcja kontrolna	odbiera bodźce ze środowiska, przekazuje informacje między receptorem, ośrodkowym układem nerwowym a efektorem
podział funkcjonalny	somatyczny	autonomiczny
	odbiera bodźce pochodzące ze środowiska zewnętrznego organizmu	odbiera bodźce pochodzące ze środowiska wewnętrznego organizmu
	kontroluje czynności świadome organizmu	kontroluje czynności niezależne od woli organizmu
		współczulny – przygotowuje organizm do działania, walki lub ucieczki
		przywspółczulny – spowalnia natężenie procesów fizjologicznych w organizmie

Funkcje ośrodkowego układu nerwowego

s. 300 –303

Część		Funkcja
Mózgowie	kresomózgowie	kontroluje świadome czynności organizmu, pracę mięśni szkieletowych, odpowiada za uczenie i zapamiętywanie, w korze mózgowej mieszczą się ośrodki czynności wyuczonych – ośrodek wzroku, czucia, koordynacji ruchów, mowy, słuchu
	międzymózgowie	kontrola czynności niezależnych od woli, np. termoregulacji, przemiany materii, głodu i sytości, hormony podwzgórza kontrolują pracę gruczołów dokrewnych
	śródmózgowie	odpowiada za odruchy wzrokowe oraz koordynację ruchów orientacyjnych
	tyłomózgowie wtórne móżdżek most	odpowiada za płynność i koordynację ruchów, pośrednio steruje pracą mięśni szkieletowych, umożliwia zachowanie równowagi ciała
		przekazuje impulsy nerwowe między korą mózgową, rdzeniem przedłużonym, rdzeniem kręgowym i móżdżkiem
	rdzeń przedłużony	zawiera ośrodki oddechowe, odruchów trawiennych, obronnych, reguluje pracę serca, kurczenie i rozszerzanie naczyń krwionośnych
rdzeń kręgowy		przekazuje impulsy nerwowe z mózgowia do narządów wykonawczych w organizmie, uczestniczy w powstawaniu odruchów bezwarunkowych

Obwodowy układ nerwowy

s. 304 –305

Nerwy czaszkowe	Nerwy rdzeniowe
• leżą poza obrębem mózgowia • 12 par nerwów czuciowych, ruchowych i mieszanych	• nerwy rdzenia kręgowego wraz ze zwojami nerwowymi • 31 par nerwów mieszanych (8 par nerwów szyjnych, 12 par nerwów piersiowych, 5 par nerwów lędźwiowych, 5 par nerwów krzyżowych, 1 para nerwów guzicznych)

Podział receptorów

s. 308

Kryterium podziału	Rodzaj receptora	Rodzaj bodźca	Występowanie receptora w organizmie
Pochodzenie bodźca	interoreceptory	z wnętrza organizmu	tkanki, naczynia, mięśnie, narządy wewnętrzne
	eksteroreceptory	z zewnątrz organizmu	narząd wzroku, słuchu, równowagi smaku, węchu, skóra
Rodzaj odbieranej energii	fotoreceptory	natężenie światła	narząd wzroku
	chemoreceptory	substancje chemiczne	narząd węchu i smaku
	mechanoreceptory	dźwięk, dotyk, ucisk, rozciąganie	narząd słuchu i równowagi, skóra, mięśnie, stawy
	termoreceptory	temperatura	skóra, podwzgórze

s. 309 –315

Narządy zmysłów u zwierząt

Zmysł	Rodzaj bodźca	Narząd zmysłu	Funkcja
Wzrok	świetlne	• oczy proste (kubkowate, pęcherzykowate) • złożone u stawonogów	• orientacja w środowisku • polowanie na ofiarę • unikanie drapieżnika
Słuch	dźwiękowe	• narządy tympanalne u owadów • ucho u kręgowców	• orientacja w środowisku • polowanie na ofiarę • unikanie drapieżnika • komunikacja między osobnikami • echolokacja – określanie położenia w przestrzeni
Węch	chemiczne, przenoszone na odległość	• czułki owadów • nabłonek jamy nosowej i narząd Jacobsona kręgowców	• pozwala na określenie położenia pokarmu • pozwala na odbiór feromonów
Smak	chemiczne, rozpuszczone w wodzie, odbieranie kontaktowe	• wokół otworu gębowego • kubki smakowe kręgowców	• rozróżnienie składu pokarmu
Dotyk	mechaniczne	• włoski czuciowe (na czułkach) • ciałka dotykowe	• orientacja w środowisku
Równowagi	grawitacyjne	• statocysty • błędnik kręgowców	• określenie położenia w przestrzeni
Termiczny	termiczne	• ciałka czuciowe	• odczuwanie temperatury otoczenia

s. 312 –315

Typy oczu u zwierząt

Cechy	Typ oczu	
	proste	**złożone**
Budowa	pojedynczy pęcherzyk lub zagłębienie z komórkami światłoczułymi	składają się z wielu oczu prostych zwanych omatidiami
Obraz	pojedynczy	mozaikowy, złożony z wielu obrazów prostych powstałych w omatidiach
Szczegóły obrazu	pozwala na bardzo szczegółowy obraz	mniej szczegółowy obraz, pozwala na dobry odbiór ruchu i kolorów
Pole widzenia	ograniczone	szerokie
Występowanie	większość bezkręgowców, oczy kubkowe – wirki, ślimaki, oczy pęcherzykowe – głowonogi	owady, skorupiaki, niektóre wieloszczety

Ewolucja ucha u kręgowców

s. 310 –311

Grupa zwierząt	Ucho		
	zewnętrzne	środkowe	wewnętrzne
Krągłouste	brak	brak	błędnik z jednym kanałem półkolistym
Ryby	brak	brak	błędnik z trzema kanałami półkolistymi i przedsionkiem, u niektórych ryb błędnik połączony z pęcherzem pławnym (wzmocnienie bodźców dźwiękowych)
Płazy	brak	jama bębenkowa połączona z gardzielą trąbką Eustachiusza, kosteczka słuchowa – strzemiączko u płazów ogoniastych brak ucha środkowego	błędnik z trzema kanałami półkolistymi i przedsionkiem
Gady	brak	jama bębenkowa połączona z gardzielą trąbką Eustachiusza, kosteczka słuchowa – strzemiączko	błędnik z trzema kanałami półkolistymi, przedsionkiem i ślimakiem
Ptaki			
Ssaki	małżowina uszna, przewód słuchowy	jama bębenkowa połączona z gardzielą trąbką Eustachiusza, trzy kosteczki słuchowe – strzemiączko, młoteczek, kowadełko	błędnik z trzema kanałami półkolistymi, przedsionkiem i ślimakiem

Ewolucja oka u kręgowców

s. 312 –315

Grupa zwierząt	Kształt soczewki	Obecność powiek	Akomodacja oka
Krągłouste ryby	okrągła	brak	zmiana położenia soczewki
Płazy	dwuwypukła	górna i dolna, brak u płazów wodnych i larw	zmiana położenia soczewki
Gady	dwuwypukła górna i dolna, trzecia powieka migotka ruchliwa i przezroczysta podwójna akomodacja – zmiana kształtu i położenia soczewki		zmiana kształtu soczewki
Ptaki			
Ssaki	dwuwypukła	górna i dolna, migotka uległa redukcji, zachowała się tylko u stekowców	zmiana kształtu soczewki

s. 317–318

Budowa oka

Części oka		Elementy budowy	Funkcje
Aparat ochronny		brwi	ochrona oczu przed spływającym z czoła potem, zatrzymują cząsteczki kurzu i pyłu
		powieki (górna i dolna)	ochrona oczu przed uszkodzeniem oraz światłem o zbyt dużym natężeniu
		rzęsy	zatrzymują cząsteczki kurzu i pyłu oraz ciała obce
		spojówka	nawilża gałkę oczną i chroni przed drobnymi zanieczyszczeniami
		aparat łzowy	wydziela łzy, które oczyszczają i nawilżają gałkę oczną
Aparat ruchowy		sześć mięśni poprzecznie prążkowanych	umożliwiają ruch gałki ocznej wewnątrz oczodołu
Gałka oczna	błona naczyniowa	naczyniówka	zawiera liczne naczynia krwionośne i odżywia pozostałe warstwy oka
		ciało rzęskowe	reguluje kształt soczewki oka, uczestniczy w regulacji ostrości widzenia
		tęczówka	reguluje ilość światła wpadającego do oka przez regulację wielkości przekroju źrenicy
		źrenica	umożliwia regulację przejścia promieni świetlnych do wnętrza oka
	błona włóknista	rogówka	skupia światło, chroni oko przed urazami
		twardówka	chroni głębiej położone elementy oka przed urazami
	siatkówka		zawiera receptory światła: czopki i pręciki, odbiera bodźce świetlne
	nerw wzrokowy		przewodzi impulsy nerwowe z oka do ośrodków wzrokowych w płacie potylicznym

Budowa ucha

s. 324 –325

Element budowy		**Funkcja**	
Ucho zewnętrzne	małżowina uszna kanał słuchowy	wychwytuje fale dźwiękowe	
		chroni ucho środkowe przed ciałami obcymi	
Ucho środkowe	błona bębenkowa	oddziela ucho zewnętrzne od ucha środkowego, przenosi falę dźwiękową do ucha środkowego	
	kosteczki słuchowe	młoteczek	wzmacniają drgania dźwiękowe i przekazują je do ucha wewnętrznego
		kowadełko	
		strzemiączko	
	trąbka słuchowa	utrzymuje jednakowe ciśnienie po obu stronach błony bębenkowej	
ucho wewnętrzne	błędnik kostny	stanowi ochronę od zewnątrz błędnika błoniastego	
	błędnik błoniasty	stanowi właściwy narząd słuchu i równowagi	

Sposoby poruszania się zwierząt

s. 335 –345

	Środowisko		
	woda	**ląd**	**powietrze**
Rodzaj ruchu	wiosłowy	kroczenie	lot
	odrzutowy	pełzanie	
	ślizgowy	bieg	
	kroczenie lub koziołkowanie (osiadłe zwierzęta)	skakanie	

Typy szkieletów zwierząt

s. 347 –348

Cecha	**Typ szkieletu**		
	hydrauliczny	**zewnętrzny**	**wewnętrzny**
Budowa	tworzony przez ciśnienie płynu jamy ciała i tkanek	tworzy go zewnętrzny, martwy pancerz (oskórek lub muszla)	zbudowany ze sztywnych chrzęstnych lub kostnych elementów w postaci struny grzbietowej
Działanie	skurcz przeciwstawnie działających mięśni powoduje rozciąganie lub skurcz całego lub fragmentów ciała	ruch grup mięśni pozwala na przesuwanie się stawowo połączonych części szkieletu lub wciąganie miękkich części ciała do pancerza	ruch poszczególnych mięśni powoduje wzajemne przesuwanie się części szkieletu razem z powiązanymi z nimi tkankami miękkimi
Precyzja ruchów	ruchy niezbyt precyzyjne	ruchy bardzo precyzyjne	ruchy bardzo precyzyjne

Funkcja	podporowa	podporowa, ochronna, często utrudnia wzrost i ogranicza uzyskanie maksymalnych rozmiarów ciała	podporowa, ograniczona ochronna, pozwala na nieograniczony wzrost ciała
Występowanie	parzydełkowce, płazińce, pierścienice	stawonogi, mięczaki	głowonogi, strunowce

s. 348 –349

Typy czaszek gadów

Cecha	Typ czaszki		
	anapsydów	**synapsydów**	**diapsydów**
Opis	brak dołów skroniowych, najbardziej prymitywny typ	jedna para dołów skroniowych	dwie pary dołów skroniowych
Występowanie	żółwie	gatunki kopalne	gady kopalne, współcześnie żyjące krokodyle, hatterie, jaszczurki, węże

s. 358 –359

Rodzaje kości

Rodzaje kości	Wymiary	Funkcja	Przykłady
długie	długość większa od szerokości i grubości	podpora i dźwignia ciała	kość udowa, kości podudzia, kość ramieniowa, kości przedramienia
krótkie	długość, szerokość, grubość podobne do siebie	precyzyjne, złożone ruchy	kości nadgarstka, kości stępu
płaskie	długość i szerokość większe od grubości	ochrona narządów wewnętrznych, powierzchnia przyczepu dla mięśni	łopatka, mostek, kość biodrowa
różnokształtne	różne wymiary długości, szerokości i grubości	ochrona narządów wewnętrznych, powierzchnia przyczepu dla mięśni	kręgi, kosteczki słuchowe

Połączenia ścisłe kości

s. 359

Rodzaj połączenia	Tkanka łącząca	Ruchomość	Przykłady występowania
Więzozrost	tkanka łączna włóknista	częściowa	zęby w zębodołach, szwy łączące kości czaszki, między kośćmi przedramienia i podudzia
Chrząstkozrost	tkanka chrzęstna	zależy od grubości chrząstki, im grubsza, tym większa możliwość ruchu	spojenie łonowe, krążki międzykręgowe
Kościozrost	tkanka kostna	nieruchome	czaszka dorosłego człowieka, połączenie kości miednicy i kręgów krzyżowych

Połączenia ruchome kości

s. 360

Rodzaj stawu ze względu na		Zakres ruchu	Budowa	Przykłady
zakres wykonywanych ruchów	ukształtowanie powierzchni stawowej			
jednoosiowy	zawiasowy	zginanie, prostowanie w jednej płaszczyźnie	główka w kształcie walca, a panewka wklęsła	kolanowy, łokciowy, międzypaliczkowy (między I a II, II a III paliczkiem)
	obrotowy	obroty w jednej płaszczyźnie, wokół osi	główka osadzona w panewce w kształcie pierścienia	między pierwszym a drugim kręgiem kręgosłupa, promienno-łokciowy
dwuosiowy	siodełkowy	przywodzenie i odwodzenie, zginanie i prostowanie	dwie powierzchnie stawowe w kształcie siodeł	nadgarstkowo-śródręczny kciuka
	elipsoidalny	przywodzenie i odwodzenie w dwóch płaszczyznach, zginanie i prostowanie	główka i panewka mają kształt elipsy	promieniowo-nadgarstkowy
wieloosiowy	kulisty	zginanie i prostowanie, podnoszenie i opuszczanie, ruchy we wszystkich płaszczyznach	główka kształtu kulistego, panewka wklęsła	biodrowy, barkowy

s. 367–369

Rodzaje mięśni

Kryterium podziału	Rodzaj mięśnia	Przykłady mięśni
Kształt	długie	kończyn (np. mięsień łydki, ramienia)
	krótkie	otaczające kręgosłup i torebki stawowe
	szerokie	jamy brzusznej, klatki piersiowej
	okrężne	okrężne oka i ust
Liczba brzuśców	dwugłowy	ramienia
	trójgłowy	łydki
	czterogłowy	uda
Funkcje	prostowniki	grzbietu, kciuka
	zginacze	łokciowy, nadgarstkowy
	przywodziciele	uda
	odwodziciele	kciuka

s. 369

Praca mięśni

Cecha	Praca mięśnia	
	statyczna	dynamiczna
Długość mięśnia	nie zmienia się podczas skurczu	skraca się podczas skurczu
Napięcie mięśnia (tonus)	wzrost podczas skurczu	nie zmienia się podczas skurczu
Przemieszczanie kości względem siebie	nie zachodzi	zachodzi
Rodzaj skurczu	izometryczny	izotoniczny
Przykłady	utrzymanie postawy ciała	podczas ruchu

s. 377–379

Budowa skóry i tkanki podskórnej kręgowców

Charakterystyka skóry i tkanki podskórnej		
SKÓRA	Naskórek	Jest zbudowany z nabłonka wielowarstwowego płaskiego ułożonego w warstwy: rogową (złuszczającą się), rozrodczą (produkuje nowe komórki) i podstawną (znajdują się w niej melanocyty). Naskórek wytwarza włosy, paznokcie, gruczoły. Chroni organizm przed utratą wody i promieniowaniem UV oraz przed wnikaniem patogenów.
	Skóra właściwa	Gruba warstwa skóry, zbudowana z tkanki łącznej oraz włókien kolagenowych i elastynowych. Zawiera liczne naczynia krwionośne i receptory, komórki (fibroblasty, makrofagi). Zapewnia skórze wytrzymałość mechaniczną. Bierze udział w termoregulacji i odbieraniu bodźców.
Tkanka podskórna		Jest zbudowana głównie z tkanki tłuszczowej. Stanowi zapas substancji odżywczych. Pełni funkcję termoizolacyjną.

Wytwory naskórka i skóry właściwej kręgowców

s. 379–380

Gromada	Wytwory naskórka	Wytwory skóry właściwej
Ryby	gruczoły śluzowe	łuski
Płazy	gruczoły śluzowe, jadowe	–
Gady	łuski, tarczki rogowe	płytki kostne
Ptaki	pióra, łuski, dziób, pazury	–
Ssaki	włosy, paznokcie, rogi, kopyta, racice, płytki rogowe, kolce, gruczoły potowe, gruczoły łojowe, gruczoły mlekowe	rogi, np. u żyrafy

Funkcje skóry

s. 382–383

Funkcja skóry	Odpowiedzialne struktury
ochronna	naskórek chroni przed wnikaniem toksyn, mikroorganizmów chorobotwórczych; gruczoły łojowe i potowe chronią przed utratą wody; melaniny chronią przed promieniowaniem UV
termoregulacyjna	gruczoły potowe i łojowe, włosy i mięśnie przywłosowe, naczynia krwionośne, podskórna tkanka tłuszczowa
wydzielnicza	gruczoły potowe, gruczoły łojowe, gruczoły mlekowe
odbieranie bodźców	receptory skórne: bólu, ciepła i zimna, dotyku, ucisku
synteza witaminy D_3	przekształcanie 7-dehydrocholesterolu w prowitaminę D_3 pod wpływem promieniowania UV

Porównanie endotermów i ektotermów

s. 382–383

Cecha	Endotermy	Ektotermy
Źródło ciepła w organizmie	reakcje metaboliczne	środowisko zewnętrzne
Możliwość utrzymania stałej temperatury ciała przy zmianach temperatury otoczenia	tak	nie
Tempo przemian metabolicznych	wysokie	niskie
Mechanizmy termoregulacji	• zmiana tempa aktywności metabolicznej • parowanie potu • przewodzenie ciepła • wypromieniowanie ciepła • regulacja przepływu krwi	• termoregulacja behawioralna (np. wygrzewanie się w słońcu) • hibernacja (sen zimowy) • estywacja (sen letni)
Przykłady zwierząt	ssaki, ptaki, niektóre ryby	płazy, gady, ryby, większość bezkręgowców

s. 385–386

Podział chorób skóry człowieka

Rodzaj chorób	Przykłady
bakteryjne	liszajec
wirusowe	brodawki, opryszczka
pasożytnicze	świerzb, wszawica
uszkodzenia skóry	poparzenia, odmrożenia
wieloczynnikowe (czynniki genetyczne i środowiskowe)	atopowe zapalenie skóry, łuszczyca
nowotwory	czerniak

s. 388–391

Sposoby rozmnażania się zwierząt

	Rozmnażanie bezpłciowe	Rozmnażanie płciowe
Opis	• brak wytwarzania gamet • osobniki potomne powstają przez podział komórki lub z części ciała osobnika wyjściowego • osobniki potomne są identyczne pod względem genetycznym z osobnikiem macierzystym	• produkowane są gamety (komórka jajowa i plemniki) • udział dwóch osobników (męskiego i żeńskiego) • potomstwo nie jest identyczne z żadnym z rodziców (kombinacja cech pochodzących od matki i ojca)
Typy	podział organizmu rodzicielskiego pączkowanie fragmentacja partenogeneza	powstanie zygoty w wyniki połączenia się gamet hermafrodytyzm
Przykłady zwierząt, u których występuje	gąbki, parzydełkowce, niektóre pierścienice, płazińce	kręgowce hermafrodytyzm (tasiemce, pierścienice)

s. 392

Porównanie jajorodności, jajożyworodności i żyworodności

	Jajorodność	Jajożyworodność	Żyworodność
Rodzaj zapłodnienia	zewnętrzne	wewnętrzne	wewnętrzne
Miejsce rozwoju zarodka	w obrębie jaja, poza ciałem matki	w obrębie jaja, w drogach rodnych matki	w drogach rodnych matki, całkowicie zależnie od organizmu matki
Odżywianie zarodka	z substancji zawartych w żółtku	z substancji zawartych w żółtku	pobieranie substancji z organizmu matki (np. przez łożysko)

Opuszczanie osłon jajowych	wykluwanie się młodych z jaj	wykluwanie bezpośrednio przed złożeniem jaj przez samicę, w jego trakcie lub tuż po nim	w wyniku porodu
Przykłady występowania	bezkręgowce, ryby, płazy, gady, ptaki, niektóre ssaki (stekowce)	niektóre nicienie, owady, ryby i gady	niektóre ryby (rekin), większość ssaków

Etapy rozwoju zarodkowego

s. 397–398

Etap rozwoju	Istota procesu
Bruzdkowanie	seria szybkich podziałów mitotycznych zygoty; zwiększa się liczba komórek, ale nie zmienia się ich rozmiar; prowadzi do wytworzenia blastuli
Gastrulacja	tworzenie się listków zarodkowych (ektodermy, endodermy i mezodermy)
Organogeneza	wytwarzanie tkanek i rozwój ostatecznych narządów

Rodzaje błon płodowych

s. 398

Błona płodowa	Funkcja
owodnia	chroni zarodek i zapewnia środowisko dla jego rozwoju
kosmówka	chroni jajo, zapewnia wymianę gazową
omocznia	gromadzi produkty przemiany materii
woreczek żółtkowy	odżywia zarodek, który pobiera substancje z żółtka

Typy rozwoju postzarodkowego zwierząt

s. 399–400

<table>
<tr><th>Rozwój prosty</th><th colspan="2">Rozwój złożony</th></tr>
<tr><td rowspan="2">• forma młodociana podobna do dorosłej, ma mniejsze rozmiary i jest niezdolna do rozrodu
• występuje u płazińców, nicieni, pijawek, pajęczaków, części ślimaków, gadów, ptaków, ssaków</td><td colspan="2">• forma młodociana (larwa) wyraźnie różni się od formy dorosłej, często żyje w innym środowisku i odżywia się innym pokarmem
• w przypadku pasożytów ułatwia zmianę żywiciela
• występuje u gąbek, parzydełkowców, płazińców pasożytniczych, skorupiaków, owadów, mięczaków, szkarłupni, ryb, płazów</td></tr>
<tr><td>Rozwój z przeobrażeniem zupełnym owadów</td><td>Rozwój z przeobrażeniem niezupełnym owadów</td></tr>
<tr><td>• w cyklu życiowym występują cztery stadia: jajo, larwa, poczwarka, imago
• przeobrażenie jest regulowane hormonalnie
• występuje u pszczół, motyli czy much</td><td>• larwy (nimfy) przypominają osobniki dorosłe (nie mają skrzydeł i zdolności rozrodu)
• nimfy przechodzą kilka linień i powstaje postać dorosła
• występuje np. u karaczanów, pasikoników</td></tr>
</table>

s. 405–410

Budowa układu rozrodczego człowieka

	Męski układ rozrodczy	Żeński układ rozrodczy
Narządy rozrodcze zewnętrzne	prącie moszna	srom (wzgórek łonowy, wargi sromowe, łechtaczka)
Narządy rozrodcze wewnętrzne	jądra; najądrza; nasieniowody przewód wytryskowy, cewka moczowa narządy dodatkowe: pęcherzyki nasienne, prostata, gruczoły opuszkowo-cewkowe	jajniki jajowody pochwa macica

s. 410–411

Przebieg gametogenezy (oogenezy i spermatogenezy)

Oogeneza	Spermatogeneza
1. Powstają pierwotne komórki płciowe – gonocyty. 2. Zachodzą podziały mitotyczne i powstają oogonia. 3. Zachodzą kolejne podziały mitotyczne i powstają oocyty I rzędu. 4. Rozpoczyna się I podział mejotyczny (przed urodzeniem), który się zatrzymuje. Jego wznowienie następuje w czasie cyklu miesiączkowego. 5. Powstają oocyt II rzędu i ciałko kierunkowe. 6. II podział mejotyczny rozpoczyna się w trakcie owulacji, a kończy po zapłodnieniu. 7. Powstają komórka jajowa i ciałko kierunkowe (obumiera).	1. Powstają pierwotne komórki płciowe – gonocyty. 2. Zachodzą podziały mitotyczne i powstają spermatogonia. 3. Zachodzą kolejne podziały mitotyczne i powstają spermatocyty I rzędu. 4. I podział mejotyczny – zachodzi w sposób ciągły. 5. Powstają spermatocyty II rzędu. 6. II podział mejotyczny – zachodzi w sposób ciągły. 7. Powstają spermatydy, z których powstają plemniki.

s. 412–413

Cykl menstruacyjny

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Cykl jajnikowy																											
Faza folikularna													owulacja	Faza lutealna													
Cykl maciczny																											
Faza miesiączkowa						Faza odbudowy								Faza wydzielnicza													

s. 423–424

Rodzaje badań prenatalnych

Badania prenatalne	
nieinwazyjne	**inwazyjne**
ultrasonografia NIPT – badanie DNA płodowego	amniopunkcja biopsja kosmówki

Rodzaje metod antykoncepcyjnych

s. 415–416

Metody antykoncepcyjne		
naturalne	termiczna	• określenie dni płodnych na podstawie pomiaru zmian temperatury • bezpieczna, nieinwazyjna • trudności w ustaleniu dni płodnych mogą nastąpić w czasie np. infekcji
	śluzowa (metoda Billingsów)	• określenie dni płodnych na podstawie cech (lepkość, konsystencja) śluzu szyjkowego
sztuczne	hormonalne	• forma: tabletki, plastry • zapobieganie zapłodnieniu poprzez zatrzymanie owulacji, zamiany konsystencji śluzu szyjkowego, zmiany błony śluzowej macicy • niezalecane dla kobiet z zaburzeniami krzepliwości krwi czy nowotworami
	chemiczne	• w postaci środków plemnikobójczych (żele, kremy) • wpływają na ograniczanie aktywności plemników • mało skuteczne
	mechaniczne	• prezerwatywa • mechaniczna bariera dla plemników zapobiegająca kontaktowi z komórką jajową • zmniejsza ryzyko zarażenia chorobami wenerycznymi • może powodować uczulenia

Rozwój pozazarodkowy człowieka

s. 431–433

Okres rozwoju	Wiek od narodzin	Opis
noworodkowy	do 1 miesiąca	adaptacja do samodzielnego życia
niemowlęcy	1–12 miesięcy	bardzo szybki wzrost, nauka chodzenia i mówienia, indywidualizacja cech
poniemowlęcy	1–3 lata	zmiany proporcji ciała, rozwój mowy, sprawności ruchowej, rozwój inteligencji
dzieciństwo	3–9 lat	rozwój pamięci, kształtowanie osobowości, rozwijanie kontaktów z rówieśnikami
dojrzewanie	9–16 lat	dojrzewanie fizyczne i psychiczne
młodzieńczy	16–25 lat	ustalenie proporcji ciała, równowaga procesów metabolicznych
dojrzałość	25–50 lat	pełny rozwój psychiczny i społeczny, osiągnięcie dojrzałości biologicznej
starość	ok. 60. roku życia	zmniejszenie zdolności adaptacyjnych organizmu, okres przekwitania, osłabienie aktywności wielu narządów; tempo indywidualne

BLOK ĆWICZENIOWY

1. Tygrys bengalski należy do największych kotowatych na świecie. Zamieszkuje ciepłe, wiecznie zielone lasy liściaste, łąki i lasy namorzynowe w Indiach, Nepalu, Bangladeszu i zachodnich Chinach.

a) **Wskaż, do której grupy zwierząt należy tygrys bengalski.**

zwierzęta roślinożerne, zwierzęta mięsożerne, zwierzęta wszystkożerne

b) **Z podanych w tabeli stwierdzeń wybierz te, które odnoszą się do kategorii zwierząt wybranej przez ciebie w podpunkcie a.**

	Stwierdzenie
1.	Trawienie pokarmu jest możliwe dzięki współżyciu z bakteriami symbiotycznymi i specjalnej budowie żołądka.
2.	Widoczne w uzębieniu ostre i pokaźne kły służą do chwytania pokarmu i jego rozdrabniania.
3.	Zwierzęta te mają bardzo dobrze rozwinięte zmysły węchu, słuchu i wzroku.
4.	Kończyny zwierzęcia są przystosowane do szybkiego biegu i opatrzone pazurami.

2. Na zdjęciu przedstawiono wala szarego (pływacza, jednego z gatunków wieloryba).

Wyjaśnij, jakim pokarmem odżywia się wal szary. Omów przystosowania tego ssaka do pobierania tego pokarmu.

3. Trawienie może odbywać się w komórkach lub poza nimi.

Podaj, które z podanych cech dotyczą trawienia wewnątrzkomórkowego (TW), a które zewnątrzkomórkowego (TZ). Odpowiedź zapisz w zeszycie.

Cecha trawienia	TW/TZ
Zachodzi w świetle przewodu pokarmowego.	...
Pobieranie pokarmu zachodzi na zasadzie fagocytozy.	...
Przewód pokarmowy jest wyposażony w jeden otwór lub dwa otwory.	...
Trawienie odbywa się etapowo, w różnych odcinakach przewodu pokarmowego.	...
Trawienie umożliwiają enzymy zawarte w lizosomach.	...

4. Tworzenie śliny jest procesem ciągłym. W ciągu doby dorosły człowiek wytwarza 1–1,5 litra śliny. W ciągu dnia, w przerwie między posiłkami ilość produkowanej śliny waha się w granicach 0,3–0,5 ml/min. W czasie intensywnego pobudzania mechaniczno-chemicznego (w czasie przyjmowania posiłków) ilość wydzielania śliny zwiększa się do 1,5–2,3 ml/min. Podczas snu wydzielanie śliny jest najmniejsze i wynosi do 0,05 ml/min.

Przedstaw w postaci diagramu słupkowego zakresy dotyczące tempa wydzielania śliny w ciągu doby na podstawie danych z tekstu.

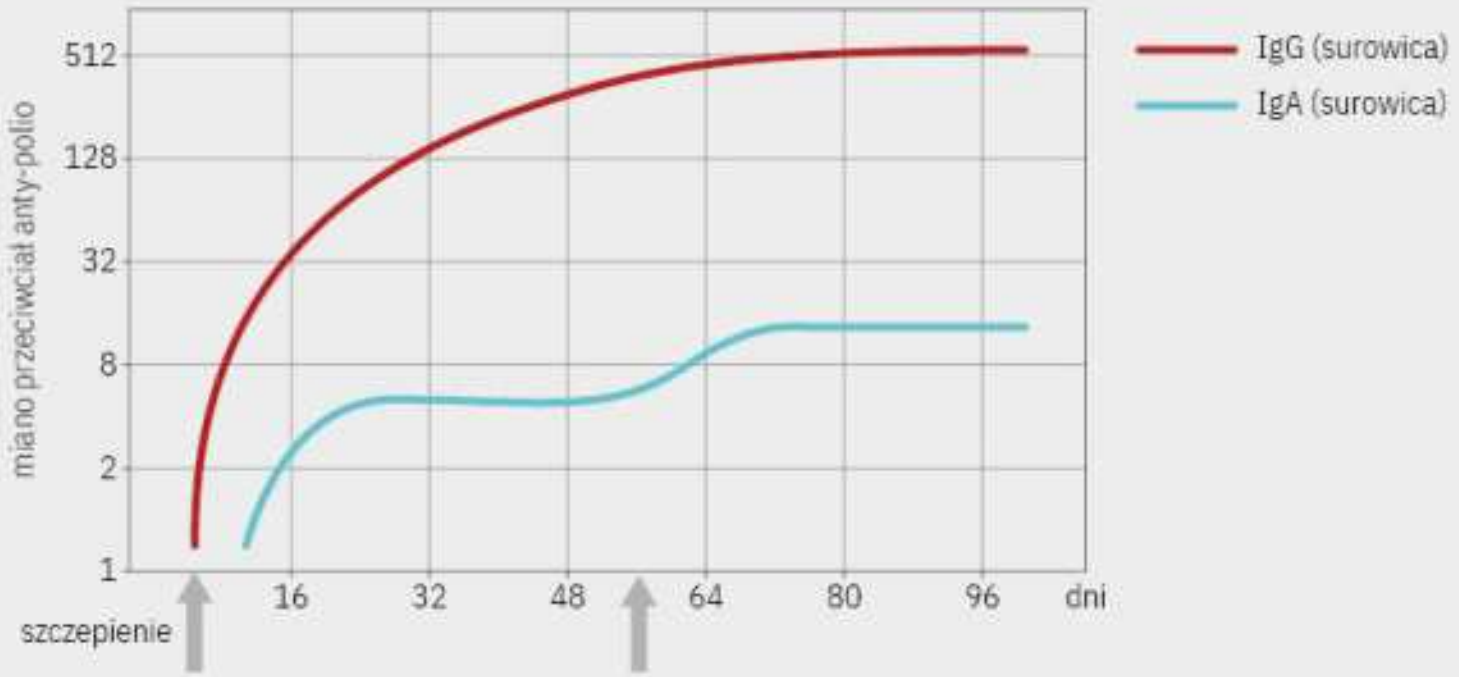
5. Odporność organizmu człowieka można podzielić na swoistą i nieswoistą. Odporność swoistą człowiek nabywa w trakcie całego życia, natomiast odporność nieswoista jest wrodzona.

Wskaż mechanizmy obronne, które należą do odporności nieswoistej.

	Przykład mechanizmu obronnego
1.	Obecność lizozymu w ślinie i we łzach.
2.	Obecność przeciwciał we krwi.
3.	Kwaśne środowiska żołądka.
4.	Wytwarzanie pamięci immunologicznej po przebytym zakażeniu lub szczepieniu.
5.	Właściwości fagocytujące makrofagów.

6. Na wykresie przedstawiono wytwarzanie przeciwciał IgG i IgA w surowicy krwi po podaniu szczepionki przeciwko wirusowi polio.

Omów i wyjaśnij zmiany poziomu przeciwciał IgG i IgA po szczepieniu przeciwko wirusowi polio.



Na postawie: J. Goląb, M. Jakóbisiak, W. Lasek, *Immunologia*, PWN, Warszawa 2009.

7. Wymiana gazowa odbywa się u wielu gatunków całą powierzchnią ciała.

a) **Porównaj wymianę gazową przez całe ciało płazińca wolno żyjącego i dżdżownicy. Wskaż jedną różnicę.**

b) **Podaj przystosowania do wymiany gazowej całą powierzchnią ciała w zależności od środowiska życia.**

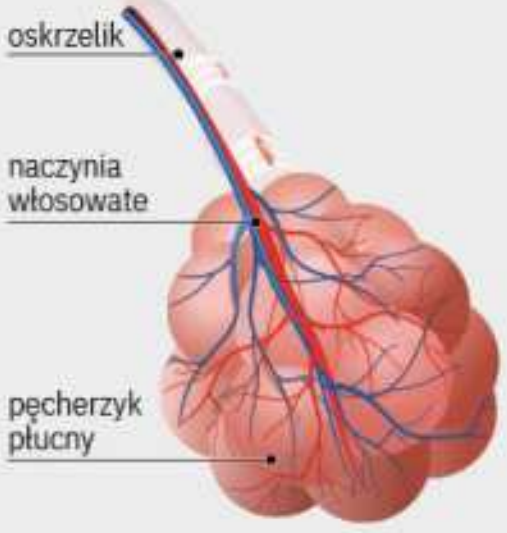
8. Na wykresie przedstawiono zmiany poziomu przeciwciał w surowicy płodu i niemowlęcia.

Na podstawie: J. Gołąb, M. Jakóbisiak, W. Lasek, *Immunologia*, PWN, Warszawa 2009.

a) **Odczytaj z wykresu, jak długo utrzymują się przeciwciała matczyne w surowicy niemowlęcia.**

b) **Do jakiego rodzaju odporności swoistej (czynnej czy biernej) zaliczysz proces przechodzenia przeciwciał matki do krwi dziecka?**

9. Na rysunku przedstawiono pęcherzyki płucne na jednym oskrzeliku płucnym.



a) **Przedstaw zależność między budową ściany pęcherzyków płucnych i otaczających je naczyń włosowatych a sprawną wymianą gazową.**

b) **Wyjaśnij, jaką funkcję pełni surfaktant pokrywający powierzchnię pęcherzyków płucnych.**

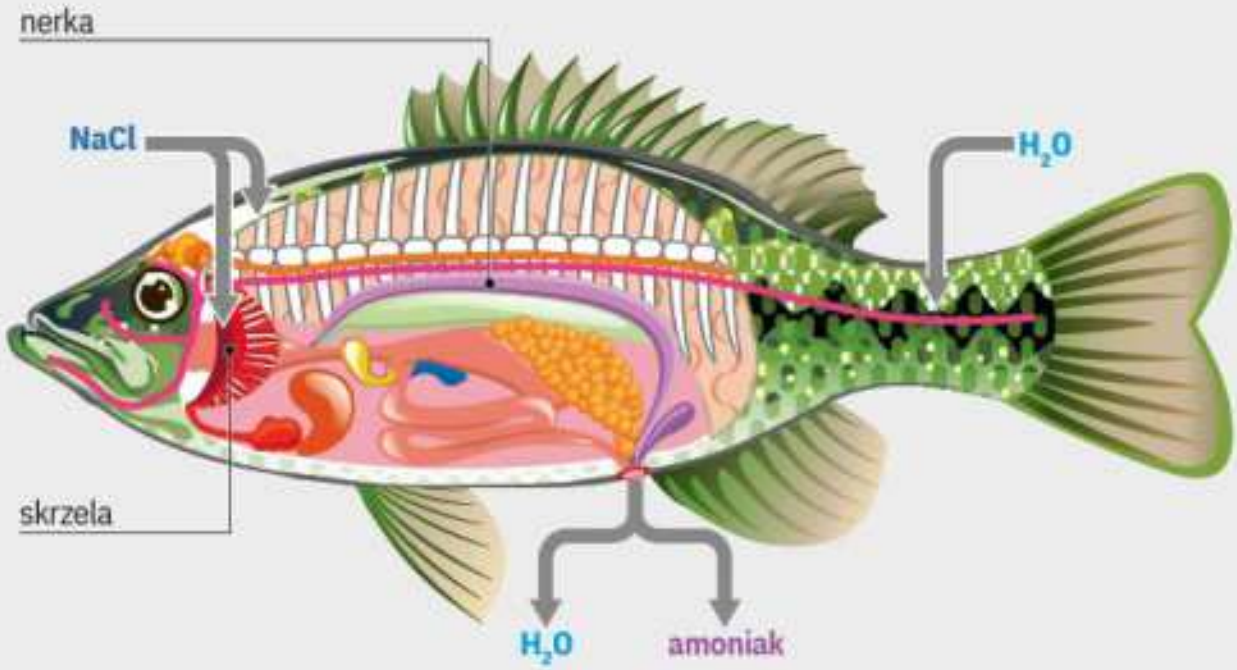
10. Na rysunku przedstawiono budowę jednego z trzech typów naczyń krwionośnych.

a) **Rozpoznaj naczynie krwionośne i podaj jego nazwę. Odpowiedź uzasadnij.**

b) **Wskaż miejsce występowania i funkcję wskazanego naczynia w układzie krwionośnym.**

c) **Wyjaśnij funkcję zastawek znajdujących się w żyłach.**

11. Ryby w zależności od środowiska życia regulują na różne sposoby gospodarkę wodno-jonową.

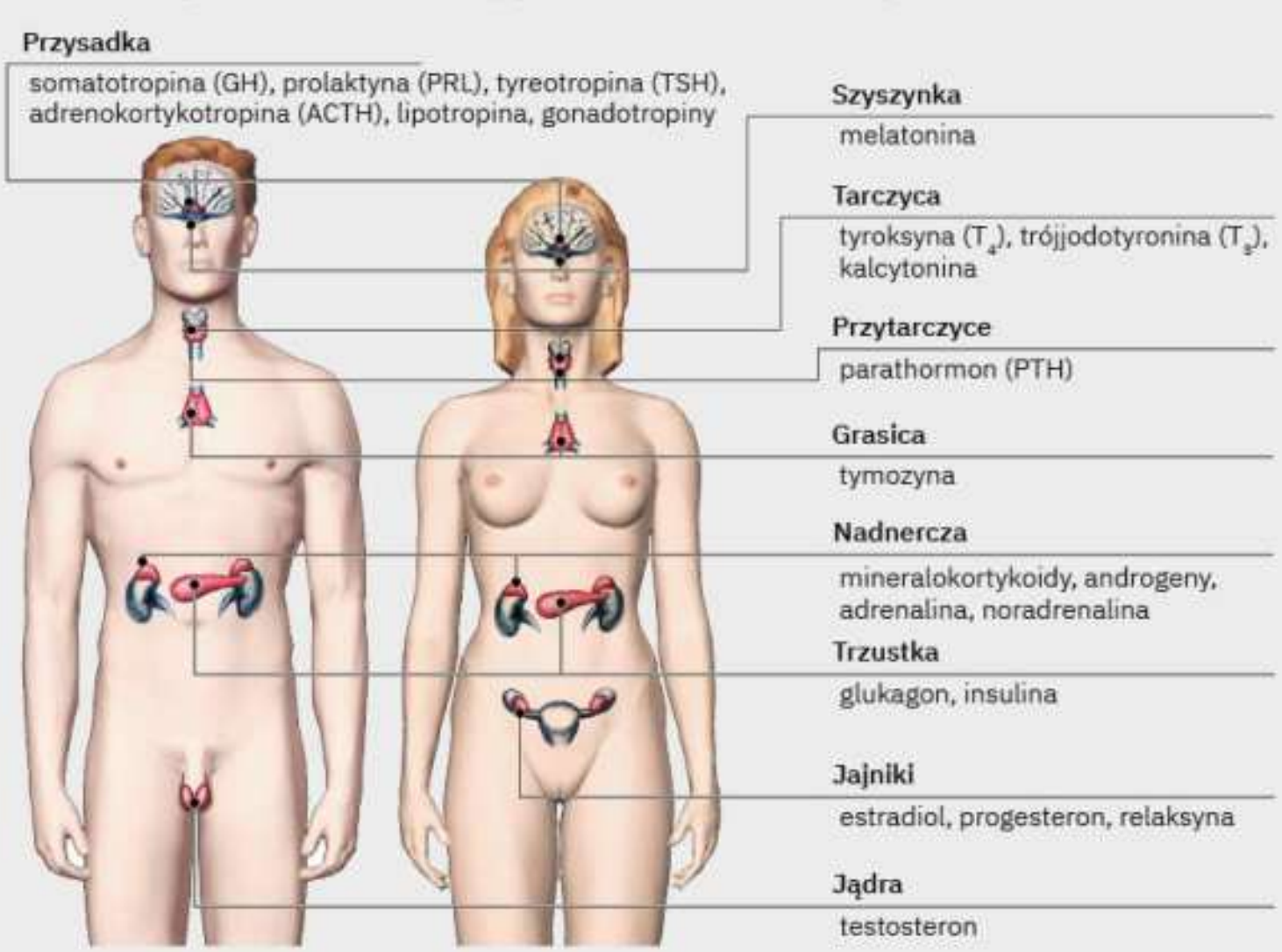


Na podstawie rysunku:

a) **wskaż środowisko, w którym przedstawiono osmoregulację;**

b) **podaj, czy przedstawiona ryba pije wodę, czy jej nie pije. Odpowiedź uzasadnij.**

12. Na schemacie przedstawiono lokalizację gruczołów dokrewnych w organizmie człowieka.



Podaj po dwa przykłady gruczołów, które wydzielają hormony rozpuszczalne w wodzie i hormony rozpuszczalne w tłuszczach.

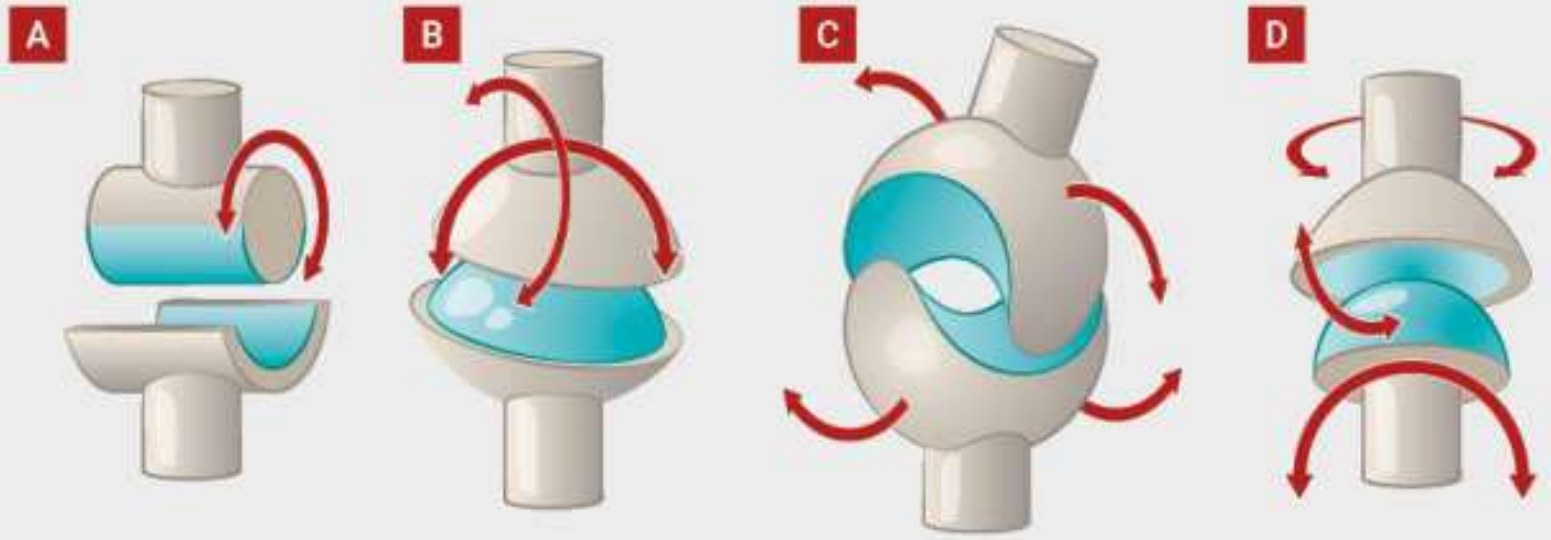
13. Genisteina to organiczny związek chemiczny z grupy izoflawonów występujący m.in. w nasionach soi. W komórkach człowieka pełni wiele funkcji, np. przeciwpasożytnicze, antyutleniające oraz hormonopodobne. Genisteina naśladuje działanie ludzkich estrogenów i może być stosowana w leczeniu ich niedoborów (np. w czasie przekwitania u kobiet). Wykazano, że genisteina jest rozpoznawana przez receptory estrogenowe (dla estradiolu) i z tego powodu związek ten został nazwany fitoestrogenem.

Na podstawie informacji podanych w tekście wyjaśnij, czy fitoestrogenne działanie genisteiny bazuje na mechanizmie regulacji hormonalnej właściwej dla hormonów steroidowych czy białkowych. Swoją odpowiedź uzasadnij.

14. Przyporządkuj części mózgowia (I–VI) do pełnionych przez nie funkcji (1–8).

I. kresomózgowie	1. ośrodki podstawowych czynności wegetatywnych organizmu
II. międzymózgowie	2. nadzoruje większość czynności fizycznych i umysłowych
III. śródmózgowie	3. uczestniczy w odruchach bezwarunkowych
IV. móżdżek	4. ośrodki głodu, pragnienia i sytości
V. rdzeń przedłużony	5. koordynacja postawy ciała i równowagi
VI. rdzeń kręgowy	6. koordynacja ruchów gałki ocznej
	7. steruje pracą mięśni szkieletowych
	8. steruje instynktami macierzyńskimi

15. Stawy można podzielić na trzy rodzaje: wieloosiowe, dwuosiowe i jednoosiowe, w zależności od tego, w ilu płaszczyznach umożliwiają ruch.



Przyporządkuj wymienionym typom stawów odpowiednie rysunki (a–d) i podaj jeden przykład każdego stawu. Odpowiedź zapisz w zeszycie.

wieloosiowy ..., np. ...

dwuosiowy ..., np. ...

wieloosiowy ..., np. ...

16. Do rodzajów kości (I–IV) dopasuj odpowiednie przykłady (a–g).

Rodzaje kości:

I. długie
II. krótkie
III. płaskie
IV. różnokształtne

a) kości skroniowe
b) kości śródstopia
c) łopatka
d) kość piszczelowa
e) kość czołowa
f) kość udowa
g) kości palców
h) kość biodrowa
i) kość ramienna
j) kosteczki słuchowe
k) kręg

17. Wymień elementy skóry odpowiedzialne za jej funkcję ochronną i termoregulacyjną. Omów dwa wybrane.

18. Skórę człowieka zamieszkują setki gatunków pożytecznych bakterii i grzybów, które tworzą mikrobiom skóry. Odgrywają one zasadniczą rolę w ochronie przed chorobotwórczymi patogenami. W przypadku zerwania bariery lub zakłócenia równowagi między komensalami a patogenami może dojść do chorób skóry, a nawet chorób ogólnoustrojowych. Obszary ludzkiej skóry można podzielić na kategorie według ich cech fizjologicznych: części łojowe (tłuste), wilgotne oraz suche. Skład mikrobiomu tych części jest różny, a badania jego zmian mogą być przydatne w rozpoznawaniu typowych chorób skóry.

Na podstawie: http://link.operon.pl/httpswwwnaturecomarticlesnrmicro2017157.

a) **Wyjaśnij, jaką rolę odgrywają mikroorganizmy w skórze w utrzymaniu zdrowia lub wywoływaniu chorób.**

b) **Oceń prawdziwość podanych stwierdzeń. Odpowiedź zapisz w zeszycie.**

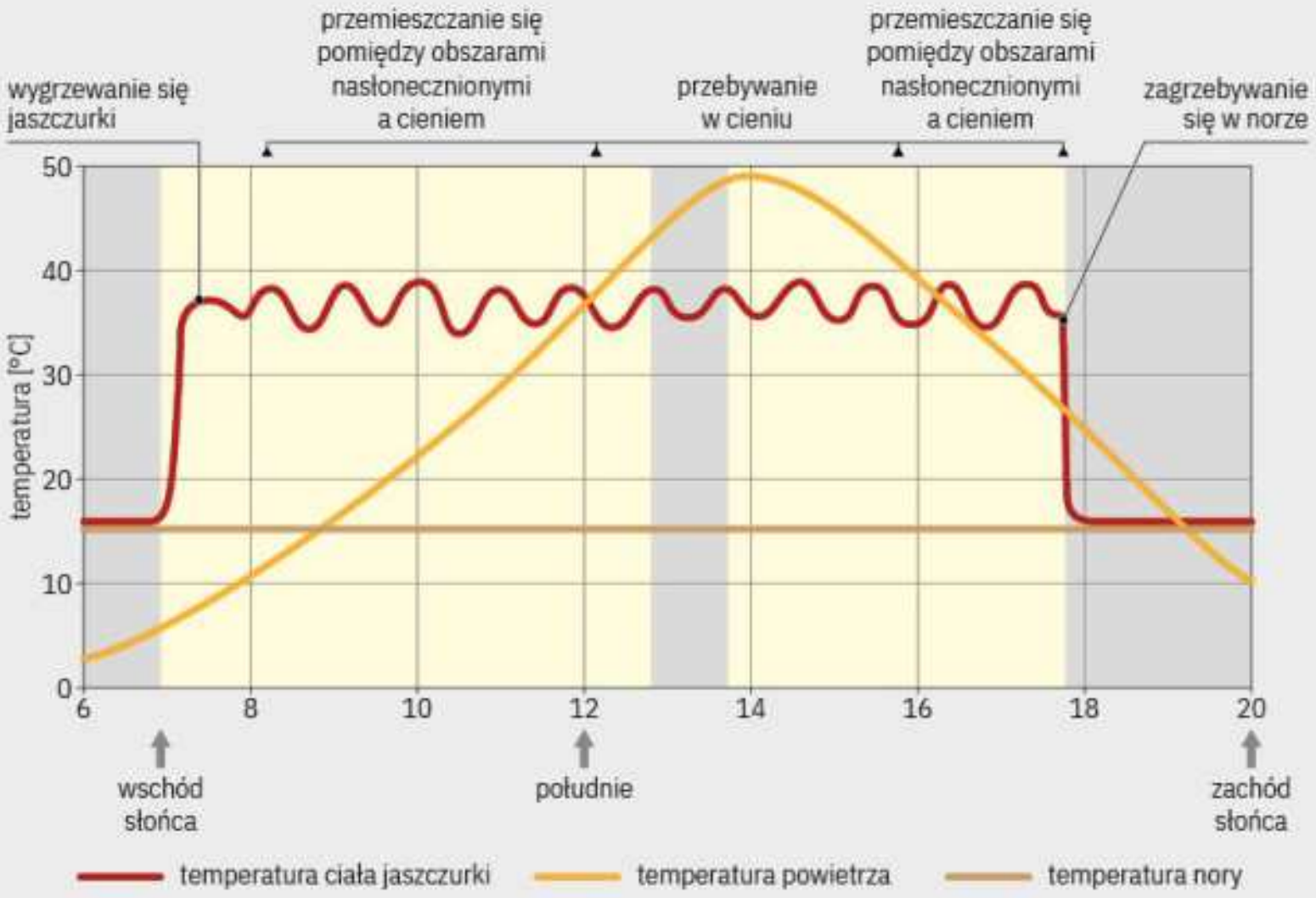
A. Porównanie składu mikrobiomu osób chorych i zdrowych może pomóc w identyfikacji patogenów wywołujących choroby.

B. Skład mikrobiomu zależy od obszaru skóry i zawartości w niej składników odżywczych.

C. Obszary bogate w gruczoły potowe zakwaszają skórę, a pot zawiera substancje antybakteryjne, co stwarza niekorzystne warunki dla wzrostu niektórych mikroorganizmów.

c) **Wymień trzy przykłady chorób skóry wywoływanych przez mikroorganizmy.**

19. W zależności do źródła ciepła w organizmie zwierzęta dzieli się na ektotermiczne i endotermiczne. Zwierzęta obu grup dysponują odmiennymi mechanizmami termoregulacyjnymi. Na wykresie przedstawiono dobowe zmiany temperatury ciała u jaszczurki.



a) **Podaj, do jakiej grupy zwierząt (ektotermicznych czy endotermicznych) należy jaszczurka.**

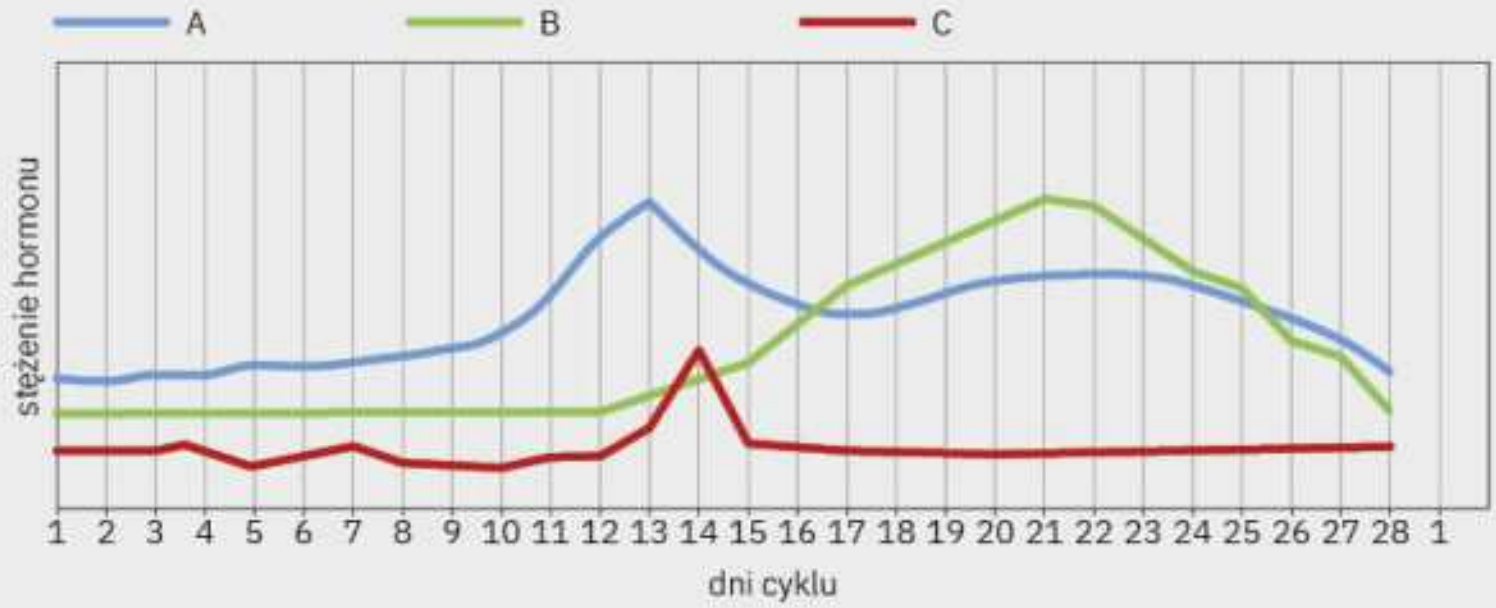
b) **Wyjaśnij, w jaki sposób jaszczurka reguluje ciepłotę ciała w ciągu doby.**

20. Na schemacie przedstawiono jeden ze sposobów rozmnażania u parzydełkowców.

a) **Podaj, jaki typ rozmnażania (płciowy czy bezpłciowy) przedstawiono na rysunku.**

b) **Omów wady i zalety tego sposobu rozmnażania.**

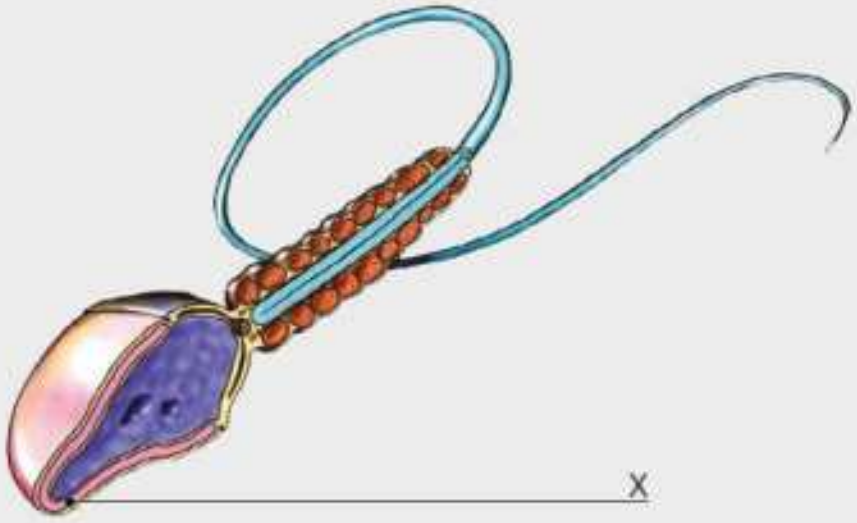
21. Schemat ilustruje procesy zachodzące w jajniku podczas cyklu miesiączkowego kobiety wraz ze zmianami poziomu hormonów płciowych w jej krwi.



a) **Podaj nazwy hormonów oznaczonych literami A i B.**

b) **Wytłumacz, jak zmieni się poziom hormonu B w trakcie cyklu bezowulacyjnego.**

22. Na schemacie przedstawiono budowę plemnika.



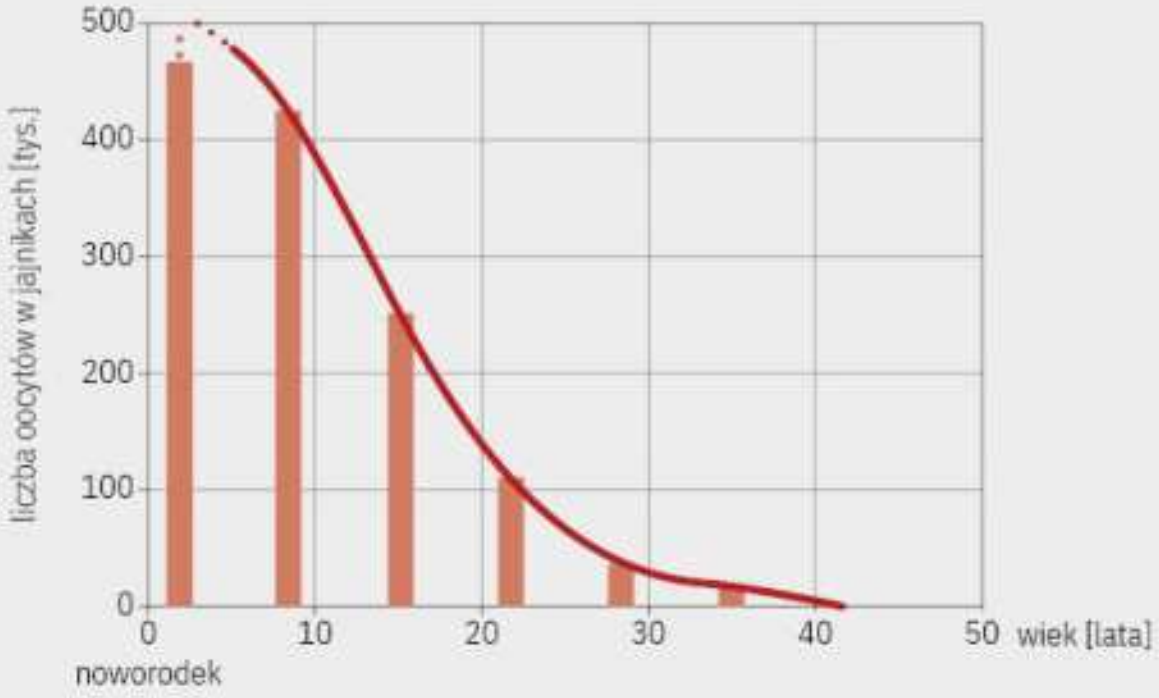
Omów, jaką funkcję w procesie zapłodnienia pełni element budowy plemnika oznaczony X.

23. Przerysuj do zeszytu tabelę i uzupełnij w niej przykłady chorób układu rozrodczego człowieka według kategorii.

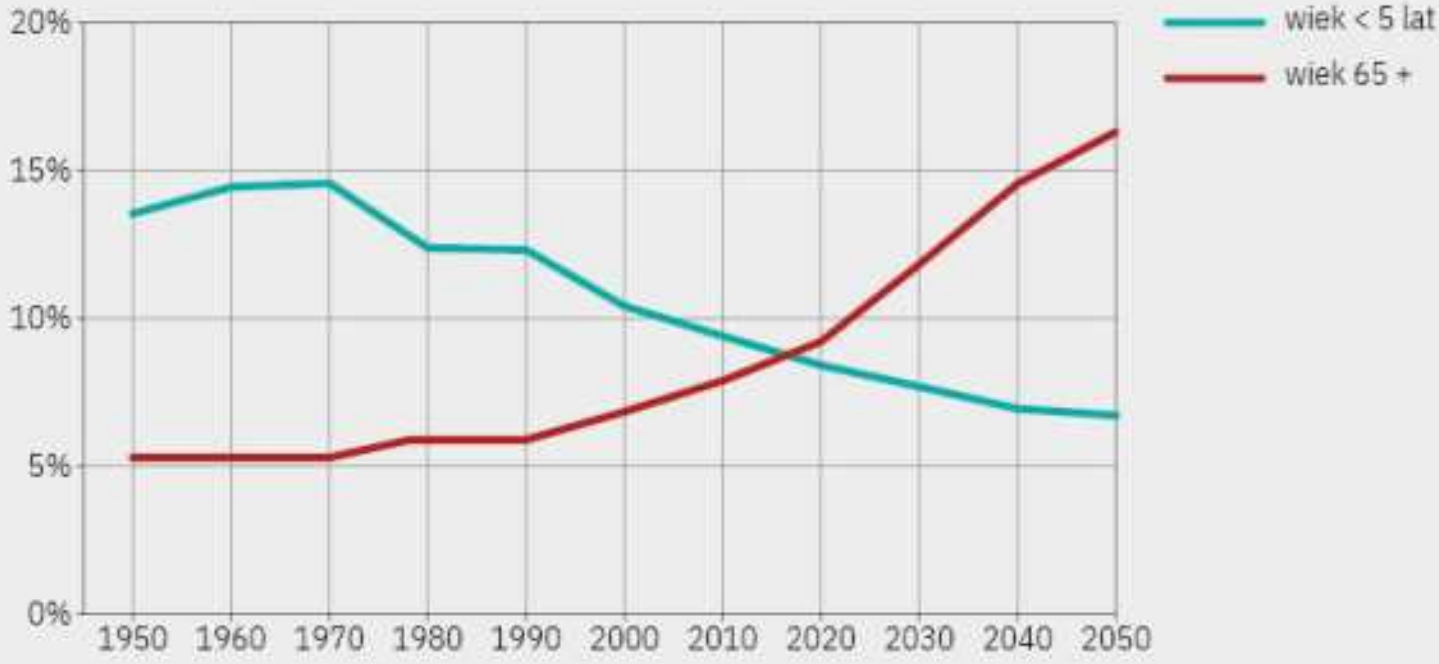
Choroby przenoszone drogą płciową	Choroby bakteryjne	Choroby nowotworowe
...	...	...

24. Na wykresie przedstawiono zmiany liczby oocytów wraz z wiekiem kobiety.

Podaj dwa wnioski z analizy wykresu.



25. Na wykresie przedstawiono zmiany demograficzne populacji ludzkiej w dwóch grupach wiekowych (poniżej 5 lat i powyżej 65 lat) w latach 1950–2050.



a) **Omów zmiany demograficzne zachodzące we wskazanych grupach wiekowych.**

b) **Podaj dwie przyczyny i dwa możliwe skutki zachodzących zmian.**

Indeks

A

adrenalina 280
aglutynacja 188
akomodacja oka 319
aktyna 119
alergia 194
amoniak 39, 250
amylaza trzustkowa 163
anabioza 32
anoreksja 172
antygen 176
antygen D 189
antykoncepcja 415
aparat wrotny 31
autoantygen 187
automatyzm serca 235

B

beleczki kostne 116
białka 139
blastocel 9
blastocysta 418
blastomer 9
blastula 9
błona migawkowa 314
błonnik pokarmowy 142
błony płodowe 398
bruzdkowanie 11, 397
bulimia 172

C

cefalizacja 13
celoma 11
cewki Malpighiego 254
chemoreceptory 308
choanocyty 15
cholesterol 239
choroba dekompresyjna 223
choroby weneryczne 427
ciałka brzeżne 20
ciśnienie krwi 243
cukrzyca 276
cykl
  maciczny 412
  miesiączkowy 412
  mocznikowy 251
  pracy serca 236
cyklomorfoza 32
cytokiny 180
czaszka 348, 362
czworonogi 73

D

dendryt 122
depresja 330
detrytus 39
diagnostyka prenatalna 423
doping 372
dotyk 309

E

echo serca 243
ektoderma 9
ektotermy 383
elektrokardiograf 242
elektroreceptory 308, 316
endoderma 9
endotermy 382
erytrocyty 118
etap
  zarodkowy 397

F

fałdy głosowe 208
filtratory 133
fotoreceptory 308, 312

G

gady 81
gałka oczna 317
gametogeneza 410
gastroskopia 174
gastrula 9
gastrulacja 9, 398
gastryna 157
gąbki 15
gruczoły
  dokrewne 272
  mleczne 84
  żołądkowe 157

H

hemoglobina 118, 219
hemolimfa 44
hermafrodytyzm 391
hibernacja 383
hirudyna 39
homeostaza 130
hormon juwenilny 267
hormony 266
  tarczycy 279

I

immunosupresja 188
impuls nerwowy 291
interferony 180
interleukiny 180

J

jajniki 409
jajo 393
jajorodność 392
jajowody 409
jajożyworodność 392
jama gastralna 19
jądra 405

K

kloaka 31
kolagen 109
kolonoskopia 174
komórki
  gruczołowe 22
kora mózgowa 301
kosmki 157
kręgosłup 363
kresomózgowie 288
krew 117
krzepnięcie krwi 223
kubki smakowe 155
kutykula 34
kwas moczowy 251

L

lancetnik 72
leukocyty 118
limfa 117
limfocyty B 183
limfocyty T 184
lipaza 163
listki zarodkowe 104

Ł

łożysko 420
łuk odruchowy 295

M

macica 409
magnetoreceptory 316
makroelementy 148
mechanoreceptory 308
melanina 378
melatonina 280
metabolizm 127
metamery 37
metamorfoza 399
metanefrydia 39, 45, 254
mezenchyma 11
mezoderma 11, 25
mezoglea 19
mięczaki 54
międzymózgowie 288
mikrobiom 159
mikroelementy 148
miksocel 44
miofibryle 120
mioglobina 221
miozyna 119
mocz
  ostateczny 259
  pierwotny 259
mocznik 39, 251
mostek 354
moszna 405
móżdżek 288
mózgowie 300

N

naczelne 86
naczynia włosowate 228
nagłośnia 209
narząd linii bocznej 309
narządy 125
  limfatyczne 177
  tympanalne 45, 310
nasienie 407
naskórek 375
nefron 255, 258
neuron 122
neuryt 122
nicienie 33
nieparzystokopytne 342
niepłodność 424
nóżki wodne 66

O

objętość
  oddechowa 212
oczy
  kubkowe 312
  proste 312
  złożone 312

odporność
humoralna 185
komórkowa 185
nieswoista 181
swoista 181
odruch
bezwarunkowy 296
warunkowy 296
okres
dojrzewania 431
płodowy 420
zarodkowy 419
ommatidia 45
ontogeneza 396, 418
oogeneza 410
organogeneza 9, 398
oskórek 34
osmoregulacja 247
osocze 117
osseina 115
osteoblast 115
osteocyt 115
osteoklast 115
osteon 115
ostia 44
ośrodek
oddechowy 212
pneumotaksyczny 212
ośrodki nerwowe 306
otyłość 169
owodniowce 73

P

pajęczynówka 303
parapodia 39
parenchyma 27
partenogeneza 31
parzydełkowce 19
parzystokopytne 342
paznokcie 380
pęcherz pławny 200
pęcherzyki płucne 205, 210
pęcherzyk mózgowy 287
pierścienice 37
pierścień okołogardzielowy 34
pierwiastki biogenne 148
pinakocyty 15
planula 22
plemnik 406
płazy 79
płetwy 354
pneumatyczne kości 83
pochwa 409
pokładełko 47
polimorfizm 23
poród 422
potencjał czynnościowy 291
prącie 405
protonefrydia 254
prowitamina D 384
przeciwciała 179
przetchlinki 202
przewód pokarmowy 153
przeżuwacz 137
pseudoceloma 31
ptaki 83

R

rabdity 27
receptor 295
rozmnażanie
bezpłciowe 388
płciowe 390
rozwój
postnatalny 431
pozazarodkowy 399
prenatalny 419
prosty 399
złożony 399
ruch 335
kroczny 342
mięśniowy 336
odrzutowy 338
rzęskowy 335
wiosłowy 337
ryby
chrzęstnoszkieletowe 78
kostnoszkieletowe 78
rytm okołodobowy 130

S

sarkomer 369
sen 332
serce 233
siatkówka 318
skleryty 16
składniki odżywcze 139
skóra właściwa 378
skrzela 56
wewnętrzne 198
zewnętrzne 198
skurcz
izometryczny 371
izotoniczny 371
smak 311, 327
soczewka 318
spermatogeneza 410
spongocel 15
ssaki 84
starzenie się 431
statocysty 310
statolity 310
stawy 359
struna grzbietowa 348
strunowce 70
synapsa 122, 293
szkarłupnie 65
szkielet 347
hydrauliczny 347
osiowy 351
wewnętrzny 347
zewnętrzny 347

Ś

ślinianki 156
śluzice 77
śródmózgowie 288

T

tarka 56
tasiemce 29
tchawki 45
termoreceptory 308, 315
termoregulacja 128, 382
tętnice 228
tkanka
chrzęstna 113
glejowa 123
kostna 114
łączna 109
mięśniowa 119
nabłonkowa 104
nerwowa 122
tłuszcze pokarmowe 141
tonus 371
totipotencjalność 16
tracheole 202
transplantacja 188
trawienie 135, 157, 163
trochofora 56
trombocyty 119
tryskawka 200
trzustka 161
tunika 71

U

ucho 324
układ
hormonalny 266
krążenia 226
limfatyczny 245
mięśniowy 346, 367
moczowy 257
nerwowy 284, 299
ortogonalny 27
pokarmowy 153
Rh 189
rozrodczy
męski 405
żeński 408
ruchu 358
wodny 66
współczulny 305

W

warstwa rogowa 378
wątroba 162
wchłanianie 164
wdech 211
węch 311, 326
węglowodany pokarmowe 142
witaminy 145
włókna
kolagenowe 113
nerwowe 122
włosy 379
wole 83
worek trzewiowy 55
wrotki 31
wstrząs anafilaktyczny 194
wydech 211
wydzielanie
holokrynowe 108
merokrynowe 108
wymiana gazowa 218
wzrok 312

Z

zapłodnienie 390, 397, 418
zwierzęta
amoniotoliczne 75
ureoteliczne 75
urykoteliczne 75
zygota 9

Ż

żachwy 71
żebra 353
żeglarek 56
żołądek 156
ssący 45
żujący 45
żółć 162
żyły 228
żyworodność 392