

Spis treści

Od autora	5
Wprowadzenie do zoologii	6
1. Poziom jednokomórkowca	8
2. Charakterystyka pierwotniaków	11
3. Powstanie wielokomórkowców zwierzęcych	22
4. Charakterystyka gąbek	26
5. Tkanki zwierzęce	28
5. 1. Tkanka nabłonkowa	28
5. 2. Tkanka łączna	33
5. 2. 1. Tkanka łączna właściwa	34
5. 2. 2. Tkanka łączna oporowa	35
5. 2. 3. Tkanka łączna płynna	39
5. 3. Tkanka mięśniowa	44
5. 3. 1. Poprzecznie prążkowana szkieletowa	46
5. 3. 2. Poprzecznie prążkowana serca	48
5. 3. 3. Gładka	50
5. 4. Tkanka nerwowa i glejowa	51
6. Charakterystyka jamochłonów	58
7. Charakterystyka płazińców	65
8. Pochodzenie trójwarstwowców oraz płazińców pasożytniczych	78
9. Charakterystyka obleńców	82
10. Charakterystyka pierścienic	92
11. Pochodzenie i radiacja stawonogów	100
12. Charakterystyka stawonogów	110
13. Charakterystyka mięczaków	126
14. Pierwotne zwierzęta wtórnie	132
15. Powstanie i charakterystyka ogólna strunowców	135
16. Strunowce niższe	138
17. Powstanie kregowców	146
18. Charakterystyka bezzuchwoców	152
19. Powstanie zuchwoców	158
20. Charakterystyka ryb	165
21. Wyjście kregowców na ląd	178
22. Charakterystyka płazów	185

Podręcznik dla klasy II liceum ogólnokształcącego o profilu podstawowym i biologiczno-chemicznym

Biologia

Wydanie pierwsze

Wydawnictwo "OPERON" 1996

23. Pochodzenie i radiacja gadów	200
24. Charakterystyka gadów	209
25. Pochodzenie i ewolucja płatków	226
26. Charakterystyka płatków	233
27. Pochodzenie i radiacja ssaków	251
28. Charakterystyka ssaków	265
29. Podstawy ekologii	283
29.1. Osobniki i gatunki w układach ekologicznych	284
29.2. Populacja	290
29.3. Biocenoza	300
29.4. Ekosystemy i ich rozwój	308
30. Ochrona środowiska	322
30.1. Zasoby nieożywione	323
30.2. Działania na rzecz ochrony przyrody	332
31. Biogeografia	339
31.1. Rozmieszczenie organizmów	343
31.2. Fitogeografia	347
31.3. Zoogeografia	351

Wprowadzenie do zoologii

Termin „zoologia” wprowadzany jest od greckich słów: *zoon* — zwierzę i *logos* — nauka. Ogólnie oznacza więc samodzielną gałąź biologii zajmującą się budową, czynnościami życiowymi, rozwojem, pochodzeniem i występowaniem zwierząt. Ogromny postęp wiedzy doprowadził (z koniecznością) do podziału zoologii na odrębne dyscypliny, takie jak np.: morfologia, anatomia, fizjologia, systematyka czy embriologia. Skutkiem tego są poważne problemy w opowaniu tak obszernego materiału — dotyczy to w równym stopniu uczniów, jak i studentów biologii.

Konstrukcja tej części podręcznika powinna ułatwić poznawanie, rozumienie i zapamiętywanie wiedzy o zwierzętach, dlatego zaproponowano w nim ograniczenie zmundnych przeглядów systematycznych. Pozwoliło to na pewne rozbudowanie zagadnień związanych z budową zwierząt i ich adaptacjami do środowiska. Poniżej przedstawiono kilka ogólnych uwag o zwierzęciu jako pewnej specyficznej całości.

ORGANIZM ZWIERZĘCIA REALIZUJE TRUDNĄ STRATEGIĘ ŻYCIOWĄ

To proste sformułowanie kryje bardzo złożone zadania, które stają przed każdym zwierzęciem. Podstawowym problemem jest tu cudzozywność (**heterotrofizm**) — zwierzę musi otrzymywać (najlepiej dość regularnie) pożywienie, zawierające niezbędne związki organiczne (porównaj to ze sposobem odżywiania się rośliny). W takim układzie należałoby już od pierwszych zwierząt oczekiwać następujących „strategii” postępowania:

1. Organizm całkowicie biernie czeka na pożywienie, które znajdzie się w jego bezpośrednim sąsiedztwie. Wówczas ogranicza swoją aktywność jedynie do rozpoznawania i przyjmowania substancji organicznych. Tego typu strategia wymaga dość komfortowych warunków środowiskowych, np. wody zasobnej w pokarm. W naturze zdarza się to bardzo rzadko — jednak niektóre organizmy doskonale przystosowały się do takiego trybu życia (np. gąbki czy niektóre jamochłony). Dodać jednak należy, że rozwiązanie to okazało się w sumie mało korzystne i dlatego w świecie zwierząt jest rzadko spotykane, a u wyższej uorganizowanych wcale. Wyjątkiem mogą tu być liczne pasozyty wewnętrzne, ale i one zajmują specyficzne, wąskie nisze ekologiczne;

2. Zwierzę aktywnie szuka pożywienia. Skutki takiej strategii można streścić następująco:

A) organizm będzie musiał mieć możliwość szybkiego zmieniania swojego położenia, czyli wykonywania **ruchów lokomocyjnych**. Z punktu widzenia komórkowego nie może więc mieć ściśle komórkowej, która ogranicza możliwość odeszłatacia komórki (a to jest podstawą bardziej złożonych form ruchu). Przemieszczanie się będzie więc wymagało posiadania:

a) na poziomie jednokomórkowców — **organelli ruchu** (wici, rzęsek albo nibynóżek);

b) na poziomie wielokomórkowców — **organów ruchu** (z grubsza mięśni, a w przypadku szybszych i większych zwierząt dodatkowo jeszcze **elementów szkieletowych**).

Wada są tutaj m.in. energetyczne koszty poszukiwań, ale ważniejsze okazały się korzyści — większe ilości pokarmu w krótkim czasie. Ogólnie rzecz biorąc — **mięśnie i szkielet tworzą aparat ruchowy** (tak jest u najwyżej uorganizowanych);

B) musi istnieć możliwość szybkiego strawienia pobranego pożywienia — stąd już pierwsze, jednokomórkowe zwierzęta opanowały zdolność do pobierania i trawienia we-

wnątrzkomórkowego różnych cząstek pokarmowych. Zwiększaniu wymiarów ciała u wielokomórkowców musiało zaś towarzyszyć wykształcenie i doskonalenie **układu pokarmowego**:

- C) duże zapotrzebowanie energetyczne zwierzęcia stawia poważne zadania przed jego aparatem związanym z przetwarzaniem energii. Na poziomie komórkowym wymaga to zwiększenia wydajności oddychania wewnątrzkomórkowego. Osiąga to się przez „zastosowanie”, liczniejszych niż u roślin, grzebieniastych mitochondriów. Procesy w nich zachodzące wymagają dużych ilości tlenu. W przypadku małych zwierząt o niewielkiej aktywności (np. pierwotniaków, płazińców) zapotrzebowanie na ten gaz jest pokrywane w drodze dyfuzji przez powłoki ciała. Większe muszą „posługiwać się” **układami oddechowymi**. Możliwością jest tutaj kilka — organizmy pierwotnie wodne będą wykstraktowały zwykle skrzela. W przypadku form lądowych sprawa jest bardziej skomplikowana, ale ogólnie posiadają one powierzchnie oddechowe typu płuca bądź tchawki. Ponadto zwiększanie wymiarów ciała uniemożliwia wykorzystywanie dyfuzji jako jedynego sposobu przemieszczania substancji wewnątrz ustroju, stąd u wyższej uorganizowanych zwierząt pojawił się **układ krążenia** odpowiedzialny za szybki transport na duże odległości;

- D) ważnym problemem w życiu zwierzęcia jest także utrzymanie równowagi osmotycznej (czyli odpowiedniego bilansu wodno-mineralnego). Warunkuje to prawidłowość pracy enzymów komórkowych i w ogóle całego metabolizmu. Pierwsze systemy osmoregulacyjne mają już pierwotniaki, u wyższej uorganizowanych rolę tę odgrywa **układ wydalinowy**. Przyspieszenie tempa przemian wewnątrzustrojowych prowadzi także do tego, że u większych i aktywniejszych zwierząt układ ten przejmują funkcje usuwania zbędnych i szkodliwych produktów przemiany materii;

- E) przemieszczanie się w środowisku wymagać będzie szybkiej orientacji, a to z kolei, liczących **receptorów** (struktur umożliwiających odbiór informacji płynących ze środowiska). W przypadku form wielokomórkowych istotne stanie się szybkie przesyłanie odebranej informacji i jej „obróbka” w organizmie — funkcję tę spełniają wyspecjalizowane komórki nerwowe (**neurony**), które łączą się ze sobą w **układ nerwowy**.

Niezależnie od strategii zdobywania pożywienia każdy żywy organizm musi być zdolny do reprodukcji — jest to warunek zachowania ciągłości gatunku — stąd u wszystkich zwierząt wielokomórkowych, niezależnie od typu rozrodu, obecne są **układy rozrodcze**.

PODSTAWOWĄ JEDNOSTKĄ TAKSONOMICZNĄ JEST GATUNEK

Kulę ziemską zasiedla ogromna ilość organizmów żywych. Według ostrożnych szacunków samych zwierząt jest 1,5—2 mln gatunków. Pojęcie gatunku jest znane wszystkim, ale próba określenia jego znaczenia napotyka na poważne problemy. Przyjmujemy więc, że **gatunek** jest to grupa osobników wywodzących się od wspólnego przodka, wykazująca podobieństwa w budowie i czynnościach życiowych. Ponadto osobniki jednego gatunku mogą się ze sobą krzyżować, dając płodne potomstwo. Niektórzy systematycy uważają, że gatunek jest jednostką sztuczną, a w przyrodzie funkcjonują jedynie populacje. Nie wdając się w zawiłe rozważania przyjmujemy, że jest to bardzo użyteczne pojęcie, ponieważ gatunki możemy grupować w większe jednostki taksonomiczne. Dla większości uczniów systematyka jest po prostu nudna, trudno jednak zaprzeczyć, że jednocześnie umożliwia uprządkowanie posiadanej przez nas wiedzy.

CWICZ. 1. Narysuj bardzo ogólny schemat sylwetki jakiegoś zwierzęcia i wprowadź nań podstawowe układy narządów, tak żeby organizm ten mógł wykonywać wszystkie czynności życiowe.

2. Przypomnij sobie, jakich rodzajów systemów klasyfikacji oraz jakich jednostek taksonomicznych używa się do określania pozycji systematycznej zwierząt. Określ dokładną pozycję systematyczną wybranego stawonoga i ssaka.

1. Poziom jednokomórkowca

PIERWOTNIAKI SĄ NAJSTARSZYMI ZWIĘZETAMI ŚWIATA

Określenie czasu ich powstania jest praktycznie niemożliwe. Przyczyna jest prosta — niemal zupełnie brak możliwości zachowania się szczątków kopalnych. Zwykła logika każe nam przypuszczać, że pojawiły się najpóźniej w dolnym prekambrze. Najprawdopodobniej **najstarszymi zwierzętami są wiciowce**. Teżę taką wysunął E. Pescher jeszcze w 1914 r., ponieważ grupa ta wykazuje szereg cech pierwotnych. Przede wszystkim przejawia znaczące podobieństwa do glonów. Jest możliwe, że wśród przodków wiciowców doszło do rozdzielenia strategii życiowych. Generalnie, część „wybrała” autotofizm — z nich powstały rośliny zielone, reszta przeszła na całkowity heterotofizm (może przy nim po prostu pozostała?). Z tych ostatnich eukariontów wykształciły się niezależnie od siebie grzyby i zwierzęta. Świadectwem tego rozjęcia się dróg ewolucyjnych są do dzisiaj egzystujące gatunki, tzw. miksootroficzne, zdolne do odżywania się; auto- albo heterotroficznego, w zależności od warunków.

Kwestia pierwszeństwa wiciowców budzi jednak pewne zastrzeżenia. Przede wszystkim ich organellum ruchu — **włó** — ma bardzo zaawansowaną budowę wewnętrzną. Tymczasem przodkami wiciowców musiały być organizmy prokariotyczne, a w tej grupie nie ma tak skomplikowanych organelli (trzęski niektórych pалеczek możemy pominąć — mają zupełnie inną, prostsza budowę). Zostawmy jednak wątpliwości — dalsze rozważania i tak będą już spekulacją, czyślym teoretyzowaniem. Jeśli przyjąć, że najpierwotniejsze były wiciowce, to z nich powstały inne grupy pierwotniaków i zwierzęta wielokomórkowe (por. ROZDZ. 3 i Ryc. 1).

U pierwotniaków heterotroficznych nastąpiło uformowanie konstrukcji biologicznej, charakterystycznej dla zwierząt. Ewolucja zachodziła wśród tych form dwukierunkowo:

1. przez rozwijanie możliwości adaptacyjnych pojedynczej komórki. W ten sposób powstały różne grupy zwierząt określanych dzisiaj jako **pierwotniaki** (łac. *Protozoa*, por. niżej);
2. przez wytworzenie konstrukcji wielokomórkowej i rozwijanie możliwości, jakie daje specjalizacja różnych komórek jednego organizmu. W ten sposób powstały **zwierzęta wielokomórkowe** (łac. *Metazoa*).

Obie strategie mają swoje zalety i wady. Jeśli jednak za miarę sukcesu ewolucyjnego uznać liczbę form (tu gatunków), to okazuje się, że druga możliwość jest znacznie lepsza (szacunkowo 1,5—2 miliony gatunków). Pierwotniaków jest zaledwie (?) ok. 30 tysięcy gatunków.

Z wiciowców w drodze uproszczenia budowy powstały **zarodźcove** (mają prostszą budowę komórki, a więc pojawia się u nich tylko w stadium gamet). Wiele badaczy łączy zarodźcove i wiciowce w jedną jednostkę: *Sarcocystisgophora*. Prawdopodobnie z wiciowców powstały także **sporowce**. Świadczy o tym podobieństwo w budowie gamet, a także to, że większość przedstawicieli obu grup jest haplontami, tzn. mają tylko pojedynczy komplet chromosomów, czyli n.

Najwyżej uorganizowanymi pierwotnikami są bez wątpienia **orzęski**. One także wzięły swój początek od prymitywnych wiciowców. Orzęski są przykładem tego, co można maksymalnie osiągnąć w układach jednokomórkowych. Pierwotniki te posiadają bowiem bardzo sprawną aparaturę ruchu — **rzęski**. Ich budowa nie odbiega jednak od konstrukcji wici. Należy sądzić, że aparat rzęskowy powstał po prostu przez zwielokrotnienie liczby wici. Duże zdolności adaptacyjne orzęsków wynikają też z posiadania złożonego aparatu jądrowego. Pierwotniki te mają dwa różniące się jądra, wyspecjalizowane w pełnieniu odmiennych funkcji. Jedno odpowiedzialne jest za rozród, drugie za czynności wegetatywne (por. ROZDZ. 2). Wnętrze ich komórki także jest bardziej skomplikowane niż w innych pierwotnikach. Poza tym przechodzą specyficzny cykl życiowy, w którym nie ma klasycznego stadium gamet. Analizując dokładniej tę grupę, dowiesz się, czy rzeczywiście doszła ona do granicy możliwości rozwoju systemów jednokomórkowych.

Prosta konstrukcja biologicznej pierwotników ma jednak poważną wadę: otóż zwierzęta te są nietozierwalnie związane ze środowiskiem wodnym. Przy małych rozmiarach mają bardzo dużą powierzchnię względną. Powoduje to, że na powietrzu ich ciała natychmiast wysycha. Jeśli dodać do tego wspomniane wcześniej ograniczenia w możliwościach specjalizowania komórki, otrzymasz obraz najprostszyc zwierząt.

Przynależność pierwotników do świata zwierząt jest czasem kwestionowana, ponieważ w obrębie jednokomórkowców eukariotycznych często trudno wskazać granice wyraźnych podziałów systematycznych. Skłania to wielu badaczy do grupowania wszystkich tego typu organizmów w jedno, wspólne królestwo: *Protista*. W takim systemie klasyfikacji za zwierzęta (królestwo *Zoa*) uznaje się tylko wielokomórkowe zwierzęce. Rośliny tworzą zaś królestwo *Plantae*, a organizmy prokariotyczne królestwo *Monera*.

Polskie podreczniki bazują zwykle na prostszym podziale. Wyróżnia się w nim tylko dwa królestwa: *Procarysta* (beziądrowe) i *Eucarysta* (jądrowe). W takiej klasyfikacji wszystkie organizmy zwierzęce tworzą podkrólestwo *Zoa* (po prostu zwierzęta), które podzielono na dwa zespoły typów: *Protozoa* (wszystkie pierwotniki) i *Metazoa* (zwierzęta wielokomórkowe). Przyjmijmy więc, że ten sposób klasyfikacji jest obowiązujący.

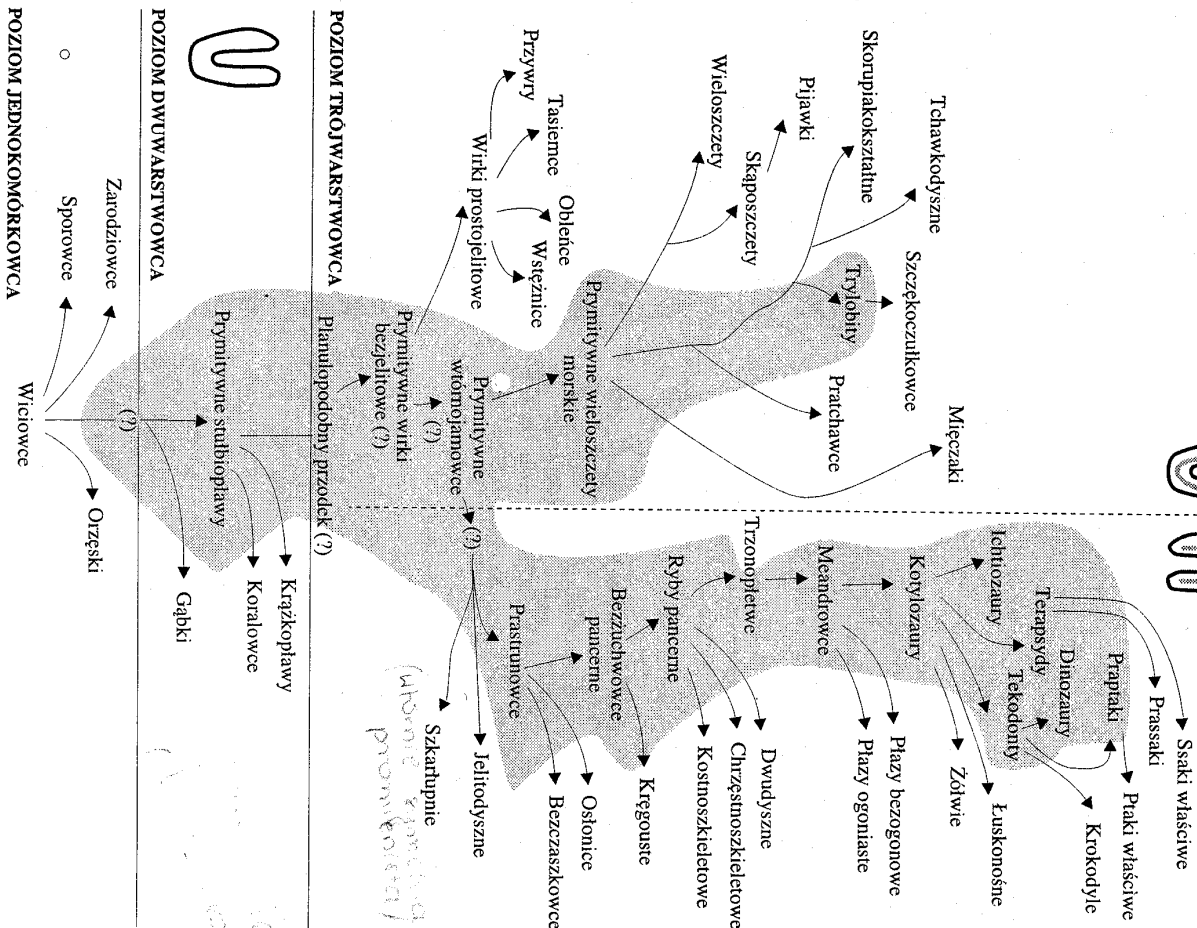
Poniżej zaprezentowane zostało ogólne drzewo rodowe zwierząt (por. Ryc. 1). Mam nadzieję, że będziesz z niego często korzystał w trakcie lektury tej książki. Wówczas pewne informacje powinny ułożyć Ci się w logiczny i zrozumiały ciąg wydarzeń. Zwróć uwagę, że pień (Zacieniony obszar) niemal w komplecie tworzą grupy wymarłe. Tak więc dzisiejszy świat to „gałęzie i liście bardzo starego drzewa”. I tylko jego „pierwotnikowe” korzenie mają się dobrze (wielu badaczy sądzi, że nie ma wśród nich grup wymarłych). To też świadczy o zdolnościach adaptacyjnych jednokomórkowców.

Pytania i polecenia kontrolne:

- *1. Uzasadnij słuszność tezy: „Najstarszymi zwierzętami świata są wiciowce”.
- *2. Omów kierunki ewolucji pierwotników heterotroficznyc.
3. Uzasadnij, że orzęski to najwyżej uorganizowane pierwotniki.
4. Spróbuj wyjaśnić, dlaczego pierwotniki muszą być nietozierwalnie związane ze środowiskiem wodnym.

Protostomia

Deuterostomia



Ryc. 1. Uproszczone drzewo rodowe zwierząt (wielonuruste przedstawiono nieco dokładniej). Symbole liczone oznaczają typy organizacji ciała.

2. Charakterystyka pierwotniaków

Zespół typów: **Pierwotniaki (Protozoa)**

nauka: **protozoologia**

Typ: **Wiciowce (Mastigota, Flagellata)**

Typ: **Zarodziowce (Sarcodina)**

Typ: **Sporowce (Sporozoa)**

Typ: **Orzęski (Ciliata)**

Budowa

Kształty pierwotniaków mogą być bardzo różne: od form prawie kulistych, przez wydłużone do pantofelkopodobnych i takich, które nieustannie się zmieniają. Trudno więc mówić o tym zagadnieniu. W zasadzie jednak u większości gatunków można wyróżnić przód i tył, czasem też stronę grzbietową i brzuszą. Pozostawmy więc przy stwierdzeniu, iż morfologicznie pierwotniaki są bardzo różnicowane. Dodajmy także, że rozmiary ich ciała wahają się od ok. 10 μm do kilku milimetrów (zależy to od gatunku, wieku i kondycji zwierzęcia).

CIAŁO PIERWOTNIAKÓW OKRYTE JEST PELLIKULĄ

Nie jest to zbyt odkrywcze stwierdzenie, ale z pewnością prawdziwe. **Pellicula** jest to błona komórkowa podścielona utworami błonastymi, np. spleaszczonymi pęczeryzkami, przez co uzyskuje się wzniesienie całej konstrukcji. U zarodziowców (np. ameby) i sporowców jest ona cienka i nie narzuca określonych kształtów. Pozwała także na poruszanie się ruchem ameboidalnym (por. niżej). U wyżej uorganizowanych, np. wiciowców pellicula jest znacznie grubsza i połączona, a ponadto posiada liczne usztywnienia w postaci włókien białkowych (por. Ryc. 2). Architektura pelliculi orzęsków jest najbardziej skomplikowana. Pierwotniaki te okryte są całym systemem połączonych, pęczeryzków i włókien, tworzących grubą, ale jednocześnie sprężystą warstwę. W sumie komórki wiciowców i orzęsków mają dość stałe kształty. Poza tym gruba pellicula uniemożliwia swobodne pobieranie pokarmu, stąd u orzęsków są specjalne pola, gdzie błona komórkowa jest cienka i nie tworzy połączonych. Służą one do odżywiania, wydalania i osmoregulacji (por. charakterystyka orzęsków). Wiciowce zaś odżywiają się holozotycznie — przez wchłanianie.

Wnętrze komórki wypełnia cytoplazma, którą najczęściej dzieli się na zewnętrzną ektoplazmę i leżącą w centrum endoplazmę.

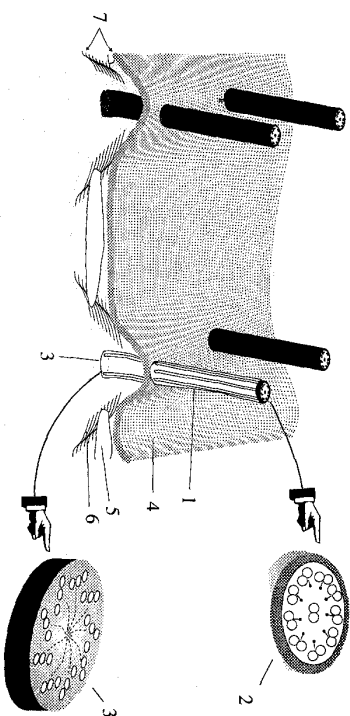
PIERWOTNIAKI POSIADAJĄ WYSPECJALIZOWANE ORGANELLA RUCHOWE

Strukturami tymi mogą być:

1. **Wić (flagellum)** lub **rzęska (cilia)**. Konstrukcyjnie są to twory identyczne. Rzęsek jest tylko znacznie więcej, są krótsze i połączone pod powierzchnią błony komórkowej włóknienkami białkowymi w aparat rzęskowy. Umożliwia on skoordynowany, falowy ruch całych zespołów rzęsek. Każda wić i rzęska ma część wolną, wystającą ponad powierzchnię komórki i część zanurzoną w cytoplazmie. W tej pierwszej mikrotubule (specjalne mikrorurczki zbudowane głównie z białka tubuliny) ułożone są w specyficzny sposób. Tworzą bowiem pary — 9

ułożonych obwodowo i 1 para osiowo (por. Ryc. 2). W części zanurzonej tubule centralne nie występują, a obwodowe ułożone są w układach potrójnych. Przesuwanie się mikrotubuli względem siebie umożliwia szybkie, biczycikowate ruchy omawianych organelli. U podstawy wici (i rzęsek) powstaje charakterystyczne **ciałko podstawowe** (kinetosom). Ruchy przy pomocy wici lub rzęsek nazywa się undulipodialnymi;

2. **Nibynóżki (pseudopodia)** — niektóre zarodziowce mają zdolność przелеwania cytoplazmy do różnych rejonów komórki. W ten sposób mogą w dowolnym miejscu tworzyć szerokie wypustki protoplazmatyczne. Pozwała to przemieszczać się ruchem pełzakowatym (ameboidalnym) lub „obiec” ciało potencjalnej ofiary (por. odżywianie).



Ryc. 2. Schemat fragmentu pokrycia ciała orzęsków — widoczne są cztery (ucięte) rzęski (1 — rzęska w części wolnej, 2 — powiększenie przekroju rzęski w widoczny układ mikrotubul $9(2) + 1(2)$), 3 — powiększenie przekroju ciałka podstawowego wici — widok układu mikrotubul $9(3) + 0$), 4 — połączona błona komórkowa, 5 — pęczeryżki będący elementem całego systemu kanałów podbłonowych, 6 — włóknienka białkowe, wzniesienie całej aparatu rzęskowego, 7 — strzałki pokazujące grubość pelliculi). Pamiętaj, że budowa rzęski i wici jest identyczna.

UWAGA: 1. Wici i rzęski u wszystkich *Eucaryota* (o ile dany organizm w ogóle je posiada) mają identyczną budowę. Jest to ważne dla rozważań ewolucyjnych.

2. W mikrotubulach, obok tubuliny, występuje specjalne białko — dyneina. To ona odpowiedzialna jest za procesy molekularne umożliwiające ruch wici.

Wymiana gazowa i krążenie

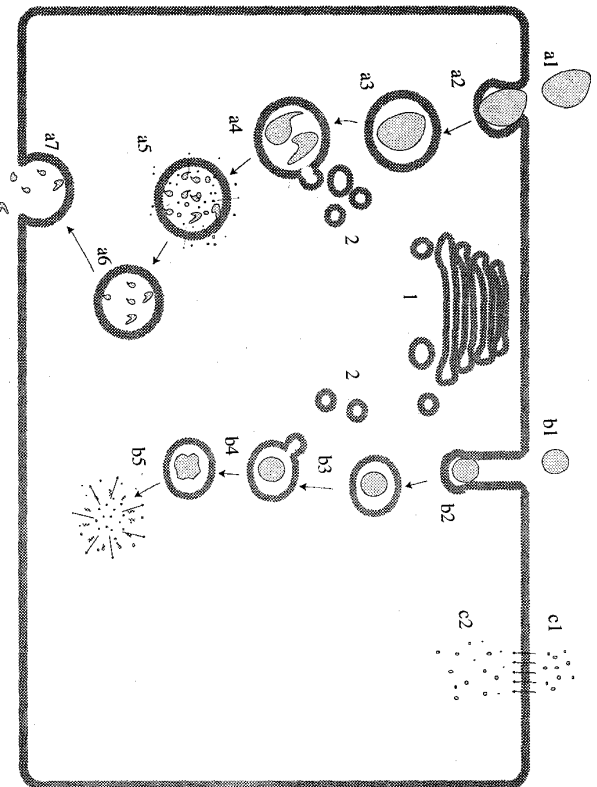
Mikroorganizmy wodne, takie jak pierwotniaki, mają dużą względną powierzchnię ciała (chodzi o stosunek powierzchni do objętości). Dzięki temu mogą oddychać na drodze zwykłej dyfuzji. Małe rozmiary nie stawiają także wymogu posiadania układu krążenia — wystarczy tu ruch cytoplazmy i normalne funkcje kanałów retikulum endoplazmatycznego.

Odżywianie

PIERWOTNIAKI SĄ ZASADNICZO HETEROTROFAMI

Z pewnością nie dziwi to nikogo — w końcu pierwotniak „jeź zwierzę”. Klopot w tym, że część wiciowców może dodatkowo odżywiać się autotroficznie, stąd znane Ci już pojęcie miksofitizmu. Jest to zdolność cechująca tzw. wiciowce roślinne (przez botaników nazywane po pro-

stu glonami). Jednak zdecydowana większość gatunków pierwotników, żartobliwie mówiąc, „uczciwie uprawia cudzozywność”.



Ryc. 3. Sposoby odżywiania się pierwotników heterotroficznych. Cyląg a1 do a7 przedstawia fagocytozę, b1 do b5 pinocytozę; natomiast c1 → c2 wchłanianie (a1 — duża cząstka pokarmowa, a2 — wpu- klenie plazmidy, a3 — fagosom, a4 — dołączanie lizosomów i powstanie wczesnej wakuoli trawiennej, a5 — lizosom włóknny i przenikanie strawionych składników do cytoplazmy, a6 — ciałko reszkowe, zawierające niestrawione resztki pokarmowe, a7 — zlewanie się błony ciałka reszko- wego z plazmademą i usuwanie niestrawionych resztek poza komórkę; b1 — drobna cząstka pokar- mowa, b2 — powstawanie pęcherzyka pinocytarnego na końcu kanału błonowego, b3 — dołączanie lizosomów i powstawanie wakuoli trawiennej, b4 — trawienie i b5 — rozpraszanie wakuoli wraz z zawartością w cytoplazmie, c1 — proste substancje organiczne poza komórką, c2 — te same sub- stancje rozpraszające się w cytoplazmie; 1 — aparat Golgiego, 2 — lizosomy).

Przyjmowanie pokarmu przez te pierwotniki może odbywać się trzema sposobami, na zasadzie (por. Ryc. 3):

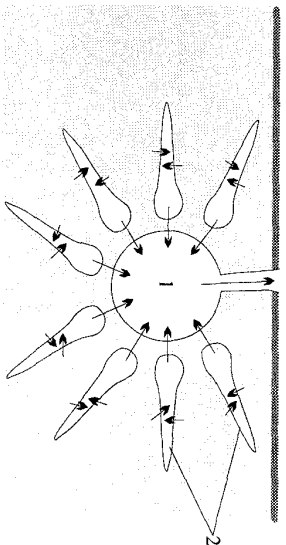
1. **Fagocytozy** — jest to pobieranie i trawienie dość dużych obiektów (np. bakterii, okrzemek, a nawet innych, mniejszych niż drapieżca pierwotników). Niestrawione resztki usuwane są poza komórkę przez zlanie się wakuolki pokarmowej z plazmademą;
2. **Pinocytozy** — jest to pobieranie i trawienie pojedynczych drobni, np. białka lub tłuszczu. Odmienność tego sposobu od poprzedniego polega m.in. na tym, że tutaj cząstka pokarmowa ulega całkowitemu strawieniu i wchłonięciu wraz z błoną wakuolki pokarmowej;
3. **Wchłaniania** — większość pierwotników może pobierać proste, nie wymagające trawienia związki organiczne bezpośrednio z otoczenia (odżywianie holozoiczne, od gr. *holos* — cały). Uczestniczą w tym specjalne białkowe przenośniki błonowe, które mogą np. transportować glukozę.

Pinocytozę i fagocytozę nazywamy **endocytozami**. U gatunków pokrywanych pelliculą endo- cytozy możliwe są tylko w specjalnych miejscach. U orzęsków takie miejsce nazywamy gębą ko- mórkową — *cytostomem*. Z kolei usuwanie niestrawionych resztek pokarmowych odbywa się u nich przez *cytopogę* (por. Ryc. 9 A).

Wydalanie

Niewielkie tempo przemian wewnętrznych i duża powierzchnia względna powodują, że zbędne i szkodliwe produkty przemiany materii usuwane są w drodze dyfuzji. Pamiętaj jednak, że wydalenie zbędnych i szkodliwych produktów przemian metabolicznych to nie to samo, co usuwanie resztek pokarmowych. Te pierwsze są bowiem ubocznymi produktami przemian me- tabolicznych. Przykładowo — nie ma racjonalnego sposobu magazynowania nadmiaru związków azotowych takich jak amoniak. Część zwierząt nie może go dalej ani przetabiać, ani magazyno- wać. O ile jest to więc możliwe, natychmiast wydalą amoniak poza organizm!

Inaczej ma się sprawa z bilansem wodnym. Otóż pierwotniki morskie i pasyżnicze zwy- kle nie muszą regulować ilości wody i związków mineralnych. Wynika to z tego, że ich płyn komórkowy jest izotoniczny z otoczeniem. U gatunków słodkowodnych (niezależnie od przyna- leżności systematycznej) występuje zjawisko **osmozy** — woda nieustannie migruje z hypoto- nicznego środowiska do wnętrza komórki. Grozi to wręcz rozwarstwieniem struktury we- wnętrzkowej i całego organizmu. Rozwiązaniem są tu **wodniczki** (wakuole) **tętniące** (por. Ryc. 4). Ich liczba i rozmieszczenie to cechy gatunkowe (może być od jednej do kilkun- astu). Niekiedy wyglądają jak małe „słoneczka”, ponieważ posiadają do- datkowy system kanałów. W wakuo- lach tętniących gromadzi się nadmiar wody. Po wypełnieniu tworzy te kureczą się gwałtownie i wyrzucają swoją za- wartość na zewnątrz i tak „w kółko”.



Ryc. 4.
Wakuola tętniąca (1) — pęcherzyk central- ny, 2 — kanały pomocnicze; strzałki wskazu- jąć kierunek przepływu wody).

Większość pierwotników w warunkach wysuszenia potrafi otoczyć się grubą osłonką, odwo- dnić cytoplazmę i przejść w stan uspienia (**anabiozy**). Dla tak małych organizmów jest to jedyny sposób na przetrwanie nawet długotrwałych okresów braku wody w otoczeniu.

Rozród

PIERWOTNIKI MOGĄ ROZMAŃNĄĆ SIĘ PŁCIOWO I BEZPŁCIOWO

W świecie jednokomórkowców możliwość rozmnażania się drogą bezpłciową i płciową jest powszechna. Ten pierwszy sposób polega na zwykłym podziale mitotycznym komórki. Po- wstają więc dwie komórki potomne o jednakowym „wyposażeniu” genetycznym i ogólnobio- logicznym. Tego typu strategia prowadzi do szybkiego zwiększenia liczby osobników danego gatunku. Wada jest tu brak zmienności genetycznej (zastanów się, dlaczego?). Podział może mieć charakter podłużny (u wiciowców) lub poprzeczny (u orzęsków). U zmiennościowych zarodniowych trudno byłoby mówić o osi podziałowej.

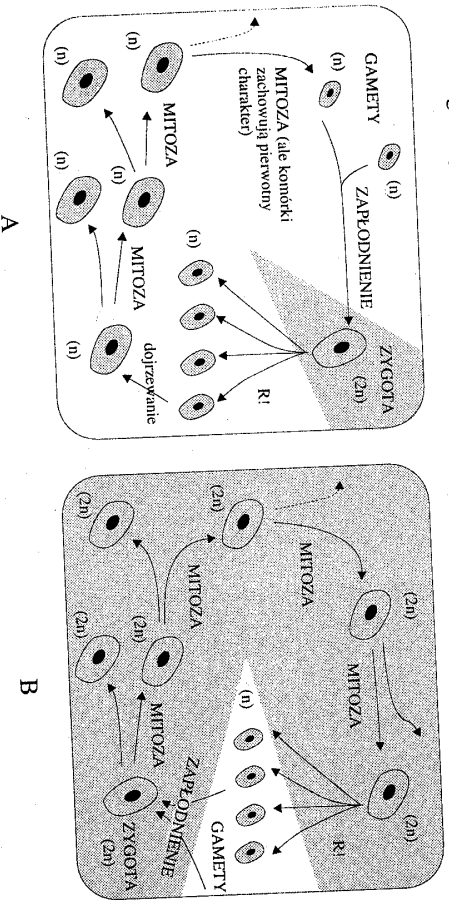
Dopiero bardziej skomplikowany i trudniejszy rozród płciowy prowadzi do tworzenia nowych kombinacji materiału genetycznego. Gamety pochodzą od różnych osobników, a poza tym w czasie ich tworzenia następuje rekombinacja, czyli mieszanie materiału genetycznego (więcej informacji na ten temat uzyskasz w kl. III lub IV). Zapłodnienie i powstanie zygoty oznacza więc pojawienie się nowej (być może lepszej, choć jest to kwestia przypadku) kombinacji genów. I tylko te układy genów, które zapewniają ich właścicielom odpowiednią sprawność adaptacyjną w warunkach naturalnych, umożliwiają przetrwanie i zostawienie potomstwa.

WIELE PIERWOTNIKÓW PRZECHODZI ZŁOŻONE CYKLE ŻYCIOWE

Wśród pierwotników występują formy zarotno haplo- jak i diploidalne. Gatunki haploidalne przechodzą cykl życiowy, w którym dominuje **haplofaza** (por. Ryc. 5 A). U takich pierwotników w pewnych warunkach część osobników spełnia funkcje gamet i łączy się ze sobą, tworząc diploidalne zygoty. Te ostatnie przechodzą **mejozę pozapłodnieniową** (postgamiczną), która prowadzi do wytworzenia komórek haploidalnych. Po dojrzewaniu stają się one zwykłymi osobnikami troficznymi, które rozmazają się bezpłciowo.

U diploidów rzecz przedstawia się inaczej (por. Ryc. 5 B). Aby powstały haploidalne gamety, mejoza musi zajść w komórkach troficznym (tyle, że przygotowanym do tego podziału). Powstałe gamety mogą łączyć się w procesie zapłodnienia. Zygota po dojrzewaniu staje się normalnym osobnikiem troficznym. Jak widać w tym przypadku mamy do czynienia z **mejozą przedzapłodnieniową** (pregamiczną), a w cyklu życiowym dominuje **diplofaza**.

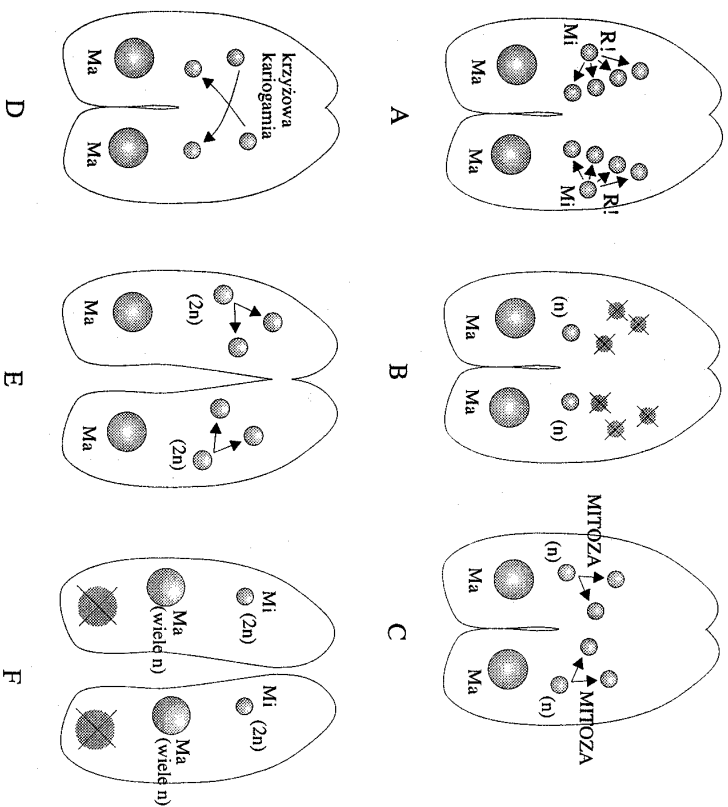
UWAGA: Niemal wszystkie organizmy wielokomórkowe są diploidami. Zastanów się, dlaczego tak jest?



Ryc. 5. Cykle życiowe pierwotników haploidalnych (A) i diploidalnych (B). Diplofazę zaciemniono.

Zupełnie inaczej przebiega rozród płciowy u orzęsków. Nie można tu mówić o wywarzaniu gamet (gamogonii). Ta grupa pierwotników zwiększa różnorodność genetyczną w drodze procesu płciowego nazywanego **konjugacją**. Odmienność tego rozwiązania polega na tym, że i przed, i po całym procesie mamy do czynienia z dwoma osobnikami (por. tekst niżej i Ryc. 6).

W czasie konjugacji dochodzi do wytworzenia moszka cytoplazmatycznego pomiędzy dwoma orzęskami, a mikronukleus (Mi) przechodzi mejozę (Ri). Z powstałych czterech jąder haploidalnych trzy zanikają, a czwarte dzieli się mitotycznie na dwa pronukleusy: stacjonarny (jak gdyby komórka jajowa) i migracyjny (spełniający rolę plemnika). Jądra migracyjne wędrują i zapładniają krzyżowo jądra stacjonarne. Powstałe jądra zygotyczne dzielą się mitotycznie i w każdej komórce powstają dwa jądra diploidalne. Jedno pozostanie bez zmian i nazywać się będzie mikronukleusem. Drugie powielokrotni ilość DNA i powstanie z niego polidiploidalny makronukleus (Ma). W tym czasie stary Ma rozpada się i zanika. Redukcji ulega także mostek cytoplazmatyczny. W ten sposób mamy nadal do czynienia z dwoma osobnikami tyle, że każdy zawiera połowę informacji genetycznej drugiego.



Ryc. 6. Konjugacja u orzęsków (A — mejoza w mikronukleusach, B — zanik trzech z czterech jąder haploidalnych, C — mitoza w jądrach haploidalnych — powstają po dwa pronukleusy: stacjonarny i migracyjny, D — krzyżowa wędrownka pronukleusów migracyjnych i kariogamia — zlane się pronukleusa migracyjnego jednego osobnika z pronukleusem stacjonarnym drugiego, E — podział mitotyczny nukleusów zygotycznych w rozdzielających się komórkach, F — mikronukleus i nowy makronukleus, stary makronukleus zanika).

UWAGA: U niektórych gatunków Ma zanika przed rozpoczęciem konjugacji, stąd pewne różnice w trybach, pochodzących z odmiennych źródeł.

Wrażliwość**PIERWOTNIKI SĄ ZDOLNE DO ODBIORU I REAGOWANIA NA BODŹCE**

Inaczej mówiąc organizmy te są **wrażliwe na sygnały docierające ze środowiska**. Ogólnie odbywa się to na zasadzie elektrycznej. Dodajmy też, że tak samo odbierają i przewodzą impulsy wszystkie żywe komórki (w tym także nerwowe; dokładne zjawiska te poznasz w Kl. III).

Możliwość odbierania bodźców zewnętrznych żywe komórki zawierają **polaryzacji błony komórkowej**. Wynika to z tego, że w plazmalemie znajdują się białkowe przenośniki transportujące aktywnie dodatnie jony sodu i potasu. Skutkiem jest asymetryczne rozmieszczenie tych jonów po obu stronach błony komórkowej. Różnice w stężeniach tych jonów i ich elektryczności powodują, że wytwarza się różnica potencjału elektrycznego pomiędzy zewnętrzną powłóczką błony a wewnętrzną. To właśnie jest stan polaryzacji spoczynkowej. Dopiero gdy na błonę zadziała jakiś bodziec, np. mechaniczny lub chemiczny, dochodzi do otwarcia specjalnych kanałów jonowych, którymi jony sodu i potasu mogą się szybko przemieszczać. Prowadzi to do skrócenia różnicy stężeń i potencjałów — nazywamy to **depolaryzacją**. Stan ten ma tendencję do rozprzestrzeniania się wzdłuż błony jako tzw. **fala depolaryzacyjna**. Praktycznie można mówić o przemieszczaniu się słabego impulsu elektrycznego po powierzchni błony komórkowej. Porządkują go jak specjalny rodzaj sygnału przekazywanego z jednego miejsca w inne. Z kolei zmiana stanu elektrycznego pozwala komórce na wykonanie odpowiedniej reakcji, najczęściej ruchowej, którą nazywamy **taksją**. Pojęcie taksji nie odnosi się wyłącznie do pierwotniaków. Ogólnie oznacza ono ruch lokomocyjny organizmu (układu) jednokomórkowego w kierunku do lub od bodźca. Taksją będzie więc także, np. ruch jednokomórkowych glonów, a nawet plemników. Bodźce mogą być różne, stąd np. fototaksje, chemotaksje.

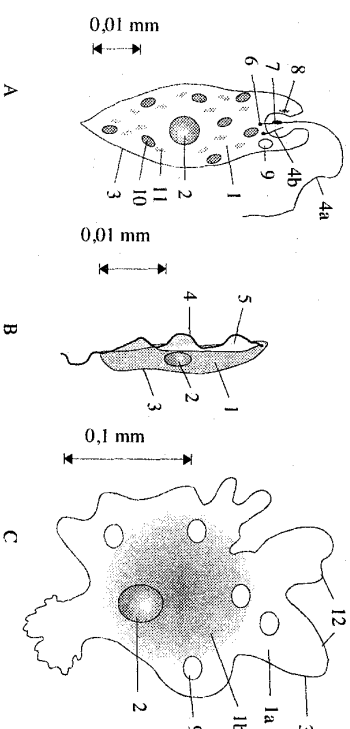
Niektóre pierwotniaki (szczególnie młkosotroficzne) posiadają specjalne organella, umożliwiające percepcję wrażeń świetlnych. Najbardziej znana jest **czzerwona plamka oczna (stigma)**, która osłania właściwy **fotoreceptor**, leżący u podstawy wici eugleny zielonej.

Przebieg i znaczenie pierwotniaków

1. Typ: **Wielowce**. Są to pierwotniaki poruszające się przy pomocy wici (jednej lub kilku). Zwykle są **jednogałdrowymi haplontami**, rozmnażającymi się przez podział podłużny. Część z nich zdolna jest do autotrofii, np. znana Ci euglena zielona. Substancjami zapasowymi u tych pierwotniaków są wielocukry: skrobia, paramylon (swoisty) i pochodne tłuszczowców, np. leukozyna (swoista). Większość wielowców ma wodniczkę tętniącą. Do najbardziej znanych należą młkosotroficzne **eugleny** (por. Ryc. 7 A) i **bruzdnice**. Wśród wielowców zwierzęcych zwracają uwagę liczne gatunki pasyżnicze (badaniem zwierząt pasyżniczych zajmuje się **parazytologia**). Pierwotniaki pasyżnicze mają duże znaczenie medyczne i gospodarcze, szczególnie w krajach tropikalnych:

- a) świrdowce — pasyżnicy krwi ssaków (por. Ryc. 7 B);
- **świrdowiec gambijski** (*Trypanosoma gambiense*) wywołujący **śpiączkę**. Przenosi-cielem (inaczej wektorem) tego pasyżowca jest **mucha tse-tse** (głównie gatunek *Glossina palpalis*). Cykl rozwojowy tego świrdowca związany jest z obszarami i innymi Afryki równikowej, leżącymi nad wodami;
- **świrdowiec rodezyjski** (*Trypanosoma rhodesiense*) — wywołuje odmianę śpiączki (praktycznie jej objawy są takie same jak w przypadku zarazenia poprzednim gatunkiem). Występuje w Afryce równikowej, ale na terenach sawanowych. Ten gatunek świrdowca przenoszony jest głównie przez muchę *Glossina morsitans*;

- **Trypanosoma brucei** — afrykański gatunek, wywołujący chorobę o nazwie **nagana**. Zarazane są m.in. konie, bydło i świnię;
- **Trypanosoma equiperdum** — pasyżyc ten występuje m.in. u koni, osłów, mułów. Przenoszony jest drogą płciową. Choroba wywoływana przez ten gatunek nazywana jest **zarazą stadniczą** (choroba durina). Obecnie w Europie nie występuje.



Ryc. 7. Przykłady pierwotniaków: euglena (A), świrdowiec (B) i petrak (C) (1 — cytoplazma, 1a — ektoplazma, 1b — endoplazma, 2 — jądro komórkowe, 3 — błona komórkowa lub pellicula, 4 — wici, 4a — długa wici, 4b — krótka wici, 5 — błonka fałdowata, 6 — ciałko podstawowe wici, 7 — fotoreceptor, 8 — stigma, 9 — wakuola trawienna, 10 — ziarna paramylonu, 11 — chloroplasty, 12 — nibyżółtki).

— **Trypanosoma evansi** — szeroko rozpowszechniony w paśmie zwrotnikowym (nawet w południowej Europie). Wywołuje chorobę **surre** — zapadają na nią konie, wielbłądy, słonie, bydło itd. Wektorami są kleszcze, baki i nietoperze wampiry;

— **Trypanosoma cruzi** — występuje w Ameryce Południowej gdzie wywołuje chorobę **Chagasa**. Wektorami są różne gatunki pluskwiaków. Schorzenie to objawia się arytmią i zapaleniem serca. Dla osób starszych choroba ta może być niebezpieczna;

b) leishmanie — pasyżnicy człowieka:

— **Leishmania tropica** — wywołuje **pendynkę** (wrzód wschodni). Jest to choroba skóry szeroko rozpowszechniona w pasie międzyzwrotnikowym. Wektorami są moskity;

— **Leishmania donovani** — wywołuje chorobę **kala-azar**. Pierwotniak atakuje węzły chłonne, co prowadzi m.in. do spadku liczby leukocytów, a nawet do śmiertci;

c) **lamblia** (*Lamblija intestinalis*) — pasyżyc człowieka i szczura. Wywołuje choroby wątroby, dwunastnicy i trzustki;

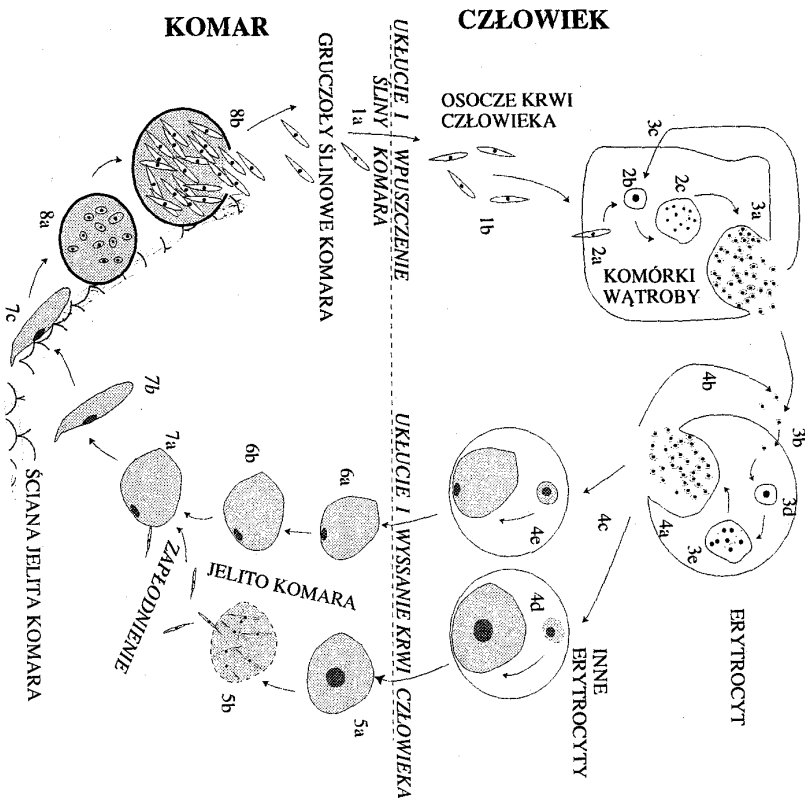
d) **rzęsikostek pochwowy** (*Trichomonas vaginalis*) — pasyżyc dróg rodnych kobiet. Wywołuje chorobę rzęsikowicę. Przenoszony jest drogą płciową. Przyczyną może być także brak higieny;

e) rodzaj **Calonympha** — akurat te wiciowce są symbiontami, które umożliwiają termion trawienie celulozy. Ich badaniem zajmował się K. Janicki — polski protozoolog.

2. Typ: **Sporowce**. Są to haploidalne pasyżycy o uproszczonej budowie. Często przechodzą złożone cykle rozwojowe. Przykładem jest *Plasmodium* (zarodziec malarii — **znane są cztery gatunki**) Czołwek jest dla niego żywicielem pośrednim (por. Ryc. 8). **Uklucie przez komara widli-szka** (z rodzaju *Anopheles*) wprowadza do krwi małe sporozycy, które **wędrują** z jej prądem i

osadzają się w wątrobie. Tam przekształcają się w schizonty, które w drodze podziałów mitotycznych (tu schizogoni) dzielą się na drobne merozoitów. Te ostatnie wnikają do krwinek czerwonych i zapoczątkowują tzw. stadium endoerytrocytarne rozwoju.

UWAGA. Organizm, w którym rozwijają się stadia larwalne danego pasożyta nazywany jest **żywcielem pośrednim**, natomiast ten, gdzie pasożyt odbywa końcowy etap rozwoju związany z rozrodem płciowym — **żywcielem ostatecznym**.

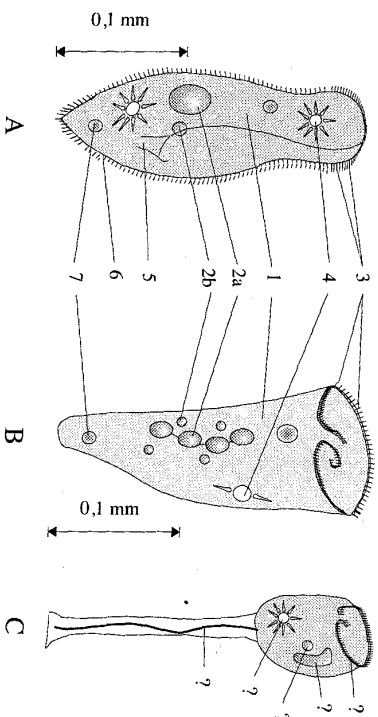


Ryc. 8. Cykl rozwojowy zarodźca malarii (1a — sporozoitów w ślinie komara, 1b — sporozoitów w osoczku krwi człowieka, 2a — sporozoit wnikający do komórki wątrobowej, 2b — młody schizont, 2c — rosnący schizont z licznymi jądrami, 3a — schizont rozpadowy się na merozoitów, 3b — merozoit atakujący czerwony krwinek, 3c — merozoit atakujący ponownie komórki wątroby i przekształcający się w schizonty, 3d — młody schizont krwinkowy, 3e — rosnący schizont krwinkowy, 4a — schizont rozpadowy się na merozoitów, krwinka ulega zniszczeniu, 4b — merozoit atakujący kolejne erytrocyty, 4c — po kilku pokoleniach schizogonicznych część merozoitów atakuje inne erytrocyty, 4d — w części z nich merozoitów przekształcają się w mikrogametocyty, 4e — w części zaś w makrogametocyty, 5a i 6a — wysuszenie mikro- i makrogametocytów wraz z krwią chorego człowieka, 5b — powstanie uwicionych mikrogamet, 6b — powstanie makrogamet, 7a — tworzenie zygoty, 7b — oklineta, 7c — oklineta opuszcza światło jelita i wstępuje w jego ścianę, 8a — powstawanie oocysty, czemu towarzyszy mejoza postgamiczna i liczne mitozy, 8b — dojrzalsza oocysta uwadnia do jamy ciała liczne sporozoitów, które wędrują do gruczołów ślinowych komara).

Dojrzewające merozoitów, nazywane teraz **schizontami**, prowadzą do jednoczesnego uszkodzenia wielu erytrocytów (stąd ataki zimnicy, gorączka i osłabienie). Dzielą się one na kolejne merozoitów i tak „w kółko” (w ten sposób many powtarzają się nawroty choroby). Nazwa malarria trzeciaczka bierze się stąd, że ataki choroby powtarzają się co 48 godzin, czyli co trzeci dzień (gatunek: *P. vivax*). Analogicznie — malarria czwartaczka cechuje się atakami choroby powtarzającymi się co 72 godziny, czyli co czwarty dzień (gatunek: *P. malariae*). Po kilku pokoleniach bezpłciowych przekształca się w gametocyty (komórki dające początek gametom). W ciele komara, który wyszał krew zarażonego człowieka, część gamontów przekształci się w makrogamety, reszta w mikrogamety. Po zapłodnieniu powstaje diploidalna, ruchliwa zygota (ooklineta). W ścianie jelita komara ulega ona przekształceniu w dużą oocystę. W niej zaś zachodzi mejoza postgamiczna, a następnie liczne mitozy. W ten sposób powstaje bardzo wiele sporozoitów, które wędrują do gruczołów ślinowych. Jeśli teraz samica komara (tylko one potrafią ssać krew) ukłuje człowieka, cykl rozpoczyna się od nowa. Do sporowców należy też gatunek *Toxoplasma gondii*. Jest to pasożyt kotów (żywciele ostateczni) oraz niektórych ssaków i ptaków (żywciele pośredni). Niebezpieczeństwo polega na tym, że zarażać się może także człowiek. U dorosłych pierwotniak ten zwykle nie wywołuje groźnych objawów, jednak jest bardzo niebezpieczny dla rozwijającego się płodu (może wywołać m.in. porażenie mózgowie). Kobiety w ciąży powinny więc unikać kotów!

3. Typ: **Zarodźcowce** — są to jedno- lub wielojądrowe pierwotniaki poruszające się przy pomocy nibynóżek (por. Ryc. 7 C). Należą do nich m.in. **ameby** (np. duża, bo osiągnąca 600 µm, *Amoeba proteus*), **otwornice** i **promienie**. Niektóre okryte są panczykami wapiennymi lub krzemowymi o przepięknych kształtach. Ameba z gatunku *Entamoeba coli* (pełzak okężnicy) jest zasadniczo nieszkodliwym komensalem naszych jelit. Natomiast **ameba czerwoni** (*E. histolytica*, pełzak czerwoni) jest groźnym pasożytem chorobotwórczym jelita grubego. Gatunek ten występuje w dwóch odmianach. Jedną z nich, tzw. formę **magna**, pasożytuje pod błoną śluzową jelit. W zatakowanych miejscach powstają owrzodzenia, czego skutkiem są m.in. silne, krwawe biegunki. Taki zespół chorobowy nazywa się **czerwoną pełzakowatą** (amebiozą, dezenterią, pełzakowicą). Zarażenia najczęściej występują w krajach o klimacie tropikalnym, głównie na skutek braku higieny (np. przez picie nieprzegotowanej wody).

4. Typ: **Orzęski** — grupa najwyższej uorganizowanych pierwotniaków. Przykładami mogą być znane Ci jeszcze ze szkoły podstawowej: **pantofelek** (*Paramecium*), **trąbik** (*Stentor*), **małzynek** (*Stylonychia*) czy **wirczyk** (*Vorticella*) (por. Ryc. 9).



Ryc. 9. Przykłady orzęskow: pantofelek (A), trąbik (B) i wirczyk (C) (1 — cytoplazma, 2a — makronukleus, 2b — mikronukleus, 3 — aparat rzęskowy, 4 — wodniczka tętniąca, 5 — cyto stom, 6 — cytopogę, 7 — wodniczka pokarmowa czyli trawienia).

- CWICZ. 1.** Wykonaj obserwację mikroskopową żywych pierwotniaków (ameby, eugleny i pantofelki). Zastanów się, skąd pobrać materiał. Przenalizuj budowę komórek (nie szukaj w nich jąder komórkowych, gdyż są za mało widoczne) oraz ruchy lokomocyjne. Porównaj to, co zaobserwujesz, z rycinami w podręczniku — pamiętaj, że są one tylko modelami.
2. Uzupełnij miejsca oznaczone na Ryc. 9 C znakami zapytania.

PODSUMOWANIE

Do pierwotniaków zaliczamy zwierzęta wykazujące następujące cechy:

1. Całe ciało stanowi **pojedyncza, jedno- lub wielojądrowa komórka**;
2. Rozmiarzy większości gatunków są mikroskopijne;
3. Podstawę konstrukcyjną tworzą: cytoplazma i jądro oddzielone od środowiska pellikulą;
4. Większość wykazuje zdolność do wykonywania ruchów lokomocyjnych (aktywnego przemieszczania się), organellami ruchu mogą być: **wici**, **rzeszki** lub **nibynóżki**;

Pytania i polecenia kontrolne:

1. Przedstaw ogólną charakterystykę budowy i funkcji pierwotniaka.
2. Na wybranych przykładach wykaż morfologiczne różnicowanie pierwotniaków.
3. Jakże znasz sposoby odżywiania się pierwotniaków? Omów je i wykaż zasadnicze różnice między nimi.
4. Omów różnice w budowie pellikuli pantofelki i ameby. Jaki ma to wpływ na sposób pobierania pokarmu?
5. Przedstaw schematycznie i opisz cykl rozwojowy pierwotniaka, którego faza troficzna jest haploidalna.
6. Narysuj schematycznie przekroję poprzeczny przez wicę eugleny. Omów budowę wici.
7. Jaka rolę pełnią: makro- i mikronukleus u pantofelki?
8. Jakże są drogi i sposoby zarażenia człowieka pierwotniakami chorobotwórczymi? Podaj kilka przykładów.
9. Na wybranych przykładach omów skutki zarażenia pierwotniakami chorobotwórczymi.
10. Porównaj budowę błony komórkowej przedstawicieli różnych grup pierwotniaków.
11. Na podstawie informacji podręcznikowych spróbuj narysować schemat spoiaryzowanej błony komórkowej pierwotniaka.
12. Uzupełnij schemat cyklu rozwojowego zarodźca malarii: sporozycy → schizonty → ... → ... → gametocyty → ... → ookinetę → ... → sporozycy
13. Jakiego rodzaju choroba dziedziczna, występująca w populacji rdzennych mieszkańców Afryki równikowej daje odporność na infekcję zarodźca malarii?
14. Wykaż różnice w przebiegu choroby pomiedzy malarią trzeciaczką i czwartaczką. Czym są spowodowane?
15. Przedstaw w postaci uproszczonego schematu przebieg fagocytozy u wybranego pierwotniaka. Porównaj różne postaci endocytoz.
16. Uzasadnij, że euglena zielona jest organizmem łączącym cechy roślinne i zwierzęce.
17. Dlaczego pierwotniaki zostały wyłączone przez niektórych systematyków z królestwa zwierząt?

3. Powstanie wielokomórkowców zwierzęcych

PIERWSZE WIELOKOMÓRKOWCE ZWIERZĘCE POWSTAŁY JUŻ W PÓŹNYM PREKAMBRZE

Nie wiemy dokładnie, jak przebiegał ten ważny proces. Wydaje się, że przejściowym stadium mogły tu być kolonie prymitywnych pierwotniaków, ale jest to tylko jedna z możliwych hipotez. Ewolucja takich form mogła iść dwutorowo — równoległe w stronę:

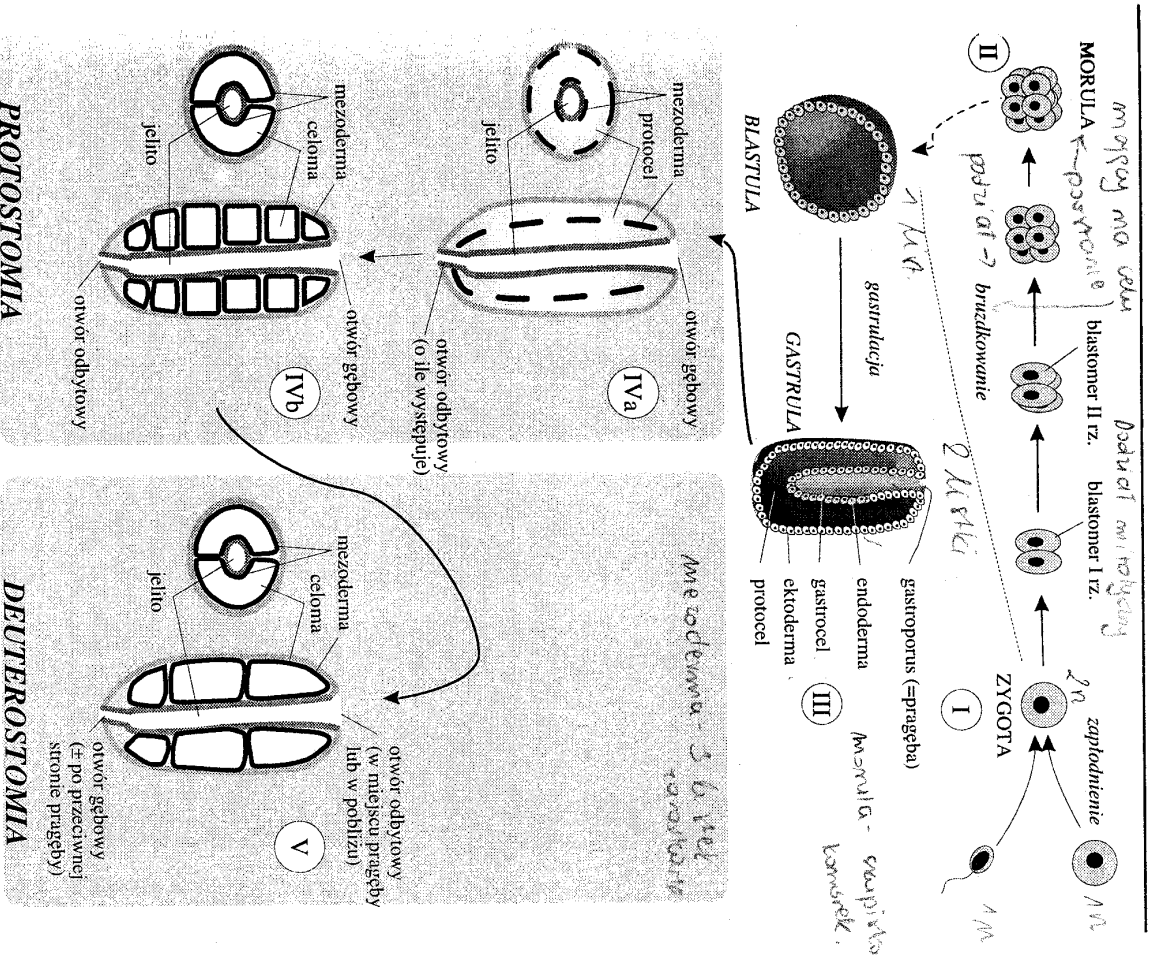
1. Zwiększenia specjalizacji komórek — jeśli w zespole każdy wykonuje tylko określone zadanie, może to robić lepiej!
2. Ograniczenia samodzielności komórek. Stopniowo stawałyby się one coraz bardziej zależne od innych i w ten sposób byłoby tylko ważną częścią większej całości.

Zasadniczym kosztem takiej strategii jest zwiększenie zapotrzebowania pokarmowego. Zależąca są natomiast większe możliwości adaptacyjne (tak jak ze zbioru złożonego z wielu różnorodnych części można zbudować bardziej skomplikowane urządzenia). W praktyce ten rodzaj strategii życiowej okazał się niezwykle „twórczy”.

ŚLADEM EWOLUCJI WIELOKOMÓRKOWCÓW JEST WARSTWOWOŚĆ KOMÓREK W ZARODKACH

Pierwsze zwierzęta wielokomórkowe nieznacznie tylko różniły się od kolonijnych pobratymców. Jednak różnicowanie się grup komórek już w zarodkach umożliwiał im stopniowy wzrost złożoności funkcji życiowych. Komórki takie mogły (choć nie musiały) dalej się specjalizować, co doprowadziło do powstania **zwierząt tkankowych**. Żeby lepiej zrozumieć istotę tych przemian, prześledzimy teraz rozwój osobniczy (**ontogenezę**) nie istniejącego, modelowego zwierzęcia (por. Ryc. 10 A oraz 10 B). Dla uproszczenia przedstawimy tę analizę w punktach:

1. Zapłodnienie i powstanie **zygoty**. Można przyjąć, że jest to stadium jednokomórkowca diploidalnego. Gdyby ta komórka zwiększyła swoje rozmiary, liczbę organelli, wyspecjalizowała części komórki i wykształciła aparat ruchu, to powstałby wysoko uorganizowany pierwotniak. W analizowanym tutaj przypadku zygotę zachowuje jednak pierwotny (tu embryonalny) charakter i nie wykazuje specjalizacji.
2. Podziały mitotyczne zygoty prowadzą do powstania **blastomerów** (pierwotnych, embryonalnych komórek potomnych). Po pierwszej mitozie wykształcają się dwa blastomery I-go rzędu, po drugim podziale cztery blastomery II-go rzędu itd. Jeśli ich liczba wzrośnie do kilkudziesięciu, utworzą one grudek niezróżnicowanych komórek, czyli **morulę** (przy pewnej dozie wyobraźni można porównać ten etap rozwoju do stadium kolonii);
3. Dalsze podziały i ruchy komórek (tzw. morfogenetyczne) prowadzą do powstania jednowarstwowej, płcierytkopodobnej **blastuli** (nie ma jej odpowiednika wśród dorosłych zwierząt). Ma ona już ścianę (blastodermę) i pierwotną jamę ciała — **blastocel**. Ta ostatnia zachowuje się u niektórych osobników dorosłych — nazywa się ją wówczas **protocelem**. Przyjmijmy umownie, że od tego etapu rozwoju będziemy już mieli do czynienia ze **zwierzętami wielokomórkowymi** (zespół typów *Metazoa*);



Ryc. 10 A. Schemat rozwoju zwierzęcia modelowego, oddający (w dużym uproszczeniu) zasadnicze plany budowy zwierząt: I — zygota (odpowiednik poziomu jednokomórkowca), II — morula (odpowiednik stadium kolonii), III — wczesna gastrula (odpowiednik stadium dwuwarstwowca), IVa — późna gastrula zwierzęcia pierwotnego, pierwotnego (odpowiada stadium trójwarstwowca (protocelmatycznego), celomatycznego), IVb — późna gastrula zwierzęcia wtórnego (trójwarstwowca, celomatycznego), V — późna gastrula zwierzęcia wtórnego (opis w tekście).

3. Powstanie wielokomórkowców zwierzęcych

PIERWSZE WIELOKOMÓRKOWCE ZWIERZĘCE POWSTAŁY JUŻ W POŹNYM PREKAMBRZE

Nie wiemy dokładnie, jak przebiegał ten ważny proces. Wydaje się, że przejściowym stadiem mogły tu być kolonie prymitywnych pierwotniaków, ale jest to tylko jedna z możliwych hipotez. Ewolucja takich form mogła iść dwutorowo — równoległe w stronę:

1. Zwiększenia specjalizacji komórek — jeśli w zespole każdy wykonuje tylko określone zadanie, może to robić lepiej!
2. Ograniczenia samodzielności komórek. Stopniowo stawałyby się one coraz bardziej zależne od innych i w ten sposób byłyby tylko ważną częścią większej całości.

Zasadniczym kosztem takiej strategii jest zwiększenie zapotrzebowania pokarmowego. Zależąca są natomiast większe możliwości adaptacyjne (tak jak ze zbitu złożonego z wielu różnorodnych części można zbudować bardziej skomplikowane urządzenia). W praktyce ten rodzaj strategii życiowej okazał się niezwykle „twórczy”.

ŚLADEM EWOLUCJI WIELOKOMÓRKOWCÓW JEST WARSTWOWOŚĆ KOMÓREK W ZARODKACH

Pierwsze zwierzęta wielokomórkowe nieznacznie tylko różniły się od kolonijnych pobratymców. Jednak różnicowanie się grup komórek już w zarodkach umożliwiało im stopniowy wzrost złożoności funkcji życiowych. Komórki takie mogły (choć nie musiały) dalej się specjalizować, co doprowadziło do powstania zwierząt tkankowych. Żeby lepiej zrozumieć istotę tych przemian, prześledzimy teraz rozwój osobniczy (ontogenezę) nie istniejącego, modelowego zwierzęcia (por. Ryc. 10 A oraz 10 B). Dla uproszczenia przedstawimy tę analizę w punktach:

1. Zapłodnienie i powstanie zygoty. Można przyjąć, że jest to stadium jednokomórkowca diploidnego. Gdyby ta komórka zwiększyła swoje rozmiary, liczbę organelli, wyspecjalizowała części komórki i wykształciła aparat ruchu, to powstałby wysoko uorganizowany pierwotniak. W analizowanym tutaj przypadku zygota zachowuje jednak pierwotny (tu embrionalny) charakter i nie wykazuje specjalizacji;
2. Podziaty mitotyczne zygoty prowadzą do powstania blastomerów (pierwotnych, embrionalnych komórek potomnych). Po pierwszej mitozie wykształcają się dwa blastomery I-go rzędu, po drugim podziale cztery blastomery II-go rzędu itd. Jeśli ich liczba wzrośnie do kilkudziesięciu, utworzą one grudkę niezróżnicowanych komórek, czyli **morule** (przy pewnej dozie wyobraźni można porównać ten etap rozwoju do stadium kolonii);

3. Dalsze podziaty i ruchy komórek (zw. morfogenetyczne) prowadzą do powstania jednowarstwowej, pęcherzykopodobnej **blastuli** (nie ma jej odpowiednika wśród dorosłych zwierząt). Ma ona już ścianę (blastoderma) i pierwotną jamę ciała — **blastocel**. Ta ostatnia zachowuje się u niektórych osobników dorosłych — nazywa się ją wówczas **protocelem**. Przyjmujemy umownie, że od tego etapu rozwoju będziemy już mieli do czynienia ze **zwierzętami wielokomórkowymi** (zespół typów *Metazoa*);

4. Niech teraz wspomniany pęcherzyk embrionalny przekształci się w formę dwuwarstwową — **gastriulę**. We wczesnym stadium jej komórki są słabo zróżnicowane. Zaznacza się jednak podział na zewnętrzną warstwę prymitywnych nabłonków — **ektodermę** i wewnętrzną — **endodermę**. Zwierzę, osiągające taki poziom organizacji, nazwiemy ogólnie dwuwarstwowcem (grupa *Diploblastica*; por. też lewa strona Ryc. 1). W środku gastriuli widać jej jamę — **gastrocel**, do której prowadzi gęba gastriuli — prągęba (*gastropora*). Być może w ten sposób zbudowane były pierwsze, przedkankowe zwierzęta wielokomórkowe — *Parazoa*. Z grubszą też na takim poziomie rozwoju zatrzymamy się gąbki. Jeśli jednak z dwóch prąbków wykształcą się **tkanki**, takie jak np. nerwowa, to będziemy mówić o tkankowcach — *Eumetazoa*. Do najprymitywniejszych zwierząt tkankowych należą dwuwarstwowe jamochłony (por. też Ryc. 10 B);

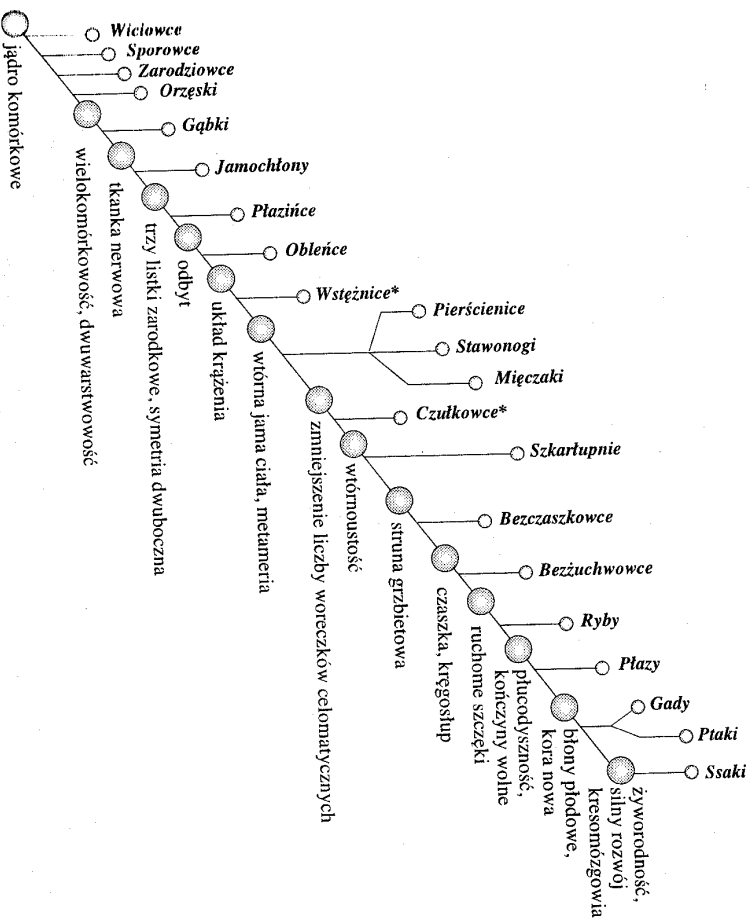
5. Dalsze podziały mitotyczne i różnicowanie komórek (teraz już w ciele tkankowca!) prowadzą do powstania środkowej warstwy komórek zarodkowych — **mezodermę**. Zwierzę, które osiągnie taki poziom rozwoju, nazwiemy trójwarstwowcem (grupa *Triploblastica*). Dodajmy jeszcze, że na tym poziomie doszło do wykształcenia dwubocznej symetrii ciała (por. późniejszej ROZDZ. 6 i 7). Możliwości rozwojowych jest tutaj kilka:

- A) Jeśli prągęba przekształci się u dorosłego osobnika w otwór gębowy ostateczny, to zwierzę takie zaliczymy do **pierwoustych** (*Protostomia*; por. też góra część Ryc. 1). Dodatkową cechą specyficzną tej grupy jest sposób zakładania się mezodermę. Otóż powstaje ona z jednej komórki, którą można wskazać już w stadium zarodka kilkunastu komórkowego. Nie wdając się w szczegóły, jest to tzw. blastomer 4d (embriolodzy oznaczają określone blastomery symbolami cyfrowo/literowymi — w ten sposób mogą śledzić i opisywać ich losy). Ponadto należy zauważyć, że zwierzęta pierwousto wykazują dwuboczną symetrię ciała. W obrębie pierwoustych można wyróżnić dwie grupy różniące się budową jamy ciała:
- a) Początkowo mezodermą rozwija się po prostu jako pasmo komórek pomiędzy ektodermą. Można powiedzieć, że wypełnia ona przekształconą jamę gastriuli — teraz nazywaną pierwotną jamą ciała, która nie ma własnego wysłania nabłonkowego (to właśnie wspomniany protoceel). Zwierzęta takie zaliczamy do **pierwojamowców**, inaczej zwierząt protoceelomatycznych. Należą tu płazińce i obleńce;
 - b) Jeśli rozwijająca się mezodermą tworzy charakterystyczne woreczki, ściślej tzw. somity, to ich światło rozwinię się we wtórną jamę ciała — **celomę**, wysłaną własnym nabłonkiem. Takie zwierzę nazwiemy **wtórnojamowcem** (*Celomata*). Rozwiązanie to jest dogodniejsze, gdyż umożliwia sprawniejszą wymianę substancji odżywczych i gazów oddychowych wewnątrz organizmu oraz tworzenie organów wewnętrznych, posiadających własne nabłonki (np. system krążenia). Do pierwoustych wtórnojamowców zalicza się: piersiencice, mięczaki i sławonogi. Te ostatnie mają jednak swoje unikalne cechy rozwoju embrionalnego — patrz. ROZDZ. 12;

B) Dla odmiany przyjmijmy teraz, że prągęba zarosnie lub przekształci się w otwór odgębowy. Wówczas otwór gębowy ostateczny powstanie mniej więcej po przeciwnej stronie prągęby. Takie zwierzę nazwiemy **wtórnoustym** (*Deuterostomia*, por. też prawa strona Ryc. 1). Jednocześnie wszystkie wtórnouste są wtórnojamowcami. Jednak ich celoma zakłada się inaczej — generalnie z uchyłków prąjelita (nie z jednej komórki jak u pierwoustych). Poza tym u przodków zwierząt wtórnoustych doszło do redukcji liczby woreczków celomatycznych w zarodkach, stąd wyraźnie odmienna mechanika rozwoju. Zdecydowana większość przedstawicieli wtórnoustych wykazuje dwuboczną symetrię ciała, jedynie u szkatupni doszło do wtórnego wykształcenia symetrii promienistej. Klasycznymi trójwarstwowcami wtórnoustymi są strunowce.

WAGA. Więcej informacji o rozwoju zarodkowym uzyskasz w Kl. III.

Jak zapewne wiesz, współcześnie funkcjonują wszystkie zasadnicze plany budowy zwierząt (por. Ryc. 1). Jeśli za miarę sukcesu ewolucyjnego przyjmimy ilość gatunków, to okaże się, że **samo** *Metazoa* stanowią prawdopodobnie ponad 98% gatunków. Wśród nich zdecydowanie najliczniejsze są wtórnojamowce i to pierwousto. Poznanie ich budowy i czynności życiowych nie jest łatwym zadaniem, życie więc milej pracy. Dla ułatwienia możesz zawsze skorzystać z diagramu na Ryc. 10 B, prezentującego narastanie poziomów organizacji ciała zwierząt.



Ryc. 10 B. Zasadnicze poziomy organizacji ciała zwierząt w ujęciu liniowym. Z tej ryciny możesz korzystać przez cały czas poznawania świata zwierząt. Grupy oznaczone gwiazdką nie zostały opisane.

Polecenia i pytania kontrolne:

1. Wymień i krótko scharakteryzuj podstawowe poziomy organizacji ciała zwierząt.
2. Co dokładnie oznacza pojęcie ontogeneza?
- *3. Jakie etapy rozwoju zarodkowego zwierzęcia potrafiłz wymienić? Czy one się cechują?
4. Przedstaw schematycznie rozwój osobniczy hipotetycznego dwuwarstwowca.
- *5. Jakże zwierzęta zaliczamy do wtórnojamowców? Odpowiedz uzasadni.

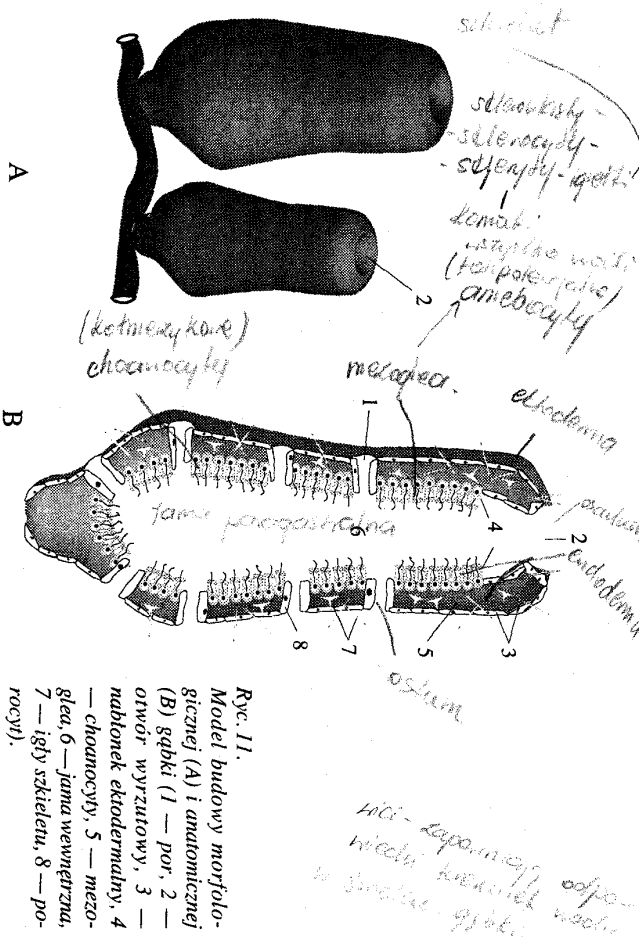
4. Charakterystyka gąbek

Typ: Gąbki (*Porifera, Spongia*)

DO NAJPRYMITYWNIJSZYCH METAZOA MOŻNA ZALICZYĆ GĄBKĘ

Ta stara grupa organizmów zwierzęcych tworzy ślepe ogniwko rozwoju ewolucyjnego i ma niewielkie znaczenie w ekosystemach. Jednak mimo prostoty budowy i funkcji, gąbki stanowią ciekawy materiał badawczy, dlatego szkoda, że ze względu na szczupłe ranny tego podręcznika, organizmy te zostały przedstawione niezwykle skrótkowo. Koncentrując się na zagadnieniach elementarnych, należałoby więc stwierdzić, że zwierzęta te:

1. Są **wielokomórkowymi, dwuwarstwowymi bezkręgowcami wodnymi**, głównie morskimi (por. Ryc. 11). Między ekt- i endodermą występuje galaretowata **mezoglea**. Pełni ona funkcje wypełniające (nie jest jednak mezodermą, ani w ogóle tkanką!);
2. Posiadają słabo zaznaczoną, pierwotną symetrię promienistą lub nie mają jej wcale;
3. Nie posiadają wyróżnionych tkanek: nerwowej i mięśniowej, stąd sygnalizowane już określenie **przedkankowce** (*Parazoa*), odróżniające je od kankowców (*Entozozoa*). Mają, jedynie rodzaj bardzo prymitywnych nabłonków jednowarstwowych;



Ryc. 11.
Model budowy morfologicznej (A) i anatomicznej (B) gąbki (1 — por., 2 — otwór wyrzutowy, 3 — nabłonek ektodermalny, 4 — jamę wewnętrzną, 5 — choanocyty, 6 — mezoglea, 7 — ięty szkieletu, 8 — porocyl).

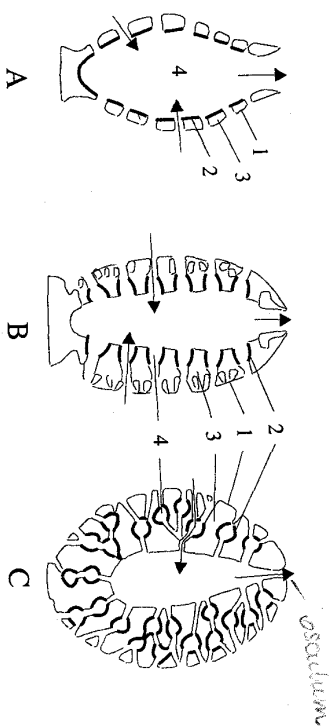
4. Nie są zdolne do wykonywania ruchów lokomocyjnych;
5. Mają ciało poprzedzające licznymi otworami (porami), które prowadzą do tzw. jam wewnętrznych (czasem określanych jako paragastralne). Jamy te są wysłane specjalnymi, uwiczionymi

6. Zwykle mają szkielet mineralny, zbudowany z węgla lub krzemionki, albo organiczny, zbudowany z substancji rogowej — **sponginy**;
7. Posiadają fantastyczne **zdolności regeneracyjne**. Jest to związane z minimalną specjalizacją komórek, które często zachowują zdolności totipotencjalne. Oznacza to, że mogą one dzielić się i przekształcać w każdy rodzaj komórek, jaki występuje w danym organizmie. Niektóre gąbki można przeczeć przez sito, a po jakimś czasie samoorganizujące się komórki odtworzą cały organizm! (prościej mówiąc „poskładają” się z powrotem).

Znane są trzy zasadnicze typy budowy gąbek. Różnią się one stopniem rozbudowy komórek wewnętrznych (trawienych; por. Ryc. 12). Najprostsze gąbki zaliczamy do typu *ascon*, najbardziej skomplikowane do typu *syccon*. Najwyższy stopień złożoności reprezentują gąbki *leucon*. Podział na typy budowy nie pokrywa się z klasyfikacją grupy!

Współcześnie znanych jest ok. 5 000 gatunków, głównie morskich. Formy słodkowodne są mniej liczne — przykładem może być nasz krajowy **nadecznik** (*Spongilla lacustris*). Jednak najbardziej znaną jest **gąbka grecka** (pomyśl, do czego była kiedyś używana!).

Wszystko wskazuje na to, że gąbki oddzieliły się od pnia rozwojowego zwierząt bardzo wcześnie. Ich larwa — *parenchymula* wykazuje jednak szereg podobieństw do planuli jamochłonów (por. ROZDZ. 6).



Ryc. 12. Typy budowy gąbek: *asccon* (A), *syccon* (B), *leucon* (C). Widac warstwę choanocytów i jej stopniowe zanikanie w komorach trawienych (1 — ektodermą, 2 — endodermą, 3 — mezoglea, 4 — komora trawienna). Strzałki pokazują kierunek ruchu wody.

Pytania i polecenia kontrolne:

1. W jaki sposób można udowodnić, że gąbki są dwuwarstwowcami przedkankowymi?
2. Jakie znasz zasadnicze typy organizacji ciała gąbek?
3. Przedstaw schematycznie budowę gąbek typu *asccon*.
4. Czym uwarunkowane są duże zdolności regeneracyjne gąbek?
5. W jaki sposób odżywiają się gąbki?

6. Charakterystyka jamochłonów

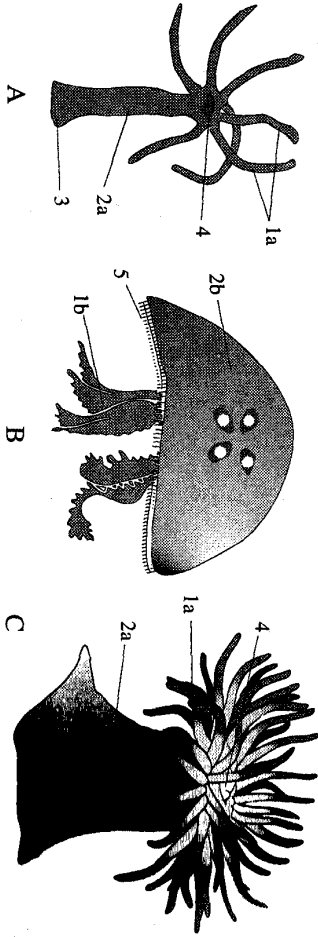
- Typ: Jamochłony (*Coelenterata*)
 Podtyp: Parzydełkowce (*Cnidaria*)
 Gromada: Stłubiopławy (*Hydrozoa*)
 Gromada: Kształkopławy (*Scyphozoa*)
 Gromada: Koralowce (*Anthozoa*)

JAMOCHŁONY SĄ NAJPROSTSZYMI ZWIERZĘTAMI TKANKOWYMI

Ogólny plan budowy wszystkich jamochłonów można sprowadzić do postaci dwuwarstwowego worka, często opatrzonego specjalnymi wyrostkami: czulkami bądź ramionami. Dla naszych celów ważne jest dość dokładne zapoznanie się z budową stłubi pospolitej i chęłbi bałtyckiej. Na ich przykładzie możliwe będzie zaznaczenie się z dwiema dużymi gromadami jamochłonów.

Budowa

Stłubia (*Hydra sp.*) występuje tylko w postaci **polipa** (znasz to pojęcie ze szkoły podstawowej). Jej ciało wygładza jak wydłużony worek przymocowany do podłoża tzw. stopą. W górnej części ciała występuje wieniec 6—12 czulków okalających otwór gastralny, nazywany po prostu gębowym (por. Ryc. 31 A i 32 A).

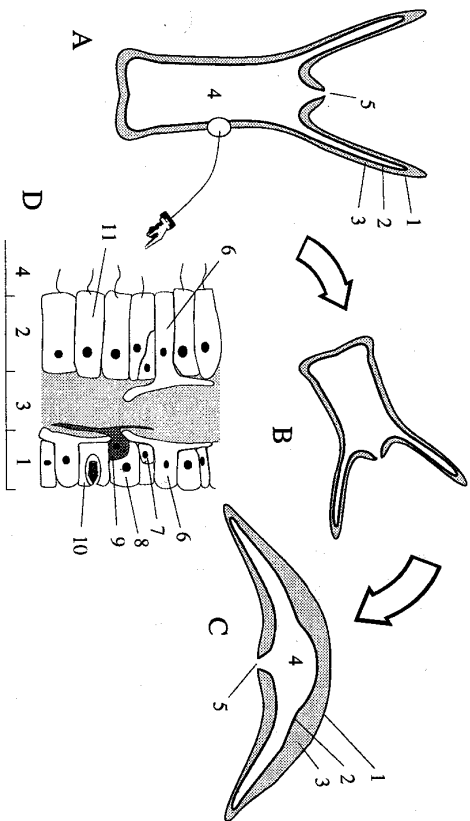


Ryc. 31. Schemat budowy morfologicznej stłubi (A), chęłbi (B) i ukwiału (C) (1a — czulki, 1b — płyty gębowe, 2a — worek, 2b — dzwon, 3 — stopa, 4 — otwór gastralny, 5 — czulki brzożne).

UWAGA: Na tej rycinie i niektórych następujących celowo nie zachowano proporcji wielkości zwierząt!

Meduza dojrzalej chęłbi przypomina parasol bez rączki (por. Ryc. 31 B i 32 C). Często dla obrazowego przedstawienia tego wyglądu używa się określenia dzwon. Na spodniej, wklęsłej stronie dzwonu znajduje się czworokątny otwór gastralny. W jego rogach na boki rozchodzą się ramiona (płyty gębowe), służące do chwytania zdobyczy. Ciało wleku meduz jest półprzezroczyste.

czasem też pięknie zabarwione. Na krawędziach często występują ciątka brzożne, spełniające funkcje zmysłowe (por. niżej).



Ryc. 32. Schemat budowy polipa (A) i meduzy (C) z uwzględnieniem teoretycznego stadium przejściowego (B). Przekrój przez ścianę ciała jamochłonów (D) (1 — ektoderma, 2 — endoderma, 3 — mezoglea, 4 — jamochłony, 5 — otwór gastralny, 6 — komórka nabłonkowo-mięśniowa, 7 — komórka interstycjalna, 8 — komórka nabłonkowa, 9 — komórka nerwowa, 10 — komórka parzydełkowa typu penetranta, 11 — komórka trawienna).

DLA JAMOCHŁONÓW SPECYFICZNA JEST PIERWOTNA SYMETRIA PROMIENISTA

Określenie „pierwotna” sugeruje, że zwierzęta te od początku swojego istnienia wykazywały tę cechę. Jest to zrozumiałe, jeśli przyjąć, że opisywana grupa wywodzi się od zwierząt osiadłych na dnie mórz. Dla tego typu organizmów ważniejsze było (i jest) odłożenie góry i dołu, a nie konkretnych kierunków bocznych. Wynika to z tego, że zarówno pokarm jak i wrog może zbliżyć się do organizmu osiadłego z każdej strony. Dlatego podstawowe narządy u jamochłonów rozmieszczone są promieniście wokół pionowej osi ciała. Przez takie zwierzę można przeprowadzić kilka płaszczyzn symetrii — byle promieniście!

ŚCIANA CIAŁA JAMOCHŁONÓW MA BARDZO PROSTĄ BUDOWĘ — TYLKO POZORNIE TRÓJWARSTWOWĄ

Z zewnątrz występuje warstwa komórek ektodermalnych (por. Ryc. 32). Wnętrze ciała wysięcia warstwa komórek endodermalnych. Pomiędzy ekto- i endodermą znajduje się mezoglea. Jest to galaretowata wydzielinowa komórek ekto- i endodermny, w zadanyin razie oddecha tkanika. Mezoglea tworzy, podobnie jak u gąbek, warstwę wypełniającą i wspierającą. U meduz warstwa mezoglei jest gruba.

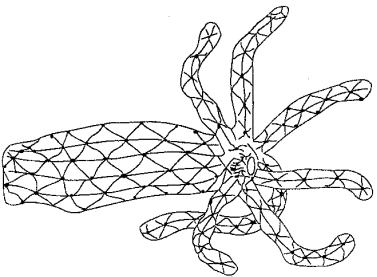
Większą część warstwy zewnętrznej tworzą komórki nabłonkowo-mięśniowe. Zewnętrzne części mają wygląd walcowaty, co kojarzy się z budową nabłonka jednowarstwowego cylin-drycznego. Od wewnątrz występują w nich długie wypuski równoległe do powierzchni ciała. Zawierają one włókienka kurczliwe — dzięki temu ektoderma, wraz z endodermą, może pełnić funkcje ruchowe, umożliwiając lokomocję. Pomiędzy komórkami nabłonkowo-mięśniowymi występują mniejsze komórki interstycjalne (tu wstawione). Z nich rozwijają się np. komórki

parzydełkowe (knidocyty), a u stulbi jessze komórki plectiove (por. niżej), dlatego mówimy, że komórki intertycjalne są totipotencjalne (przypomnij sobie gąbki).

Bezpośrednio pod nabłonkiem leżą ektodermalne neurony typu wielobiegunowego. Są to prymitywne komórki nerwowe kształtu gwiazdzistego. Łącząc się ze sobą,

NEURONY TWORZĄ UKŁAD NERWOWY TYPU DYPLEZYJNEGO

Inaczej mówiąc jest to **układ rozproszony** (por. Ryc. 33). Praktycznie brak w nim centrum nerwowego, ale i tutaj zaznacza się tendencja do pewnej koncentracji neuronów wokół otworu gastralnego (silniejsza u meduz). Na brzegach parasola chebli występuje 8 ciałek brzeżnych — **topaliów** (por. Ryc. 35 B). Każdy taki twór zawiera narząd równowagi, czyli **statocyste** i prymitywne **oceka**. Zasada działania takiego systemu jest prosta. Statocysta jest zagięciem wystającym nabłonkiem urzęsionym. Komorę wypełnia płyn, w którym pływają statolity. Jest to grudka zbudowana, np. z węglanu wapnia, o ciężarze właściwym nieco większym niż woda, w której jest zanurzona. W ten sposób statolity ma stałą tendencję do opadania, zgodnie z kierunkiem działania grawitacji. Jeśli zwierzę się przechyli, to statolity opadnie na rzęski w innym miejscu — będzie to sygnał odchylenia się od pionu. Pobudzi to odpowiednie neurony, które z kolei wysiąą impulsy do konkretnych komórek nabłonkowo-mięśniowych. Ich skurcz przywróci stan równowagi. Najciekawsze w tym jest to, że na identycznej zasadzie działają narządy zmysłu równowagi niemal wszystkich zwierząt!



Ryc. 33. Schemat budowy układu nerwowego stulbiopława. Zwróć uwagę na brak centrum nerwowego, pamiętaj, jednak, że jest to prawdopodobnie pierwszy układ nerwowy wśród zwierząt!

Oceka jamochłonów mają bardzo prostą budowę. Ogólnie rzecz biorąc tworzą je skupienia komórek światłoczułych. Narządy te pozwalają jedynie odróżniać natężenie światła.

ZDECYDOWANA WIĘKSZOŚĆ JAMOCHEŁONÓW MA KOMÓRKI PARZYDEŁKOWE

Ektodermalne komórki parzydełkowe najczęściej występują na czulkach lub ramionach. Jest to chyba najdziwniejsza broń zaczepno-obronna. Wyróżniamy trzy typy parzydełek:

1. **Penetranty** — wnętrze tych komórek zawiera trująco-drażniącą ciecz pod ciśnieniem. Poza tym w środku znajduje się spiralnie zwinięta nić białkowa opatrzona haczykiem (por Ryc. 32 D). Podrażnienie penetranta powoduje pęknięcie komórki i wyrzucenie nici oraz cieczy. W ten sposób jamochłon może porazić większego i silniejszego przeciwnika, nie mówiąc o potencjalnej ofierze;
2. **Wolwenty** — zawierają wewnątrz długą nić. Wystzielone z wielu wolwentów nici owijają się i przyczepiają do ciała ofiary (np. wrotka);
3. **Glutynanty** — zawierają lepkie nici, którymi także można uniemożliwić potencjalny pokarm.

WNĘTRZE CIAŁA TWORZY JAMA GASTRALNA

Wszystkie jamochłony są drapieżnikami. W chwytaniu zdobyczy pomagają im wspomniane już parzydełka. Zdobycz jest wprowadzana przez rozciągnięty otwór gastralny do wspomnia-

nej już endodermalnej **jamy chłonaço-trawiącej**. W endodermie jamy znajdują się komórki nabłonkowo-mięśniowe oraz znacznie liczniejsze i często uwicione komórki gruczołowe i trawienne. Dzięki nim jamochłon może strawić i wchłonać pokarm. Pierwszym etapem obróbki chemicznej jest wydzielenie enzymów trawienych do światła jamy gastralnej. Jak więc wiadać, już na tym poziomie organizacji funkcji biologicznych pojawia się **trawienie pozakomórkowe**. Następnie niewielkie grudki pokarmu są wchłaniane przez komórki trawienne w drodze endocytosis. W ich ciałkach następuje ostateczne, enzymatyczne rozłożenie związków złożonych na proste, przyswajalne przez organizm. Jest to definicja trawienia. Niestrawione resztki pokarmowe są „wypływane” na zewnątrz, przez otwór gastralny, ponieważ żaden jamochłon nie posiada otworu odbytowego.

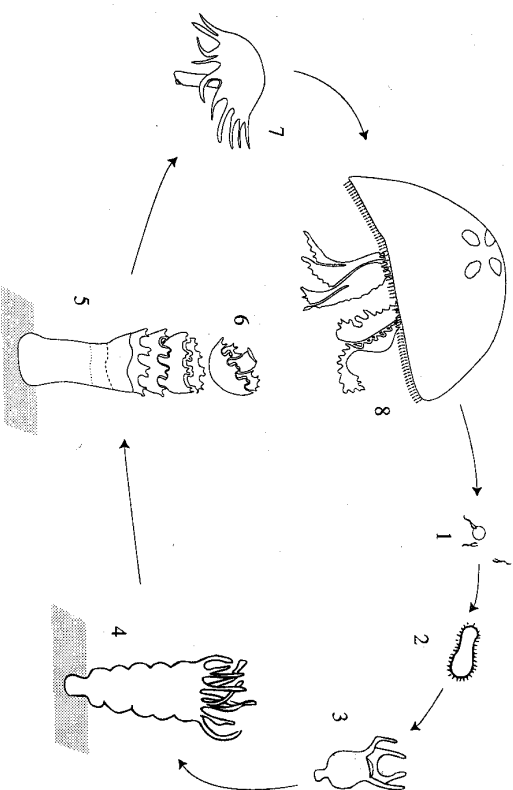
JAMOCHEŁONY NIE POSIADAJĄ TEŻ UKŁADÓW: ODDECHOWEGO, KRĄŻENIA I WYDALNICZEGO

Na tym poziomie organizacji nie są one potrzebne. Wymiana gazowa i krążenie odbywa się w drodze zwykłej dyfuzji. Jedynie u większych meduz sprawa to pewne problemy. Zwierzęta te mają jednak bardzo rozgałęzione jamy gastralne. Układ wydalniczego wcale nie ma, a zbędne produkty przemiany materii usuwane są przez powłoki ciała.

Rozród

U WIELU JAMOCHEŁONÓW WYSTĘPUJE PRZEMIANA POKOLEN

Szereg stulbiopławów (np. nasza stulbia) rozmnaża się bezpłciowo przez pączkowanie. Rozród płciowy tych gatunków nie jest skomplikowany. Gamety powstają w niezróżnicowanych gonadach i wydostają się z nich przez pękające powłoki ciała. Z zapłodnionego jaja rozwija się niewielka, urzęsiona larwa, która osiada na dnie i przekształca się w polipa. U gatunków morskich (np. chełbi) cykl życiowy jest bardziej złożony (por. Ryc. 34).

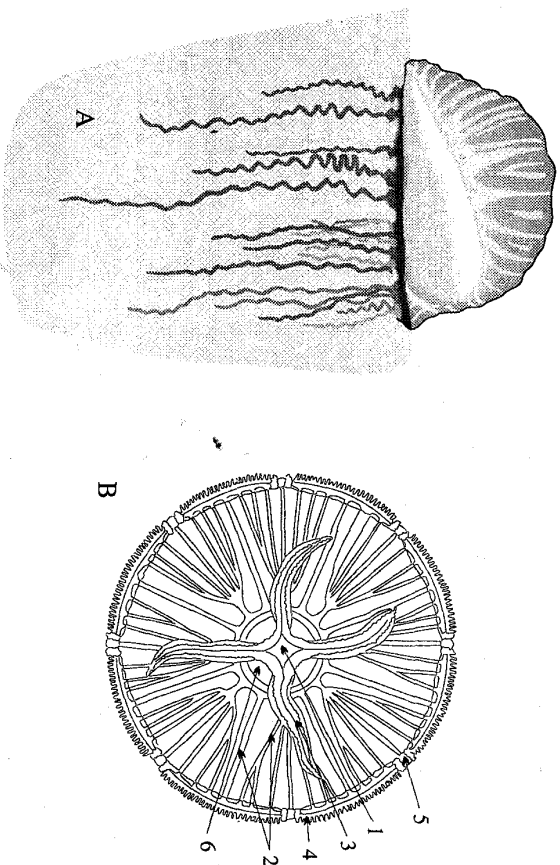


Ryc. 34. Przemiana pokoleń u krężopławów (1 — zapłodnienie, 2 — planula, 3 — młody polip, 4 — początki strobilizacji, 5 — zaawansowana strobilizacja, 6 — odrywająca się egra, 7 — młoda meduza, 8 — postać dojrzala meduzy).

Ma on wszelkie cechy przemiany pokoleń (**metagenyzy**). Pokolenie płciowe reprezentują meduzy (zwykle rozdzielnopłciowe). Ich gonady umieszczone są w kieszeniach jamy gastralnej. U samców mają barwę mlecznobiałą, u samic różowo-pomarańczową (różnią się też nieco kształtem). Zapłodnienie ma miejsce w jamie gastralnej (na „uparteo” — jest wewnętrzne) lub poza ciałem samicy (zewnątrzne). Z zygoty rozwija się charakterystyczna, urzędzona larwa — **planula** (ma bardzo prymitywną, dwuwarstwową budowę, a jej komórki wykazują jedynie ślady specjalizacji). Wolno pływająca larwa po jakimś czasie osiada na dnie i przeobraża się w małego polipa. Ten ostatni wkrótce zaczyna pobierać pokarm i rosnąć. Po osiągnięciu odpowiednich rozmiarów dojrzalszy polip (strobila) dzieli się poprzecznie (**proces strobilizacji**) na młode, talarzykowane meduzy (**efiry**). Przypomina to trochę zdejnowanie miseczek do zupy z ułożonego wcześniej stosu. Jest to rozród pokolenia bezpłciowego. Gdy pierwsza efira oddzieli się od szczytu polipa, ostatnia jest ledwie zarysowana. Po kilku miesiącach meduzy osiągną dojrzałość płciową i cykl może się powtórzyć.

Krótki przegląd jamochłonów

Strobiloplawy — większość to gatunki morskie mierzące od kilku do kilkunastu milimetrów. Polipy w drodze pączkowania najczęściej tworzą **kolonie**. Może w nich dochodzić do specjalizacji — część polipów spełnia funkcje obronne, inne zaś odżywcze. W czystych, słodkowodnych zbiornikach Polski dość pospolicie występuje znana Ci **stubbia**. Zwierzę to jest raczej nietypowe, ponieważ nie wytwarza meduz, kolonii, a przy tym może rozmnażać się bezpłciowo i płciowo (por. wyżej). Potrafi nawet w przedziwny sposób zmieniać położenie (opierając czułki o podłoże i dosuwając późniejszą część). Jednak, pomimo tych odrębności, ciało stubbi może być węższym odłamkiem polipa. Dodajmy jeszcze, że zdolności regeneracyjne u wszystkich jamochłonów są bardzo duże. Nazwa łacińska stubbi (*Hydris*) wywodzi się od mitycznego potwora, któremu w miejscu jednej uciętej głowy wyrastały dwie następne (przemysli, co to może oznaczać w przypadku tego zwierzęcia?).



Ryc. 35. Strobiloplaw kolonijny — żeglarz portugalski widziany z boku (A) oraz przedstawiciel krążkoplawów — *Chelbia* młoda widziana od spodu (B) 1 — otwór gastralny, 2 — kanały jamy gastralnej, 3 — ramię, 4 — czułki, 5 — ropalium, 6 — gonada.

Niewątpliwie jednym z najciekawszych strobiloplawów jest piękny, pełnomorski **żeglarz portugalski** (*Physalia*). Widoczny na Ryc. 35 A egzemplarz jest w rzeczywistości połączoną kolonią drobnych polipów i meduz o wyspecjalizowanych czynnościach. Twór taki unosi się na powierzchni wody i pchany jest siłą wiatru, natomiast jego długie „ramiona” zwisają w głąb morza i uzbrojone są w liczne parzydełka. Nieostrożna ryba, która wpłynie między „ramiona” może zostać sparalizowana i strawiona.

Krążkoplawy — w ich cyklu życiowym występują polipy i meduzy (por. Ryc. 34 i 35 B). Te ostatnie osiągną czasem znaczne rozmiary. Typowym przedstawicielem krążkoplawów jest **Chelbia balticka** (*Aurelia aurita*). W porównaniu ze strobiloplawami mają lepiej rozwiniętą sieć neuronów i wyszczelnione narządy zmysłów (por. wyżej — ropalia). Krążkoplawy poruszają się majestatycznie w toni wodnej dzięki skurczom dzwonu. Ich możliwości lokomocyjne nie pozwalają jednak na całkowite niezależenie od ruchów wody, dlatego niektórzy badacze uważają, że są składnikiem planktonu.

Koralowce — występują tylko w postaci polipów, żyjących pojedynczo lub w koloniach. Ich ciała zawsze mają złożoną budowę wewnętrzną. Przede wszystkim otwór gastralny prowadzi do rozszerzenia nazywanego gardzielą. Z niej pokarm trafia do jamy chłonąco-trawiącej, podzielonej promieniście na liczne przegrrody, które zwiększają powierzchnię trawienia i wchłaniania (niektóre koralowce odżywiają się dość dużymi rybami i krewetkami!). U większości koralowców rozwija się tendencja do tworzenia kolonii wzniesionych wapiennym lub (i) rogowym szkieletem. Do najbardziej znanych koralowców szkieletowych należą: **koral szlachetny** (czterony, *Corallium rubrum*) żyjący w Morzu Śródziemnym i **koralowce madreporowe** (rafotwórcze, *Madreporaria*). Tych ostatnich jest ponad 500 gatunków. Część z nich wchodzi w interesujące symbiozy z bruzdicami, a nawet z śnicami (!). Niektóre gatunki tworzą późne kolonie, które nieustannie rosną. W ten sposób powstają **atole** i **rafy barierowe**. Z kolei **ukwiaty** (por. Ryc. 31 C) nie wytworzyły szkieletu wewnętrznego, są więc koralowcami bezszkieletowymi. Żyją pojedynczo na dnie mierz pęchostonnych, często są wspianiale ubarwione.

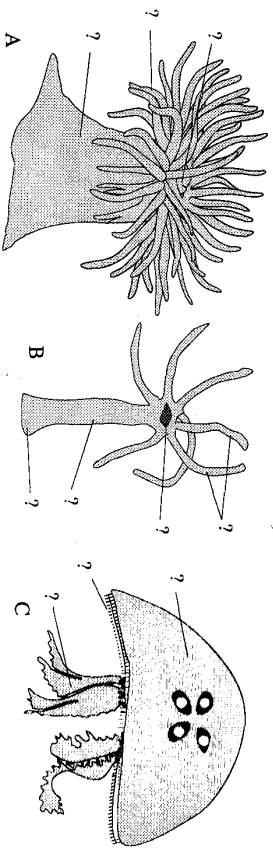
PODSUMOWANIE

Jamochłony:

1. Są najprymitywniejszymi (inaczej najstarszymi i najprymitywniejszymi) zwierzętami ikankowymi. Reprezentują **dwuwarstwowy poziom organizacji ciała** (grupa *Diploblastica*);
2. Żyją wyłącznie w środowisku wodnym (głównie w morzach);
3. Cechuje pierwotna **symetria promienista** — wokół osi głównej rozmieszczone są promieniste poszczególne narządy;
4. Mają prosty plan budowy ciała. Można go sprowadzić do „worka”, którego wewnątrz zajmuje ślepo zakończona **jama chłonąco-trawiąca** (gastralna). Otwór gastralny otacza ją promieniste czułki lub ramiona;
5. Występują zasadniczo w dwóch postaciach: osiadłego **polipa** i wolno żyjącej **meduzy**;
6. Posiadają bardzo prymitywny **układ nerwowy typu dyfuzyjnego**;
7. Mają **duże zdolności regeneracyjne**;
8. Nie posiadają jeszcze wyspecjalizowanych układów: oddechowego, krążenia i pokarmowego;
9. Rozmnażają się bezpłciowo i płciowo, a w ich rozwoju często występuje **przemiana pokoleń** (metagenyza).

Pytania i polecenia kontrolne:

1. Na przedstawionych schematach rozpoznaj przedstawicieli różnych gromad jamochłonów. Wykonaj proste rysunki, w miejscu znaków zapytania wstaw odpowiednie nazwy.



2. Dokonaj obserwacji stufki w szalkach Petriego przy użyciu lupy. Może uda Ci się dostarczyć jej ruchy (jeśli zwierze nie będzie niepokojone). W małym akwarium możesz też zaobserwować sposób chwytania pokarmu i jego pobieranie (delikatnie upuść nad czulkami kawałeczek tubifeksa lub datnie). Najlepiej wcześniej nieco przegłodzić naszego „bohatera”.
3. Przedstaw schematycznie ogólny plan budowy jamochłonów na przykładzie stufki.
4. Omów przystosowania stufki do chwytania i pobierania pokarmu.
5. Jak i gdzie przebiega proces trawienia pokarmu u stufki?
- *6. Zastanów się, dlaczego jamochłony muszą być drapieżnikami?
7. Jak stufka reaguje na bodźce?
8. Czym zasadniczo różni się w budowie jamy gastralne przedstawicieli różnych gromad jamochłonów?
9. Omów funkcję statocysty jamochłonów.
- *10. Omów cykl rozwojowy delfii modrej. Przedstaw schematycznie jego przebieg z zaznaczeniem osobników diploidalnych. Które stadium cyklu jest haploidalne?
- *11. Uzasadnij słusność tezy: „Jamochłony to najstarsze zwierzęta tkankowe”.
- *12. Jakie jest znaczenie koralowców madreporowych?

7. Charakterystyka płazinców

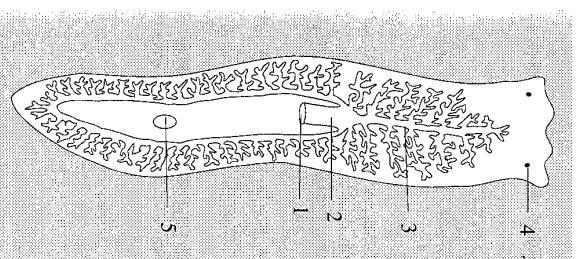
- Typ: **Płazince** (*Platyhelminthes*)
 Gromada: **Wirkli** (*Turbellaria*)
 Gromada: **Przywry wewnętrzni** (*Trematoda*)
 Gromada: **Tasience czlonowane** (*Cestoda*)

Analiza tej grupy zwierząt będzie wymagała dość dobrego zapoznania się z budową i funkcjami życiowymi wypławka, jako przedstawiciela płazinców wolnożyjących, oraz tasiemców — typowych zwierząt paszożytnych.

PLAZIŃCE REPREZENTUJĄ POZIOM ORGANIZACJI TROJMARSTWOWCÓW

Budowa morfologiczna i ściana ciała

Ciało płazinców jest silnie spłaszczone grzbieto-brzusznie i przypomina liść lub krótką tasiemkę z dość dobrze wyróżnioną częścią głowową (por. Ryc. 36). Z kolei w części tasiemców doszło do silnego wydłużenia ciała i podzielenia go na człony (proglotydy). Nabłonek pokrywający ciało robaków płaskich ma rąbek migawkowy (rzęskowy). U wirków jest on na tyle rozbudowany, że w czasie ruchu powstają mikrozawierowania („mikrowirki”). U części gatunków nabłonek przekształca się w bezpostaciowe syncytium. Pod nim leżą mięsiste typy gładkiego. W zasadzie są trzy warstwy włókien (licząc od strony naskórka): okrężne, ukośne i podłużne. Mięśnie wraz z nabłonkiem tworzą **wór powłokowo-mięśniowy**. Sprawność lokomocyjna wirków jest jednak niewielka.



Ryc. 36.
Budowa morfologiczna wypławka (1 — *otwór gębowy*, 2 — *gardziel*, 3 — *przewietniające jelito*, 4 — *oczko proste*, 5 — *otwór płciowy*).

Jama ciała

Przestrzeń wnętrza wora powłokowo-mięśniowego wypełnia **parenchyma**. Jest to substancja utworzona przez wielokształtne komórki podporowe, żerne i wydalinicze. Pomędzy nimi znajdują się galaretowata istota międzykomórkowa. Jak zapewne pamiętasz, parenchyma jest pierwotną formą tkanki łącznej i spełnia funkcje pośredniczące w wymianie substancji we wnętrzu ciała (np. dyfuzja cząstek odżywczych z jelita do innych narządów). Płazince mają pierwotną jamę ciała, określaną jako pseudocel.

Szkielet

Twardych elementów szkieletowych brak. Funkcję wzmacniająca spełnia więc wór powłokowo-mięśniowy oraz elementy włókniste w parenchymie.

Układ oddechowy i krążenia

Zwierzęta te nie wykształciły tych układów, dlatego mają prostą budowę i dość wolne tempo metabolizmu. Warki oddychają całą powierzchnią ciała (sprzyja temu grzbieto-brzusze spłaszczenie). Funkcję układu krążenia spełnia parenchyma i jelito (por. niżej).

Układ pokarmowy**U PRYMITYWNYCH WIRKÓW PO RAZ PIERWSZY POJAWIA SIĘ UKŁAD POKARMOWY**

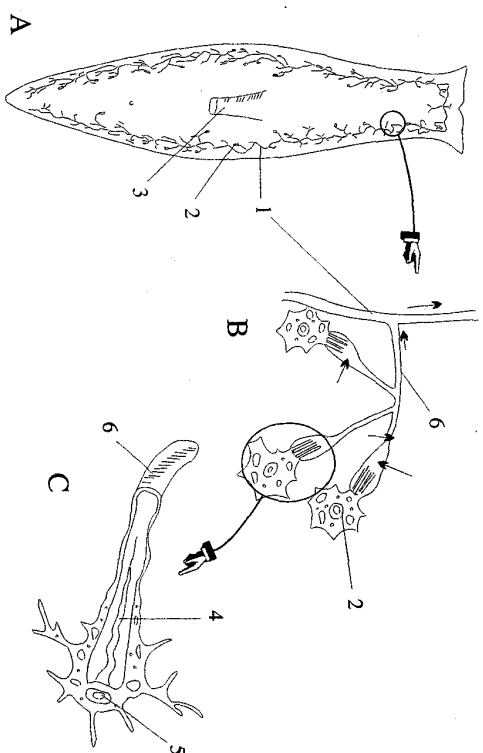
Układ pokarmowy wirków (porównaj to później z przywrami!) zbudowany jest z dwóch zasadniczych części:

1. **Jelita przedniego**, które rozpoczyna się ektodermalną gardzielą. U wyplawków jest ona umięśniona i może być wysuwana na zewnątrz w czasie łapania zdobyczy. Otwór gębowy położony jest zawsze po brzusznej stronie ciała.

2. **Jelita środkowego** — pochodzenia endodermalnego. Stopień jego wykształcenia jest różny. Wyplawek na przykład należy do wirków trójjelitowych (por. Ryc. 36). Oznacza to, że jego jelito jest rozgałęzione na trzy części. U mniej znanych wirków prostojelitowych całe jelito środkowe to niewielki uchylek położony tuż za gardzielą. Jelito środkowe zawsze zakończone jest ślepo, dlatego niestrawione resztki pokarmowe usuwane są z powrotem przez gardziel. U płazińców trawienie pozakomorńkowe zyskuje na znaczeniu. Można powiedzieć, że jest równie ważne jak endocytocy przeprowadzane przez komórki nabłonkowe jelita. U prymitywnych wirków, tzw. bezejlitowych, nie ma wcale jelita środkowego. Gardziel tych gatunków otwiera się do pustych przestrzeni w parenchymie, która spełnia tu także funkcje trawienne.

Układ wydalniczy**PLAZIŃCE POSIADAJĄ UKŁAD WYDALNICZY TYPU PROTONEFRYDALNEGO**

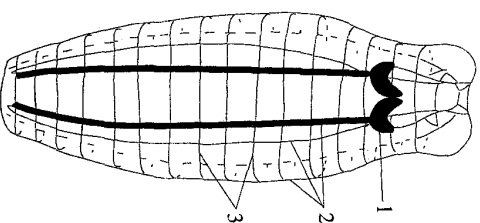
Jest on zwykle złożony z dwóch głównych kanałów (por. Ryc. 37), które otwierają się na zewnątrz specjalnymi otworami wydalniczymi. Od głównych kanałów odchodzą dość liczne, drobniejsze odgałęzienia. Ich końcówki odcinki mają charakter kapilarny i zakończone są specjalnymi, gwiazdzistymi **komórkami płomysłowymi**. Każda z nich, w rurkowanej części zwróconej do kanalik, posiada pęczek rzęsek, czyli płomyk, którego ruch przypomina migotanie płomienia świecy. W ten sposób wywoływany jest przepływ cieczy, dyfundującej z parenchymy do światła kanalików wydalniczych. Zasadniczą funkcją takiego układu jest jednak nie wydalanie, a osmoregulacja. Rzecz w tym, że zwierzęta słodkowodne narazone są na ciągłe wnikanie wody do wnętrza ciała (por. pierwotniaki słodkowodne). Układ protonefrydalny umożliwia im pozbywanie się nadmiaru wody (to jego pierwotna funkcja). Powierzeniem tego jest brak wyodrębnionego układu wydalniczego u wirków morskich. Generalnie u płazińców zędmie produkty przemiany materii gromadzone są w specjalnych komórkach żermych, w parenchymie.



Ryc. 37. Elementy układu wydalniczego wyplawka — widok ogólny (A), zakończenie kanalu wydalniczego (B), pojedyncza komórka płomysłowa (C) (1 — główny kanał wydalniczy; 2 — komórka płomysłowa; 3 — gardziel; 4 — płomyk; 5 — jądro komórki płomysłowej; 6 — drobny kanał wydalniczy; strzałki wskazują kierunek przepływu wydalanych substancji).

Układ nerwowy i narządy zmysłów**PLAZIŃCE MAJĄ BARDZIEJ ZŁOŻONY UKŁAD NERWOWY NIŻ JAMOCHŁONY**

Jak zapewne wiesz, jest to pierwszy układ nerwowy z wyodrębnionym centrum obróbki informacji dochodzących ze środowiska (por. Ryc. 38). Skupienie ciał neuronów w przedniej części ciała tworzy **parzyśły zwój mózgowy**. Od niego odchodzą tzw. podłużne **pnie nerwowe** złożone z dość licznych włókien nerwowych. Liczba pni u form najbarziej zaawansowanych zredukowana jest do 1—2 par. Niżej zorganizowane mają 5—6 par pni. U wirków trójjelitowych para pni brzusznych jest znacznie grubsza od pozostałych i sprawniej przekazuje bodźce. Nadaje to układowi nerwowemu tych zwierząt wygląd dwubocznie symetryczny. Ponadto wszystkie pnie połączone są spoidłami poprzecznymi, powstaje charakterystyczny **ortogon**, który można uznać za prototyp drabinkowatego układu nerwowego bezkręgowców wyższych. Na powierzchni ciała rozsiadane są prymitywne narządy zmysłów dotyku i czucia chemicznego. U wielu gatunków występują **statozysty** (prawie takie jak u krążkopławów). U form wolno żyjących często występują liczne oczka typu inwertowanego. Nazwa bierze się stąd, że taki narząd zbudowany jest z kielicha pigmentowego, zwróconego wkleśłą stroną do światła. Wewnątrz kielicha znajdują się komórki światłoczułe, tak zbudowane, że światło najpierw przechodzi przez ich ciała, a dopiero potem pada na części receptorowe.



Ryc. 38. Schemat budowy układu nerwowego płazińca (1 — zwój mózgowy; 2 — podłużne pnie nerwowe; 3 — spoidła poprzeczne). Widoczny jest silniejszy rozwój pni brzusznych.

Układ rozrodczy

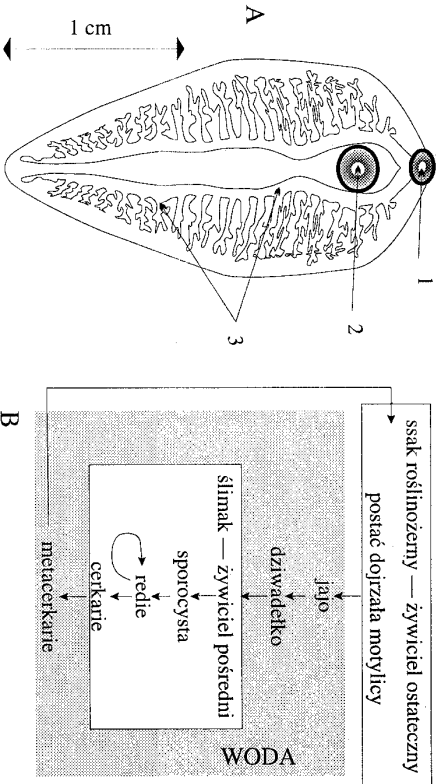
Większość plazinców jest **obojnakami** (hermafrodytami), których gonady mają przewody rozrodcze wyprowadzające gamety na zewnątrz ciała. W rozwoju występują larwy — ich dokładniejszą charakterystykę znajdziesz przy poszczególnych gatunkach. Jedynie u ich rozwój jest prosty, tzn. że z jaja wykluwa się miniatura osobnika dorosłego.

Przebieg plazinców

Witki — jest to dość liczna grupa wolnożyjących plazinców o urzęsionym ciele. W wodach Polski żyje kilkanaście gatunków wirków trójjelitowych i nieustalona liczba prostojelitowych. Do najbardziej znanych gatunków krajowych należy zaliczyć wspomnianego już **wyplawka białego** (*Dendrocoelum lacteum*), **wyplawki czarne** (*Planaria*), oraz **wielocerkę czarną** (*Polycelis*). Pełnomorskie formy są zwykle większe od ich słodkowodnych pobratymców i dochodzą do 10 cm długości. Jednocześnie ich ciała są ciekawiej ubarwione. Gatunki nazienne stanowią w tej grupie zwierząt wyjątkową rzadkość — spłyka się je w mechach i ściółce wilgotnych lasów tropikalnych.

Przywry wewnętrzniaki — wszystkie są pasożytami nieczłonowanymi. Od wirków różnią się brakiem urzęsienia i obecnością przyssawek (najczęściej gębowej i brzusznej). Posiadają rozgałęziony układ pokarmowy (o takiej organizacji jak u wyplawka). W większości są hermafrodytami (występują jednak wyjątki — por. niżej). Oto kilka ważniejszych przykładów.

— **Motylca wątrobowa** (*Fasciola hepatica*) — jest pasożytem dróg żółciowych ssaków roślinożernych (mimo to odżywia się krwią; por. Ryc. 39 A). Człowiek zarazony jest rzadko jako żywiciel przygodny. Dojrzała postać wygląda jak mały liść wierzby (długość ok. 3 cm).



Ryc. 39. *Motylca wątrobowa* (A) i *schemat jej cyklu rozwojowego* (B) (1 — przyssawka gębowa otaczająca otwór gębowy, 2 — przyssawka brzuszna, 3 — jelito).

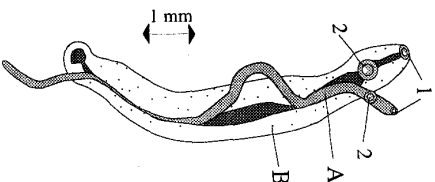
Motylca przechodzi złożony cykl rozwojowy, do którego realizacji niezbędna jest woda (por. Ryc. 39 B). Jaja, które są wydalane drogami pokarmowymi (przewody żółciowe, dwunastnica, jelito, otwór odbytowy), muszą trafić do wody. Tam uwalnia się z nich urzęsiona larwa — **dzławadeczko** (*miracidium*), która wnika aktywnie do żywej postaci ślimaka. Jest nim ślimak — błotniaka stawowa. W ciele ślimaka dzławadeczko osadza się w uchyłkach wątrobowych jelita. Traci urzęsienie i przekształca się w tzw. **sporocystę**. Forma ta rozmnaża się dzieworodnie, dając nowe pokolenie larw — **redie**. One także mogą się dzieworodnie i dają albo następne redie, albo **cerkarie**. Te ostatnie mają już przewód pokarmowy, przyssawkę i oczko proste. Opuszczają ciało żywiciela pośredniego i pływają wolno w wodzie. Jeśli po kilku godzinach nie zostaną połknięte, np. przez pijące wodę bydło lub sarny, to osadzają się na roślinach. Tam otaczają się dość grubą osłonką, przekształcając w **metacerkarie**. Jeśli formy te zostaną połknięte przez potencjalnego żywiciela ostatecznego, to w jego jelicie uwalniają się z osłonki. Następnie przebijają jego ścianę i żyją wrotną wędrują do naczyń włosowatych wątroby. Z nich przechodzą do dróg żółciowych (np. kanałków żółciowych) i tam po trzech miesiącach osiągną dojrzałość. Choroba wywoływana przez motylkę to fasciozoza.

Włośnek — jest to cykl: jajo → larwa urzęsiona (*miracidium*) → larwa nieurzęsiona (*sporocysta*) → larwa nieurzęsiona (*redia*) → larwa (*cercaria* lub *metacercaria*) → postać dojrzała

— **Motylczka** (*Dicrocoelium dendriticum*) ma cykl rozwojowy nie związany z wodą. Dojrzała postać jest niewielka, osiąga 1,5 cm długości i ma wrzecionowaty kształt. Pasożytuje w drogach żółciowych ssaków roślinożernych (człowiek może być tylko żywicielem przygodnym). Jaja wydostają się tak jak u motylcy wątrobowej — tyle, że nie do wody. Jeśli zostaną zjedzone przez ładowego ślimaka, to rozwijają się w **miracidia** i dalej w **sporocysty** (porównaj to z motylką). Ze sporocyst powstają **cerkarie**, wędrujące do jamy płucnej ślimaka i stamtąd wraz ze śluzem na zewnątrz. Służ ten bardzo lubią mrówki — zawarte w nim cerkarie przewiercają wole owada, który jest drugim żywicielem pośrednim i wędrują do podprzełykowych zwojów nerwowych (por. ROZDZ. 12). Ich uszkodzenie powoduje, że w dzień mrówka „musi” wciążyć wspanać się na szczyt źdźbeł trawy. Zwiększa się w ten sposób prawdopodobieństwo, że zostanie „przy okazji” zjedzona przez roślinożernego żywiciela ostatecznego. W jego ciele motylczka odbywa drogę podobną do poprzedniego gatunku.

— **Przywra kocia** (*Opisthorchis felinus*) — jest pasożytem dróg żółciowych ssaków drapieżnych (bardzo często kotów, stąd nazwa). W jej rozwoju także występują dwa żywicieli pośredni: ślimak i ryby. Cykl rozwojowy związany jest z wodą. Zarazenie ludzi (częste w Azji południowo-wschodniej) następuje po spożyciu niedostatecznie wysmażonego mięsa ryb. Choroba nazywa się wówczas **opistorchozą**. Objawia się bólami brzucha i żółtaczką.

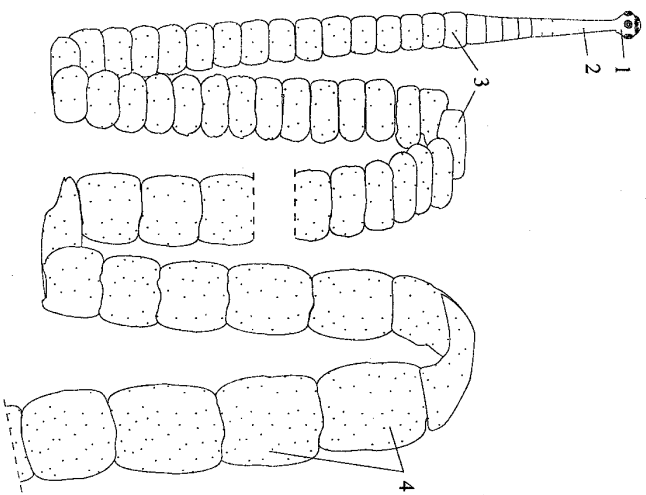
— **Przywra krwi** (*Schistosoma haematobium*) — jest pasożytem człowieka. Postać dojrzała bytuje w naczyniach krwionośnych pęcherza moczowego i jamy brzusznej. Przywra ta jest gatunkiem rozdziel-nopciowym (cały rodzaj *Schistosoma* jest tu wspomnianym wyjątkiem wśród plazinców). Cechuje ją znaczny **dymorfizm płciowy** (różnice w budowie samca i samicy). Samica jest długa i nitkowata, stale bytuje „zawinięta” w ciało krótszego i szerszego i szerokiego samca (por. Ryc. 40).



Ryc. 40. *Przywra krwi* (A — samica, B — samiec; 1 — przyssawki gębowe, 2 — przyssawki brzuszne).

Cykl rozwojowy związany jest z wodą. Samica składa jaj, które wyposażone są w specjalny kolec. Dzięki niemu wydostają się z macicy do światła drogą moczowców. Stamają na zewnątrz, do wody, gdzie wykluwa się *miracidium*, wnikające do wnętrza ślimaków wodnych. W ich ciałach przekształca się w **sporocystę**, która na drodze partenogenezy „produkuje” do 200 tysięcy **cerkarii**. Te ostatnie podratą zaatakować nieświadomego nieczego czelowieka (np. pracującego na polu rzowym). Cerkarie tej przwry posiadają specjalne gruczoły, których wydzielina rozpuszcza tkanki żywiciela ostatecznego. Umożliwia to wnikanie przez skórę bezpośrednio do krwiobiegu. W nim cercarie wędrują do płuc, gdzie ulegają pewnym przekształceniom i dobiegają się parani (samiec i samica). Następnie przemieszczają się do miejsc, w których osiągną pełną dojrzałość. Na chorobie tę zapada wiele milionów ludzi (np. w Egipcie, Chinach) — nazywa się ona **bilharcjozą** (czasem — schistosomiazą). Objawy: bóle brzucha, stany zapalne pęcherza moczowego, nerek. Na szczęście przwry krwi w Polsce nie występują.

Tasiemce — wszyscy przedstawiciele tej gromady są pasożytami. Współcześnie znanych jest około 3 000 gatunków tasiemców o bardzo różnych rozmiarach ciała (por. Ryc. 41). Zawsze jednak przypominają wyglądem zwykłą tasienkę (długości od 0,2 mm do ponad 20 m!). Nabłonek pokrywający ciało tych zwierząt nie jest urzęsiony i zwykle tworzy syncytium. Tasiemce wykazują szereg przysosowań do pasożytniczego trybu życia (por. wyżej). Zdecydowana większość jest obójnakami (rozdzielnopłciowe gatunki są tu wyjątkami). Pierwszym stadium rozwojowym jest larwa — **onkosfera** (opatrzona sześcioma haczykami embrionalnymi). U gatunków, których rozwój przebiega w wodzie, larwa ta pokryta jest urzęsionym nabłonkiem i nazywa się **koracidium**.

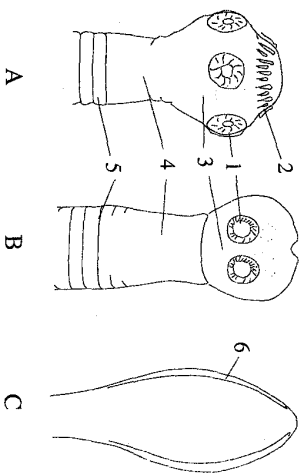


Ryc. 41. Schemat budowy morfologicznej tasiemca uzbrowionego 1 — główka, 2 — szyjka, 3 — młode człony, 4 — dojrzałe człony). Rychina wykonana „komputerowo” przez ucznia.

TASIEMCE PRZECHODZĄ ZŁOŻONE CYKLE ROZWOJOWE

Dorośle postacie są pasożytami układów pokarmowych różnych kręgowców. Wykazują więc szereg przysosowań, które zmniejszają ryzyko usunięcia ich z przewodu pokarmowego. Przede wszystkim ich ciało podzielone jest na (por. Ryc. 41):

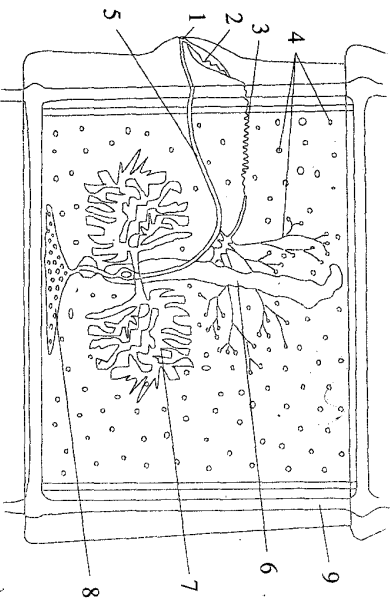
1. **Główkę** (*scolex*) — która zawiera centrum nerwowe (por. Ryc. 42). Na jej powierzchni wykształciły się narządy czepne — przysawki, bruzdy, czasem też haczyki, którymi zwierzę „koviczy się” w błonie śluzowej jelit;



Ryc. 42. Budowa morfologiczna główek tasiemców, A — uzbrowionego, B — nieuzbrowionego, C — bruzdogłowca 1 — przysawki, 2 — haczyki, 3 — bruzdy, 4 — przysawki, 5 — młode człony, 6 — bruzda przysawkowa).

2. **Szyjkę** — która jest zwężeniem, budowanym przez szybko dzielące się komórki. To tutaj właśnie, w nasadowej części powstają nowe człony (progliotydy);

3. **Strobilę** — jest to po prostu długi (chociaż nie zawsze) łańcuch **progliotydy**. Każdy z nich jest swoistą fabryką komórek rozrodczych (por. Ryc. 43). Zawiera bowiem w pełni wykształcone narządy płciowe męskie i żeńskie. Z reguły te pierwsze szybciej dojrzewają, stąd funkcjonują już w młodszych członach (tych bliżej szyjki). Później rozwijają się narządy żeńskie. W ten sposób może dochodzić do samozapłodnienia (ale pomiędzy odrębnymi członami strobili). Narządy rozrodcze męskie i żeńskie tworzone są przez jądra, nasieniowody i prącie. Żeńskie to: bardzo rozbudowane jajniki, jajowody, żółtniki, macica i pochwa uchodząca do przedstonka płciowego. Ostatnie progliotydy praktycznie zawierają tylko rozrośnięte macice wypchnione jajami z embrionami (nazywane są członami macicznymi). Zwykle człony takie odrywają się regularnie i wydostają na zewnątrz wraz z kałem. W ten sposób tasiemiec nieuzbrowiony może produkować nawet kilkaset milionów (!) jaj dziennie.



Ryc. 43. Budowa dojrzałego członu tasiemca 1 — przedstonek płciowy, 2 — narząd kopulacyjny, 3 — nasieniowód, 4 — jądra z przewodami wyprowadzającymi, 5 — pochwa, 6 — obszerna macica, 7 — płatowaty jajnik, 8 — żółtnik, 9 — podłużny kanał wydalinowy).

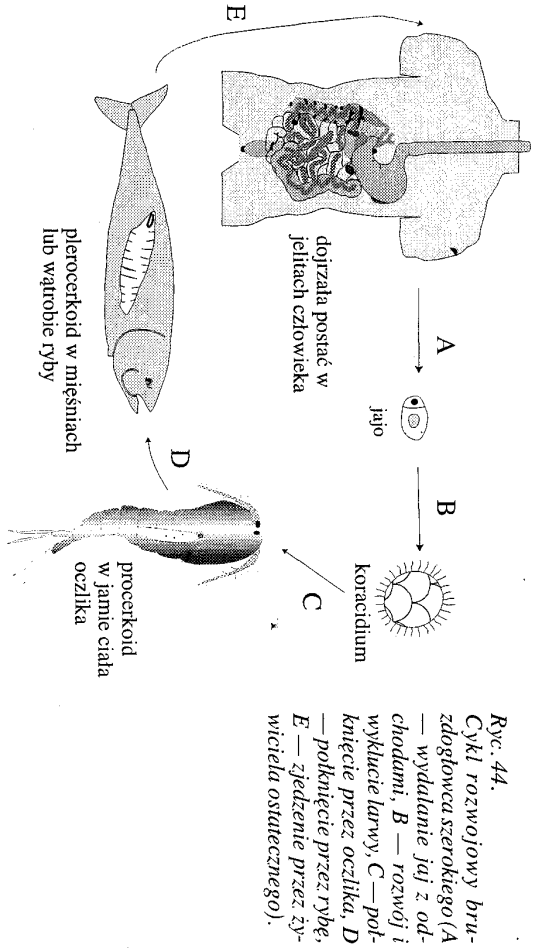
Przypominam też, że te skrajnie przysosowane pasożyty nie mają układu pokarmowego — pożywnia w jeliach kręgowców jest bowiem pod dostatkiem. Jednocześnie praktycznie pozbawione tleno otoczenie powoduje, że do uzyskiwania energii użyczonej biologicznie pasożyty wykorzystują oddychanie beztlenowe. Jest to strategia bardzo „rozrzucona”, gdyż efektywność energetyczna glikolizy jest niewielka (w klasie III poznasz jak bardzo). „Płat” jednak za to gospodar. Mocno zredukowany jest też układ nerwowy (nie powinno Cię to dziwić, gdy wezmiesz pod uwagę typ niszy ekologicznej zajmowanej przez tasiemce). Układ wydalinowy (typu protonefrydalnego) jest prosto zbudowany. Składa się z dwóch prostych kanałów podłużnych,

uchodzących otworami wydalniczymi w ostatnim cztonie. Do tego dochodzą tzw. kanały poprzeczne, łączące ze sobą główne (por. Ryc. 43).

Przeгляд tasienców

Czas teraz na nudny, ale konieczny przeгляд najważniejszych tasienców (jest on szczególnie ważny dla kandydatów na akademie medyczne, weterynarie i biologię uniwersytecką).

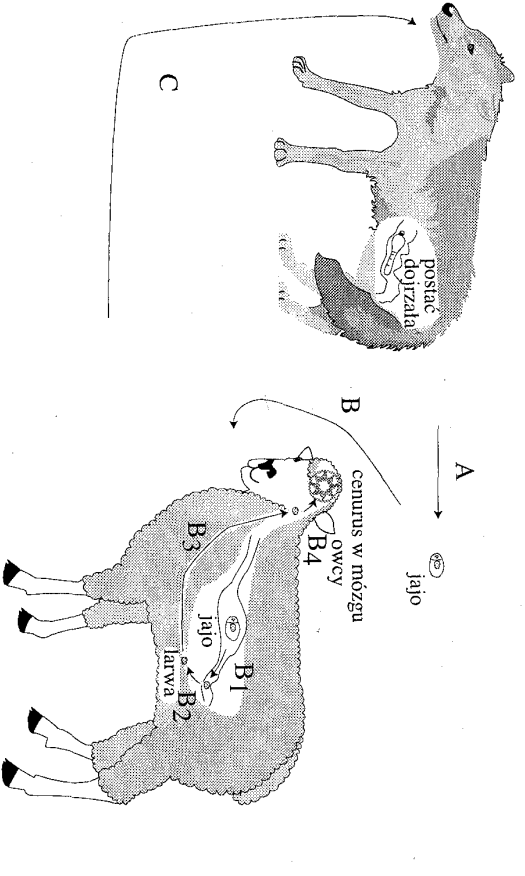
— **Brzdąglowiec szeroki** (*Diphyllbothrium latum*) — dorosła forma pasożytuje u człowieka, a także niedźwiedzi, kotów, psów, świń, lisów i fok (por. Ryc. 42 C i 44). Jest największym tasieniem, osiągnięciem czasem do 20 m długości (!!) przy 4 tyś. siągach progliotydów. Występuje w okolicach podbiegunowych i (zasadniczo ogniskowo) w strefie jezior okalających Batoryk. Gatunek ten ma złożony cykl rozwojowy, związany wyraźnie z wodą. Jajo musi dostać się do wody, by mogło z niego powstać urzęsione **koracidium**. Pływa ono jako składnik planktonu 2—3 dni, nie pobierając pożywienia. W tym czasie musi zostać pokłmnięte przez skorupiaka (np. oczlika). W jelicie tego pierwszego żywiciela pośredniego traci urzęsioną otoczkę — uwalnia się **onkosfera**, która dostaje się do jamy ciała i tam przekształca w **procerkoid**. Jeśli teraz skorupiaka zje ryba kostnoszkieletowa (np. okoń, miętus, szczupak, jazgarz) to w jej mięśniach z procerkoиду powstanie **plerocerkoid**. Larwa ta mierzy ok. 1—4 cm długości i może żyć w ciele ryby tak długo, jak jej gospodarz. Jeśli zarazona ryba zostanie zjedzona przez inną rybę, to plerocerkoid nie przekształca się — nazywa to się **paratenią** (pasożytnictwem paratenicznym). Dopiero jeżeli rybę zje ssak, np. wilk (może to być też wędkarz spożywający niedogotowaną lub niedosmazoną zdobycz), plerocerkoid przeobraża się w postać dorosłą. Trwa to przeciętnie 2—5 tygodni. Dojrzały brzdąglowiec, ze względu na swoje zapotrzebowanie na witaminę B₁₂, może doprowadzić do objawów ciężkiej anemii, przypominającej złośliwą. Inne objawy zarazenia (tu **dityflobotriozy**) to: chudnięcie, bóle brzucha i nudności.



Ryc. 44. Cykl rozwojowy brzdąglowca szerokiego (A — wydalanie jaj z odchodami, B — rozwój i wyklucie larwy, C — pokłmnięcie przez oczlika, D — pokłmnięcie przez rybę, E — zjedzenie przez żywiciela ostatecznego).

UWAGA: Gdy w cyklu rozwojowym następuje zmiana żywicieli, nazywamy to wielodomowością (**heteroksenicznoscą**). Jeśli zaś cały cykl odbywa się w ciele jednego żywiciela — jednodomowością (**monoksenicznoscą**).

— **Tasieniec krędkowy** (mózgowiec, *Taenia multiceps*, *Multiceps multiceps*). Dorosła postać osiąga 1 m długości przy 5 mm szerokości (ok. 200 progliotydów i głowka opatrzona przyssawkami oraz haczykami). Pasożytuje w jelicie cienkim psów (zwłaszcza pasterskich), wilków, lisów, szakali (por. Ryc. 45). Jeśli wydalone z odchodami jajo zje owca (zrazdziej bydło, sarny, jelenie), to w niej rozwija się larwa typu wągry (*coenurus*). Przebija się ona z przewodu pokarmowego do krwi i z nią wędruje do ośrodkowego układu nerwowego (w skrócie OUN). Tam wytwarza pęcherz, w którym powstają nowe główki — jest to rodzaj bezpłciowy na poziomie zarodkowym. Skutkiem jest porażenie pewnej części OUN — często np. lewej półkuli mózgowej. Takie zwierzę kręci się w kółko, traci przytomność i w końcu ginie, dlatego choroba nazywa się **kolowacizną owiec** (inaczej cenurozą). Zapobiega się jej, paląc szczątki padłych owiec.

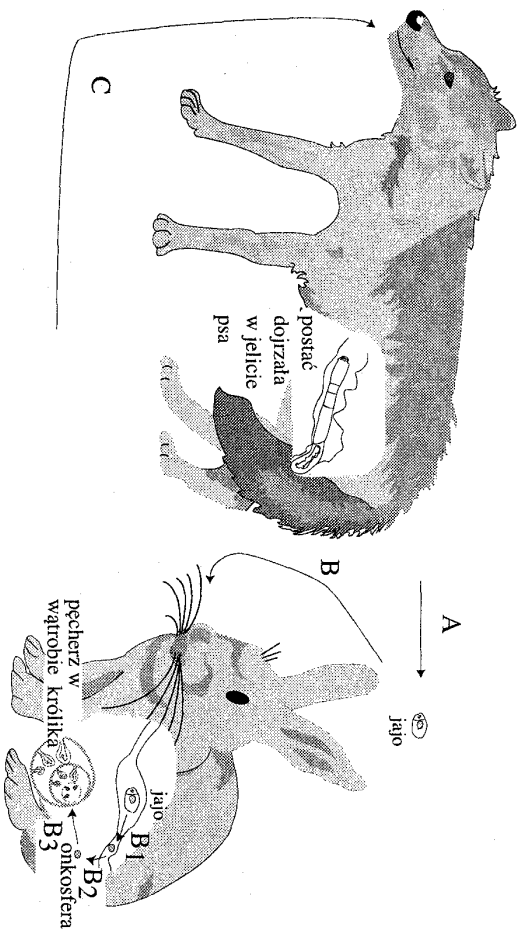


Ryc. 45. Cykl rozwojowy tasienca krędkowego (A — wydalanie jaj z odchodami, B — pokłmnięcie przez żywiciela pośredniego, B₁ — uwolnienie larwy w żółtaku, B₂ — przejście do żyły wrotnej wątrobowej, B₃ — wędrownika cenurusu z krwią do mózgu, B₄ — rozwój pęcherza w mózgu, C — zjedzenie wnętrzości padłej owcy przez żywiciela ostatecznego). Zwróć uwagę na małe główki w pęcherzu.

— **Tasieniec psi** (*Dipylidium caninum*) — dojrzała postać pasożytuje w jelitach psów. W Polsce ponad połowa naszych czworonogów pociech jest nim zarazona (!). Żywicieli pośrednim są pchły — ich przypadkowe zjedzenie przez psa (zrazdziej przez człowieka) prowadzi do uwolnienia wągry i rozwoju postaci dojrzałej. Kłopot polega na tym, że zarazenie tasieniem psim przebiega raczej bezobjawowo.

— **Tasieniec bąblowcowy** (bąblowiec, *Echinococcus granulosus*). Dojrzały osobnik mierzy zaledwie ok. 5 mm długości (3—4 człony) i pasożytuje w jelicie cienkim drapieżników (np. psa, kota, lisa czy wilka; por. Ryc. 46). Dojrzałe człony usuwane są na zewnątrz i mogą samodzielnie pełzać w okolicy odbytu żywiciela ostatecznego, uwalniając jaja. Żywicieli pośrednim są przede wszystkim króliki, świnię, a czasem człowiek. W tym ostatnim przypadku zarazenie prawie zawsze następuje w czasie zabawy z czworonogiem przyjaciele, np. po polizaniu przez psa. W Polsce ok. 5% psów za-

razonych jest bąblowcem — musisz więc zwracać uwagę na higienę kontaktów z psami! Tasiemiec bąblowcowy jest chyba najbardziej niebezpiecznym płazincem dla człowieka. Jest tak, ponieważ z pokniętych jaj w żołądku żywiciela pośredniego wydostaje się onkofera. Przebija ona ściany jelita i z krwią wędruje po całym organizmie. Preferuje miejsca dobrze zaopatrzone w tlen i bardzo delikatne. Osiada więc w wątrobie, w płucach, a czasem nawet w mózgu. Tam różne pęcherz (inaczej bąbel), w którym rozwija się wiele główek (jest to także przykład rozwoju bezpłciowego na poziomie zarodkowym, czyli **poliembrionii**). Rosnący pęcherz uszkadza narząd, w którym rośnie — czasem dopiero sekcja wykazuje obecność małego bąblowca w mózgu. Ci, którzy mają więcej szczęścia, muszą być operowani. Ponieważ bąblowiec jest szereko rozpowszechniony, powinniśmy bardzo uważać!

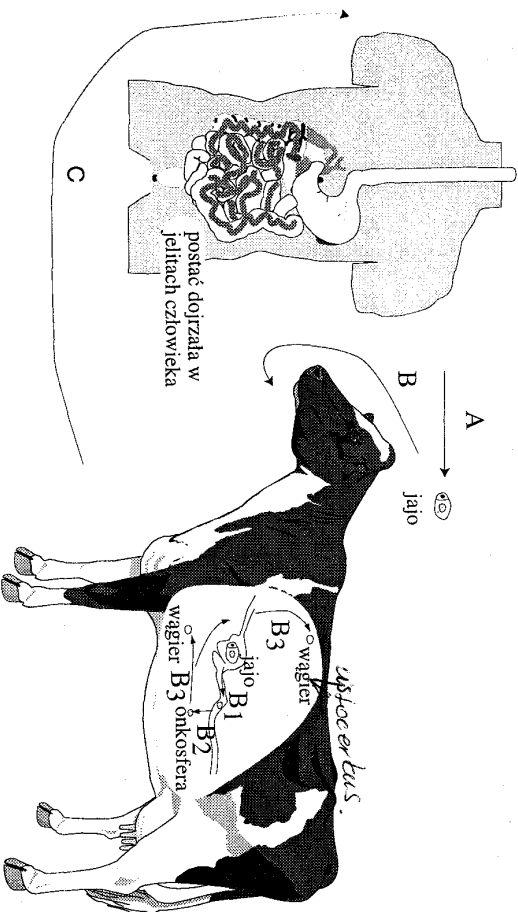


Ryc. 46. Cykl rozwojowy tasiemca bąblowcowego (A — wydalenie jaj z odchodami, B — poknięcie przez żywiciela pośredniego, B₁ — uwolnienie larwy w żołądku, B₂ — przejście onkofery do żyły wrotnej wątrobowej, B₃ — wędrówka z krwią do wątroby i rozwoj pęcherza, C — zjedzenie wnętrzności padłego krowka przez żywiciela ostatecznego). Zwróć uwagę na małe główki w pęcherzu.

Tasiemiec kartowaty (*Hymenolepis nana*) — pasożytuje w gryzoniach, rzadko w ciele człowieka. Żywicielami pośrednimi są pchły i larwy mączniaka młynarka. Ten gatunek tasiemca stanowi wyjątek, gdyż cały jego cykl rozwojowy może odbywać się w ciele jednego żywiciela. Człowiek zaraził się tasiemcem kartowatym, jedząc surową mąkę, zanieczyszczoną odchodami myszy. Poza tym zaraził się spotykając się w domach dziecka, internatach, gdy nie jest przestrzegana higiena osobista. Objawy zaraził: bóle brzucha, nudności, omdlenia. Na szczęście nie jest tak groźny jak poprzedni gatunek.

Tasiemiec nieuzbrojony (*Taeniathyridium saginata*, *Taenia saginata*) — jest najpospolitszym tasiemcem w Polsce (ponad 90% wszystkich tasiemców). Żywicielem ostatecznym tego gatunku jest człowiek (por. Ryc. 42 B i 47). W jego jelcicie dorostła postać tasiemca może pasozytować do 20—30 lat, osiągając nawet 16—18 m długości (przy 2 000 członów). Na główce znajdują się cztery przyssawki, które zabezpieczają

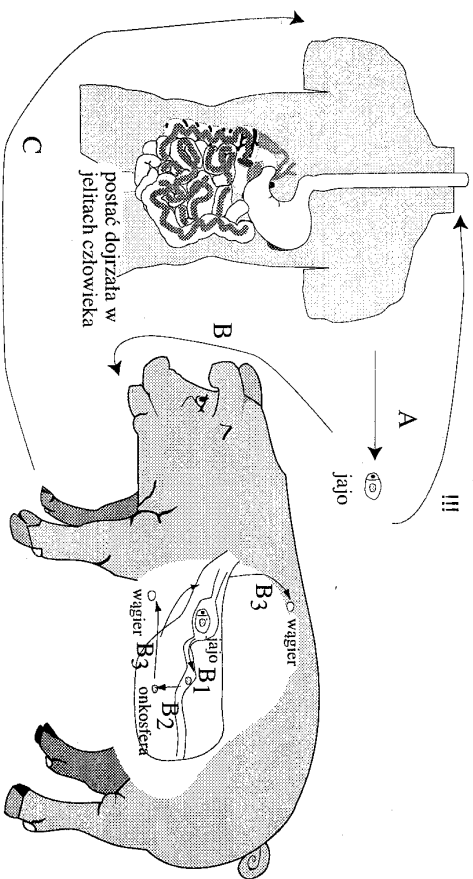
go przed usunięciem. Żywicielem pośrednim jest bydło, które żarza się, zjadając trawę zanieczyszczoną odchodami człowieka. W żołądku przeżuwalca z jaj wydostaje się onkofera (ma 6 typowych haczyków embrionalnych). Przebija ona ściany jelita i z prądem krwi wędruje do mięśni, gdzie przekształca się w cysticerkusa (wągry z wpukloną główką). Ludzie, którzy lubią surowe mięso wołowe (zw. tatar, krwiste befszyki po angielsku, metąg), mogą więc ulec zarazeniu. Dojrzale człony potrafią samodzielnie wypełzać przez odbył dzięki skurczeniu wora powłokowo-mięśniowego. Ich obecność w kale wcale nie świadczy o wydaleniu całego tasiemca. Rozprzestrzaniu się tego pasozyta (ocenia się, że jest nim zarazonych ok. 4% Polaków) sprzyja: ogromna płodność (do 600 milionów jaj na dobę), nawozenie upraw ludzkimi fekaliami i preferowanie pewnych potraw mięsnych. Zarazenie może prowadzić do bolesnych nudności brzucha, czasem nawet do wychudnięcia i zatrucia toksynami (np. objawy żółtaczk). Leczenie polega na podawaniu odpowiednich środków farmakologicznych — koniecznie pod kontrolą lekarza (dla czego, por. niżej). Choroba: **tenioza**.



Ryc. 47. Cykl rozwojowy tasiemca nieuzbrojonego (A — wydalenie jaj z odchodami, B — poknięcie przez żywiciela pośredniego — krowę, B₁ — uwolnienie onkofery w żołądku, B₂ — przejście larwy do żyły wrotnej wątrobowej, B₃ — wędrówka z krwią do różnych mięśni, gdzie wykształcają się wągry, C — zjedzenie surowego mięsa przez człowieka).

Tasiemiec uzbrojony (*Taenia solium*) — jest także wąsko wyspecjalizowanym pasozytem człowieka. Na szczęście jest znacznie rzadszy niż poprzedni gatunek (poniżej 1% zarazeń). Na główce oprócz 4 przyssawek ma wieniec haczyków (por. Ryc. 42 A i 48). Pasożytuje w jelcicie cienkim, gdzie osiąga przeciętnie 2—3 m długości (maksymalnie niżej ok. 8 m przy niemal 1 000 członach). Dojrzale progliotydy nie pełzają czynnie, wydalane są mechanicznie z kałem. Żywicielem pośrednim zwykle jest świnia. Jeśli pokłonie ona dojrzale jaja, to uwalniane w jej jelcicie onkofery przebijają się do krwi (przypominam, że najpierw przemieszczają się do żyły wrotnej wątrobowej). Larwy wędrują po całym krwioobiegu — osadzają się w dobrze ukrwionej tkance mięśniach, np. języka, szyi, w sercu i przeponie. Czasem nawet w mózgu lub oku. Niebezpieczeństwo polega na tym, że człowiek może stać się przygodnym żywicielem pośrednim dla tego gatunku. Wynika to z ogólnej adaptacji tasiemca uzbro-

jonego do żywiciela pośredniego, który jest wszytkożercą (inaczej niż w przypadku tasienica nieuzbrojonego). Jeśli człowiek spożyje jaja inwazyjne na skutek samozarazenia, chorobę nazywa się **cysticerkozą** (gdy jest żywicielem ostatecznym, po prostu **teniozą**). Dlatego uważaj, a w razie podejrzenia o tasieniczyce udaj się do lekarza i tylko pod jego kontrolą poddawaj się odrobaczeniu (często domowe środki wywołują wymioty — zastanów się, dlaczego jest to niebezpieczne?). Rozpoznanie, czy mamy do czynienia z tasieniem uzbrojonym, czy nieuzbrojonym jest dość trudne. Fachowcy rozpoznają kształty macicy, ale najlepszą metodą jest chemiczne barwienie pochw (u *T. solium* odczyn jest dodatni).



Ryc. 48. Cykl rozwojowy tasienca uzbrojonego (A — wydalanie jaj z odchodami, B — poknięcie przez żywiciela pośredniego — swinię, B₁ — uwolnienie onkosfer w żółtku, B₂ — przejście larwy do żyły wrotnej wątrobowej, B₃ — wędrówka z krwią do różnych mięśni, gdzie wykształcają się węgry, C — zjedzenie surowego mięsa przez człowieka). Wykrzykniki oznaczają możliwość samozarazenia.

Reniennic (*Ligula intestinalis*) — długi tasieniec, którego ciało nie jest zewnętrznie czlonowane. Jego larwy są niebezpiecznymi pasożytami takich ryb, jak: leszcz, karp. Z kolei dorosłe postacie rozwijają się w przewodach pokarmowych pakoń wodnych, np. czapli.

ĆWICZ: Objerzyj preparaty formalinowe z tasiencami. Jeśli to możliwe, przerzyj preparaty mikroskopowe główek tasienców i węgów. Wykonaj i opisz ryminy.

PODSUMOWANIE

Do istotnych cech płazniców można zaliczyć:

1. **Splaszczanie grzbieto-brzuszne i symetrię dwuboczną** (bilateralną);
2. Robakowate ciało okryte **worem powłokowo-mięśniowym**, składającym się z jednowarstwowego naskórka i mięśni;
3. Prymitywny **układ pokarmowy**, pozbawiony otworu odbytowego.

4. Pierwotną jamę ciała wypełnioną galaretowatą **parenchymą**. Nie ma więc pustych przestrzeni z płynami tkankowymi, dlatego niektórzy nazywają płaznice zwierzętami bezjamowymi;
5. Prymitywny **układ nerwowy typu ortogonalnego**. Tworzą go parzyście zwoje nerwowe i odchodzące od nich pnie nerwowe. Narządy zmysłów są słabo rozwinięte, szczególnie u paszytów;
6. Dość prosty **układ wydalniczy typu protonefrydalnego**, spełniający głównie funkcje osmoregulacyjne;
7. Brak jeszcze układu oddechowego i krążenia;
8. **Obojnactwo** (hermafrodyzm) — często także mocno rozwidwane narządy rozrodcze;
9. Przejście wielu gatunków płazniców do pasożytniczego trybu życia.

Pytania i polecenia kontrolne:

1. Omów budowę wyprawka jako przedstawiciela wolno żyjących płazniców.
2. Przedstaw schematycznie i opisz budowę morfologiczną tasienca uzbrojonego.
3. Na przykładzie tasienca uzbrojonego omów regresywne zmiany w budowie i funkcjach, przystosowujące tego płaznicę do pasożytniczego trybu życia.
4. Jak zbudowany jest i jaką funkcję pełni układ wydalniczy u płazniców?
5. Przedstaw schematycznie budowę komórki płomykowej z zaznaczeniem kierunku przepływu wydalaných substancji.
6. Jaki typ układu nerwowego posiadają płaznice — scharakteryzuj go.
7. Wyjaśnij pojęcia: żywiciel pośredni i ostateczny.
8. Przedstaw schematycznie cykl rozwojowy tasienca nieuzbrojonego.
9. Jaki tasieniec mogą paszytkować w organizmie człowieka?
10. Scharakteryzuj parandymę. Jaką funkcję pełni w ciele tasienca?
11. Posługując się odpowiednimi przykładami wykaż różnice w budowie i fizjologii wolno żyjących i paszytniczych płazniców.
- *12. Wyjaśnij, dlaczego tasieniec uzbrojony może być bardzo niebezpieczny dla człowieka?
- *13. W jaki sposób człowiek może zarazić się tasieniem bąblowym? Jakiego rodzaju żywicielem jest dla tego tasienca?
- *14. Przedstaw dwa schematy cykli rozwojowych paszytów dróg żółciowych ssaków roślinożernych. Jaki choroby wywołują te paszyty?
- *15. Jaki płaznicę paszytnicze odbywają wędrówki we krwi ssaków?

8. Pochodzenie trójwarstwowców oraz płazińców pasyżniczych

UWAGA: Ze względu na dużą liczbę trudnych pojęć, analiza pochodzenia zwierząt trójwarstwowców została przedstawiona dopiero po charakterystyce robaków płaskich.

Zwierzęta, które mają trzy listki zarodkowe (ekto-, endo- i mezoderme), nazywany **trójwarstwowcami** (grupa *Triploblastica*; por. też Ryc. 10 B). W porównaniu z dwuwarstwowcami, uzyskały one znaczne możliwości rozwojowe (wystarczy jeśli przypomnisz sobie płazińce, a to przecież dość prymitywne zwierzęta). Powstanie trójwarstwowości miało miejsce bardzo dawno, a ponadto nie zachowały się żadne szczątki, które wsparłyby nasze dociekania. Te trudności badacze starają się usunąć stosując analizy porównawcze budowy i rozwoju zarodkowego gatunków żyjących współcześnie. W przypadku filogenezy zwierząt trójwarstwowców, za punkt wyjścia rozważań przyjęto, że osiągnięcie takiego poziomu organizacji ciała wymagało rozwiązania dwóch istotnych problemów:

1. Przejścia do **symetrii dwubocznej** (czyli bilateralnej);
2. Wykształcenia trzeciego listka zarodkowego — **mezodermy**.

Istnieją co najmniej dwie teorie przedstawiające te zagadnienia:

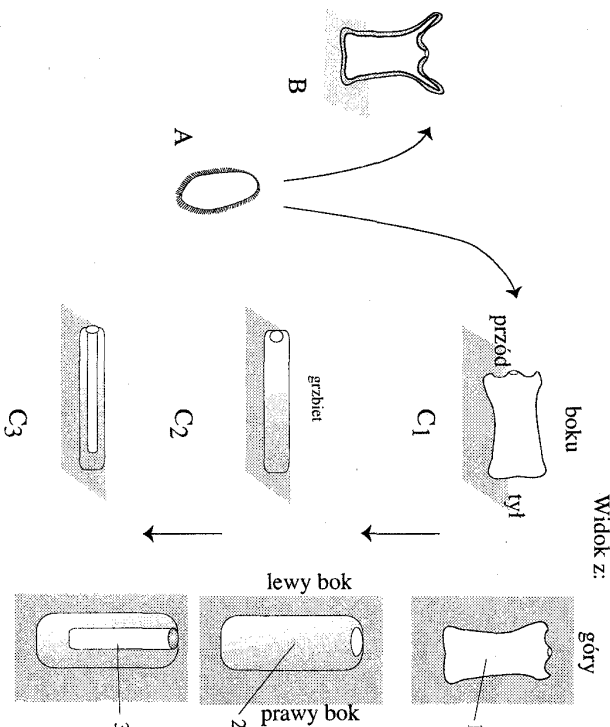
Teoria Langa (dzisiaj ma już tylko znaczenie historyczne) zakładała, że grupą wyjściową były zebropławy (jamochłony, które nie są omawiane w szkole średniej), a pierwszymi, dwubocznymi trójwarstwowcami — wirki wielojeltowe. Lang dostrzegł bowiem, że grupy te cechują istotne podobieństwa, np. plan budowy układu pokarmowego. Jednakże podstawowym i nie jedynym błędem tego badacza było przyjęcie, że pierwszymi płazińcami były zwierzęta o skomplikowanej budowie. Wirki wielojeltowe należą bowiem do najwyższej uorganizowanych płazińców i dzwigne byłoby, gdyby ewolucja grupy zaczęła się od form „najdoskonalszych”.

Teoria Graffa jest znacznie powszechniej uznawana (por. Ryc. 49). Zakłada ona, że przejście nastąpiło od prymitywnych, planulopodobnych jamochłonów do wirków bezejeliowych. Być może także prymitywne zwierzęta nie przyczepiały się do podłoża, tylko przylegały bokiem. Ich otwór gębowy znajdował się w określonym miejscu ciała i skierowany był równoległe do podłoża. Jeśli taki organizm nie utracił zdolności do poruszania się, to przestało dla niego być obojętne, w którą stronę się kierował. Pełzanie zaś było najbardziej efektywne wówczas, gdy otwór gębowy znajdował się z przodu. U takiego organizmu pojęcia: przód, tył i boki stają się bardzo istotne (odmienne niż u jamochłonów!). Dół ciała odbiera inne bodźce niż grzbiet, wreszcie narządy zmysłów powinny koncentrować się w przednim odcinku. Tak się bowiem składa, że to ta część ciała posuwa się do przodu i pierwsza styka się z nowymi bodźcami (np. pokarmowymi, dotykowymi). Stąd rozwój układu nerwowego i koncentracja neuronów następowały w przedniej okolicy ciała (można byłoby uznać to za początek tworzenia głowy). Zwróć uwagę, na jak wczesnym etapie rozwoju ewolucyjnego ten proces już zachodził. Utrwaleniu takich tendencji sprzyjało na pewno grzbietobrzusze spleśzczenie ciała, gdyż w ten sposób m.in. zmniejszało się ryzyko odebrania od podłoża i biernego unoszenia w wodzie.

O ile przejście od symetrii promienistej do dwubocznej nie budzi większych kontrowersji, to problem powstania jelita i mezodermy nie został jednoznacznie rozstrzygnięty. Przyjmijmy jednak takie uproszczone wytłumaczenie. Planulopodobny przodek nie miał jeszcze wykształconej jamy gastralnej. Wnętrze jego ciała wypełniała dość luźna masa komórek endodermalnych. Tej komórki rozszerzały się, co prowadziło do tworzenia pustych przestrzeni. U przodków wirków bezejeliowych przestrzenie te ulegały łączeniu i powstawała prosta, endodermalna jama trawien-

na — coś w rodzaju niedoskonałego jelita. Specjalizacja komórek nabłonkowych tej części ciała prowadziła dalej do rozwoju funkcji trawiennych. W ten sposób mógł powstać układ pokarmowy. Kłopot w tym, że jelio musi mieć odpowiednią warstwę mięśni i w ten sposób pojawia się problem trzeciego listka zarodkowego. Jego pochodzenie wyjaśnia się następująco: niektóre komórki zarodka uzyskiwały zdolność do szybkich, samodzielných podziałów już we wczesnej embriogenezie. Prowadziłoby to do powstania oddzielnych „smug” komórek, które mogłyby intensywnie rozwijać się pomiędzy ekto- i endodermą dając, np. włókna mięśniowe jelita. Być może mezoderma — „słynny” trzeci listek zarodkowy, powstała właśnie w ten sposób. Komórki, które z niej pochodzą, mogły się swobodnie dzielić i tworzyć oddzielne organy. Prawdopodobnie dlatego pierwotne wirki uzyskały większe możliwości rozbudowy wnętrza ciała.

Prawdopodobieństwo teorii Graffa zwiększa też fakt, że współczesne wirki bezejelowe nie mają wyodrębnionych gonad i narządów wydaliniczych.



Ryc. 49. Schemat przejścia od symetrii promienistej do dwubocznej (A — hipotetyczny, wrzęsiony przodek; B — przejście do osiadłego trybu życia i tworzenie jamy gastralnej przez spleśzczenie komórek endodermny; C₁ — przejście do pełzania po podłożu „na boku”; C₂ — spleśzczenie grzbietobrzusze, prowadzące do powstania symetrii dwubocznej; C₃ — rozwiązanie komórek endodermny, prowadzące do powstania prymitywnego jelita; 1 — endoderma trawienna, 2 — parenchyma, 3 — jelio). Stadium B można z grubsza uznać za jamochłona; C₂ za etap wirka bezejeliowego, C₃ za etap wirka prostojeliowego. Zwróć też uwagę na różnorodny charakter ewolucji jamochłonów i zwierząt trójwarstwowców.

Wniosek: Wykształcenie dwubocznej symetrii i mezodermy w zasadniczy sposób zwiększyło sprawność adaptacyjną zwierząt wielokomórkowych. Najlepszą miarą sukcesu *Triploblastica* jest fakt, iż stanowią one zdecydowaną większość znanych zwierząt i zajmują wszystkie typy środowisk.

UWAGA: Teoria Graffa ma też słabe punkty (docieklwym proponuję lekturę odpowiednich rozdziałów „Zoologii bezkręgowców” W. Dogiela oraz „Zoologii bezkręgowców” pod red. E. Grabby).

Pochodzenie paszytnictwa wśród płazinców

Przodkami paszytniczych robaków były zwierzęta wolno żyjące. Tak więc dopiero zajmowanie przez nie specyficznych nisz ekologicznych doprowadziło do istotnych zmian w budowie i funkcjach ciała. Zmiany te mają często charakter uproszczeń i określane są jako **regres ewolucyjny**. Pojęcie to oznacza więc zmniejszanie złożoności budowy i funkcji w wyniku przystosowania do „wąskich” nisz ekologicznych (por. ROZDZ. 7).

U płazinców za cechy paszytnicze należy uznać:

1. **Organy czepne** w postaci specjalnych przysawek, haczyków lub bruzd. Zmniejszają one prawdopodobieństwo usunięcia pasozyta przez gospodarza, np. z jelita;
2. **Brak układu pokarmowego** — pokarm wchłaniany jest całą powierzchnią ciała (cecha ta nie dotyczy przywr¹);
3. **Odporność oskórka na działanie enzymów trawiennych** — widać to u pasozytów jelitowych;
4. **Zdolność do przeprowadzania oddychania beztlenowego** — zasadniczym źródłem energii dla procesów życiowych jest u tych zwierząt glikoliza. Gospodarka energetyczna pasozytów jest więc bardzo rozrzucona, ale obciąża to jedynie gospodarza. Dodac² jednak należy, że zwierzęta te zachowują pełną zdolność oddychania w warunkach tlenowych;
5. **Taśmowate, silnie spleaszczone** ciało ze słabo rozwiniętą muskulaturą wora powłokowo-mięśniowego, co oznacza minimalną możliwość wykonywania ruchów (cecha ta nie dotyczy obłębów³);
6. **Brak układu krążenia i oddechowego**. Cechę tę podaje wiele podręczników, mimo iż jest wyrażenie „naciągana”. Owszem nie ma ani jednego płazińca czy obłębca z tymi układami — dotyczy to jednak tak samo pasozytów, jak i gatunków wolno żyjących;
7. **Brak ubarwienia** — barwa ciała we wnętrzu żywiciela nie spełnia żadnej roli: ani maskującej, ani odstraszającej (tam jest ciemno!);
8. **Zredukowane narządy zmysłów** — tego chyba nie trzeba tłumaczyć;
9. **Obojnaćstwo i zdolność do samozapłodnienia**. Z wyjątkiem przywry krwi wszystkie opisywane w tej książce gatunki płazinców paszytniczych są hermafrodytami. Jeśli więc dochodzi do zeknięcia się dwóch osobników w ciele żywiciela, może mieć miejsce obustronne zapłodnienie. Jest to proste rozwiązanie, zwiększające szanse na sukces prokreacyjny (dla porównania, zeknięcie się dwóch osobników gatunku rozdzielnopłciowego nie oznacza, że zawsze będzie to samiec i samica). Dołożymy do tego zdolność do samozapłodnienia i szanse na wydanie potomstwa wzrosną do 100%;
10. **Rozbudowa układu rozrodczego i olbrzymia płodność**. Biorąc pod uwagę nikłe szanse organizmów potomnych na zrealizowanie całego cyklu życiowego, takie nastawienie się na „produkcję” jaj jest koniecznością;
11. **Złożoność cyklu życiowych z występowaniem żywicieli pośrednich i ostatecznych**. Ze zrowoządkowego punktu widzenia komplikowanie cyklu życiowego jest absurdem (niektóre pasozyty mają aż trzech kolejnych żywicieli). Jeśli jednak nieco się zastanowisz, zrozumiesz, na czym ten problem polega. Otóż, atakowanie określonego żywiciela pośredniego zwiększa szanse zarazzenia żywiciela ostatecznego (np. prawdopodobieństwo bezpośredniego zjedzenia larwy tasienka przez człowieka jest nikłe, jeśli jednak znajduje się ona w smacznym mięsie, to ...). Nieco inne tłumaczenie jest następujące: pasozyty skazane są na dużą „produkcję” jaj

— stąd niewielkie ilości substancji zapasowych. Skutkiem jest pojawienie się małej larwy, która, aby urosnąć, musi się odżywiać — wnika więc do żywiciela pośredniego. W jego ciele zwiększa rozmiar, często rozmnaża się dzieworodnie i dopiero teraz może zaatakować żywiciela ostatecznego. Jak widać, możliwości jest kilka.

UWAGA: Pamiętaj, iż rozważania te nie dotyczą pasozytów zewnętrznzych.

NAJPRAWDOPODOBNIEJ PRZODKAMI PASOŻYTNICZYCH PŁAZINCÓW BYŁY PRYMI-TYWNE WIRKI

Grupa wirków prostojelitowych (z nierozgałęzionym jelitem, wykształconymi zwojami mózgowymi i protonetrydialnym układem wydalinicznym) dała początek wszystkim płazincom. Ewolucja szła tu w kilku kierunkach: rozwoju przystosowań do wolno żyjącego trybu życia (u wirków), albo wykształcenia paszytnictwa zewnętrznego i dalej wewnętrzznego (u tasienków i przywr¹).

PRZEJŚCIE OD WOLNO ŻYJĄCEGO DO PASOŻYTNICZEGO TRYBU ŻYCIA TRWAŁO ZAPEWNE MILIONY LAT

Prawdopodobnie etapem pośrednim był **komensalizm** (forma współżycia dwóch organizmów, gdzie jeden zyskuje, a drugi niczego nie traci; por. ROZDZ. 29). Otóż wiele wirków jeszcze dzisiaj skłomnych jest do zamieszkiwania na ciele większych zwierząt, bądź w ich jamach skrzelowych lub muszlach. Odzywają się tam, „reszkami ze stołu” swego gospodarza. Tacy mali współlokatorzy w przeszłości mogli okresowo odczuwać braki w pożywieniu (ich gospodarz „słabo się starał”). Wówczas nacinali delikatniejsze tkanki swego żywiciela i odzywiali się jego krwią. Odkrycie tak zasobnego źródła pokarmu mogło wywrzeć silną presję, która popierałaby osobniki o rozwiniętych narzędziach czepnych, zdolnych do uszkodzenia tkanek żywiciela. W ten sposób powstałaby już klasycznie pojmowane **pasozyty zewnętrzne** (np. przywry zewnętrzniaki). Niektóre gatunki bytujące w jamach gębowych lub skrzelowych mogły larwo, aczkolwiek przypadkowo, dostawać się do wnętrza przewodu pokarmowego swego gospodarza — tą drogą mogły powstać **pasozyty wewnętrzne**, np. tasienki. Do tych zmian doszło bardzo dawno (być może już w czasie, kiedy pojawiły się pierwsze kręgowce — por. ROZDZ. 17). Pośrednim dowodem na wielkość tego procesu jest bardzo uproszczona budowa tasienków. Nieco inaczej tłumaczy się pochodzenie przywr wewnętrzniaków. Larwy ich przodków były zapewne komensalami wodnych ślimaków, zaś dorosłe postacie zwierzętami wolno żyjącymi. Pierwszym krokiem w nowym adaptacyjnym było przejście larw na paszytnictwo wewnętrzne w tkankach ślimaka. Jeśli ślimaki były żyjące przez kręgowce — przestało opłacać się wychodzenie na zewnątrz. Po prostu formy dorosłe nie opuszczały ciała żywiciela (teraz już ostatecznego) i zaczęły się w nim rozmnażać. Śladem po dość późnym przejściu przodków przywr wewnętrzniaków na paszytnictwo jest zachowanie przez nie rozwiniętego układu pokarmowego i wydalinczego.

Jak już wspomniano, u niektórych gatunków pasozytów występują aż dwa żywiciele pośredni (w sumie więc jest trzech żywicieli). Wykorzystanie drugiego żywiciela pośredniego jest związane ze zwiększaniem prawdopodobieństwa zarazenia żywiciela ostatecznego. Zastanów się też, dlaczego pierwszy żywiciel pośredni jest zawsze przynajmniej częściowo roślinnożerny, a żywiciel ostateczny zawsze częściowo mięsożerny?

Pytania i polecenia kontrolne:

1. Przedstaw teorie dotyczące pochodzenia trójwarstwowców.
2. Czy określenie zmian w budowie i fizjologii organizmów paszytniczych, jako ewolucyjny regres jest słuszne? Uzasadnij odpowiedź posługując się odpowiednimi przykładami.
3. Wyjaśnij, dlaczego złożoność cyklu życiowego pasozyta gwarantuje jego przetrwanie?

9. Charakterystyka obleńców

Typ: **Obleńce** (*Nemathelminthes*; *Aschelminthes*)

Gromada: **Wrotki** (*Rotatoria*)

Gromada: **Nicieńce** (*Nematoda*)

B PRZODKAMI ROBAKÓW OBŁYCH TAKŻE BYŁY PRYMITYWNE WIRKI

Jak widać, wirki były grupą wyjściową dla różnych typów zwierząt. Sprawa pochodzenia robaków obłych budziła sporo kontrowersji jeszcze w połowie naszego wieku. Rozstrzygające okazały się tutaj badania niższych obleńców. Przykładowo u wrotków występują rzęski i typowe układy wydalinicze typu protonefrydalnego (por. niżej). Sposób zakładania się gardzieli i jamy ciała jest u prymitywnych wrotków i nicieni niemal identyczny (niektóre wirki protosteliowe do dzisiaj mają otwór gębowy w przedniej części ciała). U płazinców jamę ciała wypełnia galareto-wata parenchyma, a u obleńców płyn. U części wrotków w parenchymie występują przeszerzenie wypłnione płynem tkankowym — jeśli takie jamy miałyby tendencję do rozszerzania, to parenchyma mogłaby ulec redukcji.

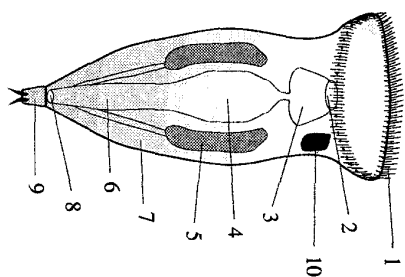
Fakt pochodzenia robaków obłych od prymitywniejszych płazinców nie wyklucza wcale rozwoju (**progresji**) pewnych cech. Jakie więc nowe cechy rozwinęły obleńce?

1. Zmniejszyły, a większość zredukowała całkowicie, urządzenie powłok ciała. Do tego zmałała także liczba komórek budujących poszczególne organy;
2. Usprowadziły funkcje pierwotnej jamy ciała, przez wypełnienie jej płynem. Ten typ jamy ciała określa się jako schizocel;
3. Ich przewód pokarmowy kończy się otworem odbytowym (por. Ryc. 10 B). Można powiedzieć, że system pokarmowy stał się drożny i przez to sprawniejszy;
4. Spłaszczone ciało przodków uległo wyobleniu — stąd nazwa typu: **obleńce**.

Wyszlactczenie form pasożytniczych u obleńców przebiegało prawdopodobnie nieco prościej niż u płazinców. Być może także początkowo organizmy te były komensalami, które przeszły na pasożytnictwo. Jednak u obleńców liczba żywicieli pośrednich jest wyraźnie mniejsza (a często nie ma ich wcale). Trudno to dzisiaj wytłumaczyć.

B OBLEŃCE DZIELIMY NA KILKA CHARAKTERYSTYCZNYCH GROMAD

Najważniejsze z nich są: **nicieńce** (*Nematoda*) i **wrotki** (*Rotatoria*). Te ostatnie liczą tylko ok. 1 500 gatunków, ale przez przez niektórych autorów wyróżniane są jako odrębny typ. Wrotki są bardzo drobnyimi, wolno żyjącymi organizmami wodnymi. Przy wielkości ok. 0,1—1(2) mm dla niewprawnego oka są trudne do odróżnienia od niektórych pierwotniaków (szczególnie trąbka — por. Ryc. 9 B). Workowate ciało opatrzone jest umiędzionym wyrostkiem — nogą. Szluzowa do przemieszczania się lub przywierdzania do podłoża (por. Ryc. 50). Noga nie jest dodatkowym aparatem wrotnym (rzęskowy) — podwójny wieńiec rzęsek otaczający otwór gębowy. Jego zadaniem jest napędzanie pokarmu do przewodu pokarmowego. Najważniejsze jest to, że w tak małym ciele funkcjonują różne układy narządów.



Ryc. 50.
Schemat budowy wrotka (1 — aparat wrotny, 2 — otwór gębowy, 3 — umięśniona gardziel, 4 — żołądek, 5 — gonady, 6 — jelito, 7 — pierwotna jama ciała, 8 — otwór odbytowy, 9 — noga z „palcami”, 10 — zwoj nerwowy).

Otwór gębowy prowadzi do umięśnionej gardzieli wyposażonej w specyficzny aparat żujący (*mastax*). Działa on jak żarna, rozcierając pokarm. Dalej znajduje się duży żołądek gruczołowy, a za nim ciągnie się krótkie jelito, uchodzące otworem odbytowym u podstawy korpusu. Układ wydaliniczy typu protonefrydalnego składa się z pęcherza, do którego uchodzą kanaliki komórek płomykowych. Do tego wszystkiego wrotki mają (co prawda prymitywny) układ nerwowy. Wszystko to mięści się w tym mikroskopijnym ciele, a jakby tego było mało, całość zbudowana jest z niewielkiej, dokładne określonej liczby komórek (np. u wrotka *Epiphanes senta* wynosi ona dokładnie 959!).

Większość wrotków to diploidalne samice, które rozmnażają się **partenogenetycznie** (dzięciworodnie — przypominam, że jest to rozwój jaj bez zapłodnienia). U niektórych gatunków wcale nie ma samców, u innych występuje specyficzna przemiana pokoleń nazywana **heterogonią**. Polega ona ogólnie na tym, że co jakiś czas z haploidalnych jaj łączą się samce (także haploidalne). Ich plemniki zapładniają komórki jajowe, z których łączą się diploidalne samice.

Gromada **nicieńce** (*Nematoda*) liczy ponad 80 tysięcy gatunków, które tworzą trzon obleńców. Biorąc pod uwagę możliwości adaptacyjne, jest to jedna z najplastyczniejszych grup, dlatego zwierzęta te można spotkać niemal wszędzie, począwszy od dna mórz arktycznych, przez zbiorniki wód słodkich, glebę, a na narażkach wewnętrznych innych zwierząt i roślin skończywszy.

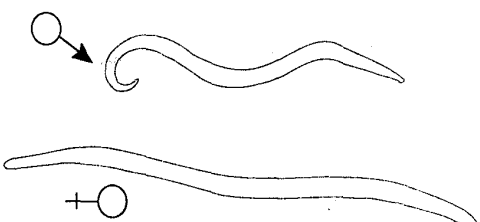
Nieliczne, ok. 60 gatunków, to pasożyty człowieka. Swoją „karierę” nicieńce zawdzięczają prostocie budowy i szczelności oskórka, dlatego pomimo ogromnej różnorodności form wykazują bardzo dużą stałość budowy wewnętrznej. Cechą specyficzną dla tej grupy jest też brak urzęsienia jakichkolwiek komórek ciała, nawet plemników. Większość informacji o budowie ciała obleńców podano na przykładzie glisty ludzkiej.

Morfologia

Robakowate ciało nicieni ma kształt wrzecionowaty — od 0,3 mm do ok. 1 m, ale najczęściej kilka mm (por. Ryc. 51). W przedniej części ciała widoczny jest otwór gębowy, w tylnej odbytowy. Na stronie brzuszej, za otworem gębowym, znajduje się otwór wydaliniczy. Z zewnątrz ciało jest prawie gładkie, pozbawione przydatków.

Ryc. 51.

Budowa morfologiczna glisty ludzkiej — zwróć uwagę na różnice w wyglądzie samca i samicy.



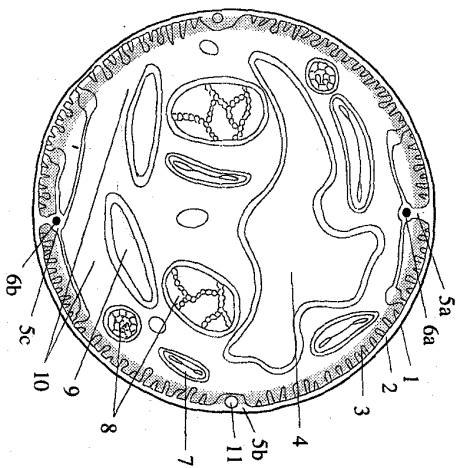
Ściana ciała

OSKÓREK POKRYWAJĄCY CIAŁO OBLEŃCÓW JEST NIEZWYKŁY

Ciało nicieni okrywa **wór powłokowo-mięśniowy** (por. Ryc. 52). Jego zewnętrzną warstwę stanowi bezpłastciowy oskórek, który jest wydzieloną leżącym pod nim jednowarstwowego

nabłonka. Grubość i skład chemiczny oskórka pozwalają swobodnie przenikać wodzie. Jednak dla linnych substancji rozpuszczalnych w wodzie jest on praktycznie nieprzenikliwy (np. węgierek octowy żyje w kilkunastoprocentowych roztworach kwasu octowego). W ten sposób ciało obleńców nie jest podatne na wiele różnych trucizn, a ciało przedstawicieli pasyżytycznych — także na działanie enzymów trawiennych. Pod nabłonkiem leżą pasma mięśni gładkich, odpowiedzialnych za ruchy nicieni.

Zasadniczo tworzą one podłużną warstwę, a poszczególne pasma oddzielone są od siebie tzw. wałkami hypodermalnymi (por. niżej). Mimo braku mięśni okrężnych nicienie dość sprawnie poruszają się (pełzają, pływają) lub utrzymują w jelitach żywiciela.



Ryc. 52. Schemat przekroju poprzecznego przez ciało samicy nicienia (1 — oskórek, 2 — nabłonek, 3 — warstwę mięśni gładkich, 4 — jelito, 5a — grzbietowy wałek hypodermalny, 5b — boczny wałek hypodermalny, 5c — brzuszny wałek hypodermalny, 6a — pień nerwowy grzbietowy, 6b — pień nerwowy brzuszny, 7 — jajnik, 8 — jajowód przecięty w różnych miejscach, 9 — macica, 10 — jama ciała, 11 — kanał wydalniczy).

Jama ciała

Jak już wspomniano, jest to **schizocoel**. Wypełnia go ciecz, która u niektórych gatunków, np. u glist, jest szkodliwa dla oczu, zawiera bowiem kwas walerianowy (jesli zamierzasz zostać parazytologiem, zapamiętaj to). Płyn jamy ciała spełnia kilka funkcji:

1. Szkieletową — nicienie nie posiadają twardych elementów szkieletowych, dlatego o ich kształcie decyduje ciśnienie płynu napierającego na ściany ciała (stąd czasem mówi się o szkielecie hydrodynamicznym nicieni);
2. Zastępuje układ krążenia — w nim odbywa się transport substancji odżywczych z jelita do mięśni oraz do układu rozrodczego. Poza tym szkodliwe metabolity mogą z niego dyfundować do kanałów układu wydalniczego.

Układ oddechowy

Nicienie nie posiadają układu oddechowego. Oddychają tlenowo całą powierzchnią ciała. U pasyżytów jelitowych oddychanie ma charakter beztlenowy (zachowują one jednak zdolność do oddychania tlenowego — tak jak pasyżytnice płazińce). Podstawowym źródłem energii dla tych zwierząt są reakcje rozkładu glikogenu. Ostatecznymi produktami są zaś kwasy organiczne (np. walerianowy i masłowy).

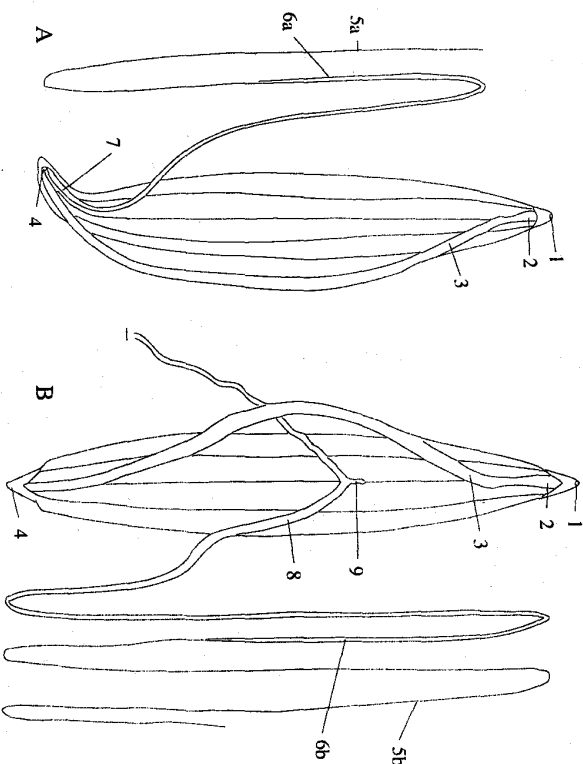
Układ pokarmowy

Przewód pokarmowy nicieni przypomina nieco zwykłą rurę. Otwór gębowy położony jest w przednim końcu ciała (por. Ryc. 53). Ociecają go umiśnione fałdy oskórka nazywane wagami. Za otworem gębowym znajduje się trzyczęściowe jelito o prostej budowie, zakończone otworem odbytowym w tylnej części ciała.

1. Odcinek przedni (**jelito przednie**) — praktycznie jest to ektodermalne, umiśnione rozszerzenie jelita, które może zawierać kutikularne ząbki (u pasyżytów żyjących w płynach ustrojowych) albo kłujęco-ssący sztyciek (u pasyżytów wysysających rośliny). W ścianę gardzieli wbudowane są liczne gruczoły gardzielowe;

2. Odcinek środkowy (**jelito środkowe**) — jest to prosty, endodermalny odcinek wysłany cienkim nabłonkiem. Tutaj zachodzi głównie trawienie i wchłanianie;

3. Odcinek tylny (**jelito tylne**) — krótki, ektodermalny odcinek wyprowadzający.



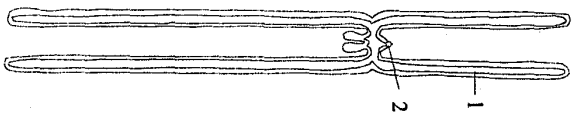
Ryc. 53. Budowa anatomiczna glisty ludzkiej — samca (A) i samicy (B) (1 — otwór gębowy, 2 — gardziel, 3 — rura jelita, 4 — otwór odbytowy, 5a — nitkowate jądro, 5b — nitkowaty jajnik, 6a — nasieniowód, 6b — jajowód, 7 — przewód wytryskowy, 8 — macica, 9 — pochwa).

Jest to więc układ pokarmowy typu przetokowego (praktycznie — drożny). Jednak możliwości trawienia są tutaj stosunkowo niewielkie, dlatego u tych zwierząt także dominuje trawienie na zasadzie endocytóz. Nicienie — pasyżyty roślin, wstępnie trawią na zewnątrz, wstrzykując ślinę z enzymami do tkanek rośliny.

Układ wydalniczy

SYSTEM WYDALNICZY NICIENI MA SWOISTĄ BUDOWĘ

W zasadzie reprezentuje on typ organizacji **protonefrydalny**. Jednak w związku z zamknięciem komórek płomykowych ma bardzo uproszczoną budowę. Praktycznie mogą to być dwie ogromne komórki (jak u glisty ludzkiej). Ich wypustki tworzą podłużne kanały wydalnicze biegnące w wałkach hypodermalnych po bokach ciała. Zwykle w przedniej części ciała kanały te łączą się kanałami poprzecznymi, który uchodzą na zewnątrz. Spoglądając z góry na taki układ widać, że przypomina on wydłużoną literę „H” (por. Ryc. 54 i 52).



Ryc. 54. Schemat budowy układu wydalniczego nicieni — widoczny jest kształt litery „H” (1 — kanał wydalniczy, 2 — otwór wydalniczy).

Dodajmy jeszcze, że system ten u obleńców służy raczej do osmoregulacji niż do usuwania zbędnych produktów przemiany materii. Temu ostatniemu celowi u *Nematoda* służą specjalne, gwałtownie komórki fagocytarne. Są one zdolne do wchłaniania ciał obcych i wyłaczania ich z obiegu, w ten sposób można zneutralizować nawet całe komórki bakterii.

Układ rozrodczy

WIEKSZOŚĆ NICIENI TO ZWIERZĘTA ROZDZIELNOPEŁCIOWE

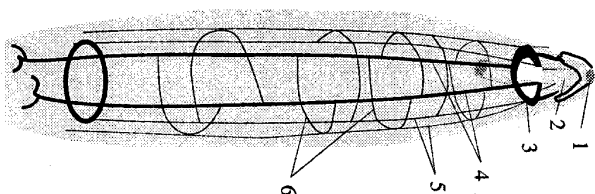
Większość obleńców, inaczej niż plazińce, jest rozdzielнопełciowa. Do tego u części gatunków zaznacza się wyraźny **dyμοrфіzm płciowy**, czyli zróżnicowanie budowy osobników odmiennej płci. U glisty ludzkiej (*Ascaris lumbricoides*) widać go nawet w budowie zewnętrznej — samice są większe (20–30/40 cm) od samców (do 25 cm). Samiec ma też charakterystycznie zagięty tylny koniec ciała. Układ rozrodczy tych nicieni ma budowę nitkowatą (por. Ryc. 52 i 53). U samicy rozpoczyna go nieparzysty otwór rozrodczy położony po brzusznej stronie ciała. Uchodzi do niego krótka pochwa, która rozwidla się na dwie długie macice. W dalszej części zewężają się one w cienkie jajowody, przechodzące w nitkowate jajniki. Te ostatnie wyściele są nabłonkiem, którego komórki zdolne są do intensywnych podziałów mejoitycznych, dających komórki jajowe. Samce posiadają nieparzysty przewód wytryskowy uchodzący do jelita tylnego, tuż przed odbytem. Przewód ten umożliwia wytryskiwanie nasienia z pęcherzyka nasiennego do dróg rodnych samicy (zapłodnienie wewnętrzne). Do pęcherzyka nasiennego prowadzi cienki, długi nasieniowód, będący przedłużeniem nitkowatego, pojedynczego jądra.

Zdecydowana większość nicieni jest **jajorodna**. Tylko nieliczne są jajozwrotnočne (por. niżej — **włósjen**). W cyklu rozwojowym występują larwy, które przypominają osobniki dorosłe (inaczej niż u plazińców). Wzrostowi larw towarzyszą linienia i przeobrażenia, w czasie których zrzucały jest stary oskórek (kutikula). Ciekawe jest także to, że rzadko u nicieni występuje przemiana pokoleń. Więcej informacji o rozrodcie znajdziesz przy opisie nicieni pasożytniczych.

Układ nerwowy

NICIENIE MAJĄ BARDZO PROSTY UKŁAD NERWOWY

Wykazuje on szereg cech prymitywnych — jest **pasowy** i związany z powłokami ciała (por. Ryc. 55). Centrum nerwowe u większości gatunków tworzy **pięścien nerwowy**, otaczający przednią część gardzieli. Od niego odchodzą odgałęzienia nerwowe — 6 krótkich nerwów do przodu i 6 długich pni do tyłu (u innych gatunków ich liczba może być różna). Dwa z pni **grzbietowy** oraz **brzusznym** biegną w walkach hypodermalnych (por. Ryc. 52) i są grubsze niż pozostałe. Pnie nerwowe połączone są ze sobą półpierścieniowymi spoidłami.



Ryc. 55. Schemat budowy układu nerwowego nicieni (1 — otwór gębowy, 2 — gardziel, 3 — zwoje mózgowo tworzące obręczkę, 4 — główne, brzuszne pnie nerwowe, 5 — boczne pnie nerwowe, 6 — spoidła poprzeczne).

NARZĄDY ZMYŚŁÓW SĄ SŁABO ROZWIĘTE

Ma to związek m.in. z trybem życia. Tak się bowiem składa, że wolno żyjące nicienie ryją w podłożu, a pasożyty z zasady mają uwsteczmonne postrzeganie świata zewnętrznego. Tym niemniej u morskich gatunków odkryto **prymitywne** oczka, umożliwiające odróżnianie natężenia światła.

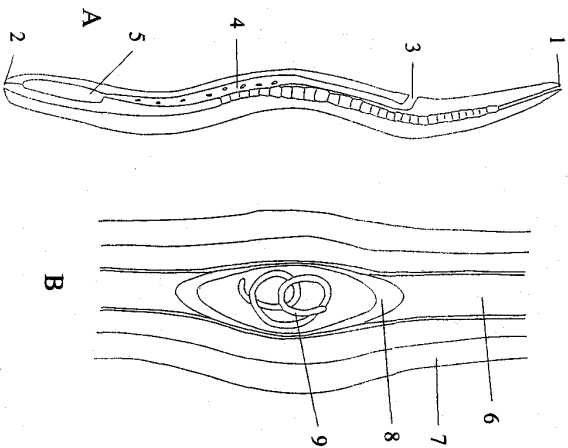
Przeгляд nicieni

Z konieczności ograniczymy go do pasożytów. Zaczniemy od tego, że pewna część nicieni wykorzystuje żywe rośliny jako źródło wysokowartościowego pożywienia. Nlesterzy, niektóre wyrządzają w ten sposób poważne szkody w uprawach. Przykłady: węgorek pszeniczny, mącznik ziemniaczany i buraczany. Wiele innych gatunków pasożytuje na zwierzętach i człowieku (choć roba wywoływana przez nicienia to **nematodoza**). Przejdźmy teraz do nudnego, ale koniecznego przeglądu najważniejszych nicieni, pasożytów człowieka:

— **Glista ludzka** (*Ascaris lumbricoides*) — jest jedynym z najpospolitszych pasożytów człowieka. Według niektórych źródeł do 25% wszystkich ludzi może być nim zarazonych (?). W Polsce liczba zarazeń waha się od 1 do 18% (załeczy od regionu). Glista jest pasożytem jelita cienkiego człowieka. Zwykle u chorych znajdują się nieliczne osobniki, ale u rekordzisty stwierdzono ok. 800 egzemplarzy. Samica składa do 200 000 jaj na dobę. Wydostają się one na zewnątrz wraz z kałem żywiciela. Dodajmy, że jaja są niesamowicie odporne na działanie niekorzystnych czynników. Zachowują one zdolność do rozwoju, czasem nawet po kilku latach leżenia w formahnie! Zarazenie odbywa się przez pokknięcie larw inwazyjnych, które powstają w jajach już po pierwszym linieniu. Najczęściej następuje to po wypiciu brudnej wody lub zjedzeniu niedomytych warzyw, szczególnie sałaty i rzodkiewki. Czasem można też „na być” glistę w basenie kąpielowym. W jelicie cienkim człowieka larwy przebijają ścianę błony śluzowej i przedostają się do naczyń włosowatych, stamtąd z prądem krwi do żyły wątrobowej. Z niej do prawej części serca i dalej do płuc, gdzie ponownie przebijają się, ale tym razem do światła pęcherzyków płucnych. Z nich wędrują do oskrzeli i na zasadzie odruchu wykrztusznego dostają się do gardła. Teraz zostają pokknięte i przechodzą ponownie do jelita cienkiego, gdzie osiagają dojrzałość płciową.

Choroba wywoływana przez glistę nazywa się **glistnicą**. Czasem przebiega ona prawie bezobjawowo. Częściej jednak chory cierpi na świąd skóry, obrzęki twarzy i rąk, izawienie, ma suchy kaszel i objawy alergiczne. Ponadto przechodzeniu larw do pęcherzyków płucnych towarzyszy wysoka gorączka. U małych dzieci glisty czynnie wyędrówują przez żołądek i przelatyk do jamy gębowej (!). Czasem (na szczęście bardzo rzadko) zdarza się, że wchodzi do tchawicy, co grozi uduszeniem się. Zapobieganie to higiena odżywiania się i nienawożenie upraw ludzkimi fekaliami;

— **Włosień kręty** (*Trichinella spiralis*) — pasyzytuje we wszystkich stadiach rozwojowych (por. Ryc. 56). Cykl życiowy odbywa się w dwóch rodzajach narządów: przewodzie pokarmowym i mięśniach poprzecznie prążkowanym.



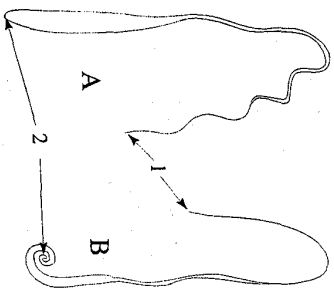
Ryc. 56. Włosień kręty — budowa samicy (A) i duże powiększenie larwy w mięśniu (B) (1 — otwór gębowy, 2 — otwór odbytowy, 3 — otwór płciowy, 4 — macica z larwami, 5 — jajnik, 6 — zdegenerowane włókno mięśniowe, 7 — zdrowe włókno mięśniowe, 8 — ścianka cysty, 9 — zwinęta spiralna larwa).

Zarazenie następuje przez zjedzenie, wraz z mięsem, larwy inwazyjnej (najczęściej znajdującej się w wieprzowinie, rzadziej w mięsie dzika). W żołądku i jelicie człowieka ostonka larwy ulega strawieniu, a sama larwa wędruje do kosmków jelitowych. Tam wiera się w błonę śluzową i dojrzewa płciowo. Samce po kopulacji dość szybko giną. Samice są jałozymorodne — w ciągu 1—2 miesięcy każda rodzi do 2 000 larw, które z prądem krwi wędrują do naczyń włosowatych mięśni poprzecznie prążkowanych, gdzie wwiercają się do włókien mięśniowych. Teraz każda larwa odżywia się kosziem włókna, niszczy je, a następnie zwinia spiralnie i na skutek reakcji odpornościowej gospodarza ulega otobieniu (tzw. larwa mięśniowa albo cysta). Zwróć uwagę, że każde zwierzę zaatakowane przez włosia pętni, jak gdyby, rolę żywiciela ostatecznego, a następnie pośredniego. W czasie wędrowki larw i wwiercania nie stwierdza się objawów chorobowych. Dopiero po ok. 4 tygodniach rozwijają się objawy włosnicy (trychinozy). Są nimi: bóle głowy, zle samopoczucie, wysoka gorączka (do 40 st. C), obrzęki powiek i zapalenie spojówek. Do tego dochodzą bóle stawowe i mięśniowe. Rzecz w tym, że objawy są mało specyficzne i łatwo pomylić je z innymi chorobami. Według ostrożeńskich obliczeń do 3% ludzi w Polsce może być zarazonych tym pasozytem. Zarazenie włosienem może doprowadzić nawet do śmiertci (8 przypadków w Polsce w 1974 r.). Żywicielami włosia mogą być bardzo różne gatunki mięsożerne lub wszystkożerne (np. świnię, lisę, wilka, szczury i człowieka, dlatego zaliczamy go do pasozytów polkieszniczych. Opisano nawet kilka przypadków zarażenia włosnicą w Arktyce (ofiarami byli polarnicy, którzy spożyli niedoszmarzone mięso niedźwiedzi polarnych). Rezerwuarem włosia są przede wszystkim szczury, dlatego profilaktyka sprowadza się m.in. do zabiegów odszczuzrania (deratyzacji). Ponadto najlepiej nie jeść surowej wieprzowiny — badania przy pomocy specjalnego urządzenia, trychinoskopu, nie dają całkowitej pewności, że dane mięso nie zawiera cyst. Dzieje się tak, ponieważ każda sztuka wieprzowiny powinna

být sprawdzana w kilku miejscach (m.in. w przeponie, gdyż jest to miejsce bardzo dobrej ukrwienia), czasem jednak badania mają charakter rutynowy i obejmują jedynie niewielkie wycinki pojedynczych mięśni. Niezłym sposobem zabijania larw jest szybkie zamrożenie mięsa do temperatury -30 st. C (na co najmniej 1 godzinę) lub jego długotrwałe gotowanie. Uwaga — solenie i peklowanie nie daje już takiej gwarancji;

— **Owśnik** (*Enterobius vermicularis*) — podobnie jak glista jest pasozytem monokszennym (przypominam, że oznacza to, iż ma tylko jednego żywiciela). Pasyzytuje w jelicie grubym człowieka, zwykle u małych dzieci (4—7 lat). Choroba nazywa się **owśnicą** (enterobiozą). Zarazenie następuje przez przyzakowe polknięcie jaj. Ich źródłem mogą być niektóre owoce i warzywa, często dochodzi też do samozarazenia u dzieci. Dorosli zwykle zarażają się w czasie kąpieli w basenach pływackich. Objawy owśnicy są dokuczliwe, chociaż niezbyt groźne (szczególnie uciążliwe jest uporczywe swędzenie w okolicy odbytu). Zapobieganie polega głównie na rygorystycznym przestrzeganiu zasad higieny osobistej. Owśnicę i glistnicę można dziś leczyć środkami farmakologicznymi;

— **Włosogłówka ludzka** (*Trichocephalus trichiurus*) — jest pasozytem jelita ślepego, rzadziej grubego. Ma 35—50 mm i cienki, nitkowaty przedni odcinek ciała (por. Ryc. 57). Dzięki temu może głęboko wnikać w błonę śluzową jelita, skąd trudno ją usunąć. Włosogłówka, podobnie jak wcześniej wymienione gatunki, należy do pasozytów kosmopolitycznych. W Europie najwięcej zarazeń ma miejsce na południu — według niektórych źródeł ponad połowę chorozy na trichocefalozę. Ludzie zarażają się jajami, spozrywając nie domyte warzywa i owoce oraz pijąc zanieczyszczoną wodę. Jaja tego pasozyta są bardzo odporne na niekorzystne czynniki atmosferyczne (zachowują zdolność do zarażenia przez ok. 5 lat). W jelicie z jaja wydadają się larwa, z której dojrzewa płciowo dorosły osobnik. Włosogłówki żywią się krwią. Mogą doprowadzać do objawów zapalenia wyrostka robaczkowego, anemii i chorób wrzodowych przewodu pokarmowego;



Ryc. 57. Włosogłówka — samica (A) i samiec (B) (1 — otwór gębowy, 2 — odbyty).

— **Tęgorzyjec dwunastnicy** (*Ancylostoma duodenale*) — jest znacznie bardziej niebezpieczny dla człowieka niż włosogłówka. Szczup się, że tym samym, czernowym niciem zarazonych jest kilkanaście procent ludzi na całym świecie, szczególnie w strefie międzyzwrotnikowej. Tęgorzyjec ma bardzo szeroką gardziel i otwór gębowy, stąd nazwa. Przy ich pomocy głęboko wcepią się w błonę śluzową jelita cienkiego, głównie dwunastnicy. Żywi się fragmentami nabłonków i krwi. Poza tym wydziela toksyny, hamujące krzepnięcie krwi, dlatego do objawów należą m.in. krwawienia z przewodu pokarmowego i anemia. Uszkodzenia jelit często dostają też zakazaniem bakterijnym. Tęgorzyjec jest jajorodny. Jego jaja wraz z kałem dostają się do wody lub wilgotnej ziemi. Z nich wylęgają się larwy, które po dwóch limentach przyjmują postać inwazyjną. Zarazenie następuje przez picie zanieczyszczonej larwami inwazyjnymi wody. Czasem larwy te same czynnie wiercają się przez skórę. Jeśli dostaną się one do krwi, to z jej prądem wędrują do płuc. Przebijają się do pęcherzyków płucnych i drogami oddechowymi przesuwają do gardła. Polknęte larwy przez zarażonego człowieka, pozwała im przedostać się do jelita cienkiego, gdzie dojrzewają.

10. Charakterystyka pierścienie

Typ: Pierścienice (*Annelida*)

Gromada: Wieloszczety (*Polychaeta*) *Nereida*

Gromada: Skąposzczety (*Oligochaeta*) *Dendrobaena*

Gromada: Płajwki (*Hirudinea*)

PIERSIENICE SĄ GRUPĄ WYBITNIE PROGRESYWNĄ

Oznacza to, że w tej grupie pojawiło się dużo istotnych „nowości”, które pozwoliły znacznie zwiększyć możliwości adaptacyjne tych zwierząt. Część z tych modyfikacji ma charakter **aromorfoz** — istotnych zmian w budowie i funkcjonowaniu organizmów, podnoszących je na wyższy poziom rozwoju ewolucyjnego, umożliwiające opóźnienie nowych środowisk (por. też niżej). Rozwiązania „konstrukcyjne” biologicznej w obrębie tej grupy okazały się tak dobre, że pierścienice mogły dać początek najbardziej zaawansowanym bezkręgowcom — stawonogom i mięczakom.

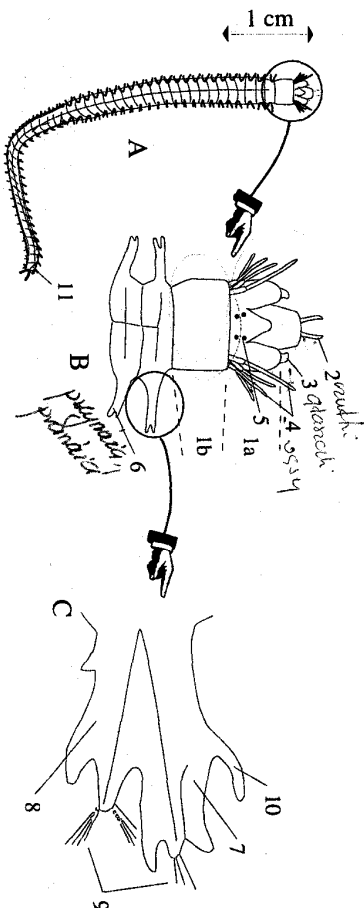
Szczególne ważną grupą są **wieloszczety**, które zostały przedstawione na przykładzie wolno żyjącej **nereidy** (*Nereis* sp.). Do charakterystyki skąposzczetów można wykorzystać wiedzę o **dżdżownicy** (*Lumbricus terrestris*).

Pierścienice są dość liczną grupą zwierząt. Współcześnie znanych jest ponad 9 tysięcy gatunków. Ponad połowa (ok. 5300) to wieloszczety. Właśnie w tej grupie (u form drapieżnych) zaznaczyły się interesujące tendencje rozwojowe. Spróbujmy zestawić je w punktach:

1. Wieloszczety są niemal wyłącznie **wolno żyjącymi** zwierzętami **morskimi** (pasażerów jest bardzo niewiele);
2. Mają ciało podzielone na **pięścieniowate segmenty**, czyli **metamery**. W ich **metamerii** zaznacza się dość wyraźna tendencja do **cefalizacji** (wyodrębniania głowy; por. Ryc. 58). Odcinek głowowy tworzą zmienione płaty: **głowowy** (*prostomium*) i **gębowy** (*peristomium*), powstałe ze złącia się kilku segmentów. W tej części ciała koncentrują się najważniejsze ośrodki nerwowe i aparat obróbki pokarmu (por. niżej);
3. Wszystkie gatunki są **rozdzielnopłciowe**, a ich układ rozrodczy ma prostą budowę;
4. Ich **układ krwionośny** jest dobrze rozwinięty, a u części gatunków hemolimfa zawiera barwniki transportujące tlen;
5. W rozwoju pojawia się larwa — **trochofora** (por. Ryc. 63).

Kształt ciała wieloszczetów jest **robakowaty** (por. Ryc. 58 i 59), na przekroju obły lub nieco grzbieciobrzusnie spłaszczonej. Liczba segmentów waha się od 5 do ponad 800 (jednak u większości wynosi kilkadziesiąt). Z wyjątkiem odcinka głowowego i płata odbykowego (*pygidium*) reszta segmentów jest **homonomiczna**, tzn. są one podobne do siebie w budowie i funkcjach. Na ciele wieloszczetów występują różne przydatki. Najważniejszymi są bezstawowe, dwugłaziste **wyrostki lokomocyjne**, czyli **pranóza** — **parapodia** (nie myl ich z pseudopodiami!). Wyraźną one z boku ciała parami i mają charakterystyczne szczecińki. Parapodia zbudowane są z dwóch „gałzek”: grzbietowej i brzusznej. Na tej pierwszej, u niektórych gatunków, rozwija się **wyrostek skrzelowy**. Pranóza są dobrze ukrwione i umięśnione, dzięki temu pełnią dwie funkcje:

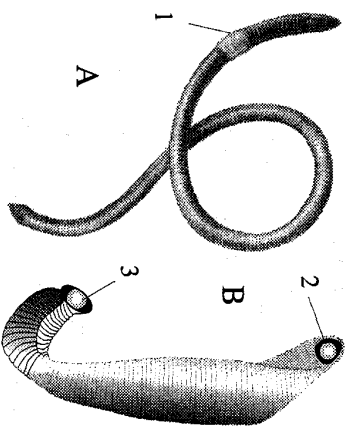
- A) **lokomocyjną** — wykonują ruchy zagarniające, zaczepiając szczecińkami o podłoże;
- B) **oddechową** — ich duża powierzchnia (pomijam nawet ewentualne wyrostki skrzelowe) umożliwia zwiększenie tempa wymiany gazowej.



Ryc. 58. *Nereida* — pokróć ogólny (A) oraz przedni odcinek ciała (B) i powiększenie parapodium (C) (1a — prostomium, 1b — peristomium, 2 — czułki, 3 — głaszczka, 4 — wąsy peristomalne, 5 — oczy, 6 — parapodium, 7 — gałką grzbietową, 8 — gałką brzuszna, 9 — pięćki szczecińki, 10 — rtw. węś grzbietowy, który u wielu gatunków rozwija się w wyrostek skrzelowy, 11 — pygidium).

Na **prostomium** przydatki są liczniejsze i bardziej zróżnicowane. Przede wszystkim zwracają uwagę **głaszczki** (*palpi*) oraz **czułki**. Następny człon to dość duże **peristomium** powstałe ze złącia się dwóch segmentów. W ten sposób dochodzi do wyodrębnienia ośrodka „decyzyjnego” w przedniej części ciała (jest to wspomniany już proces cefalizacji — u stawonogów doprowadzi on do wyodrębnienia ruchomej głowy; por. ROZDZ. 11 i 12).

U skąposzczetów i płajwek **pranóza** nie występują, a proces cefalizacji jest słabszy zaznaczony (na niewielkim prostomium zwykle nie ma głaszczek i oczu). Uwagę zwraca natomiast siodełko, utarwiające krzyżowe zapłodnienie (por. Ryc. 59 i tekst niżej).



Ryc. 59. Budowa morfologiczna dżdżownicy (A) i płajwki leśnej (B) (1 — siodełko, 2 — przysawka gębowa, 3 — przysawka tylna).

Ściana ciała

U wieloszczetów, podobnie jak u wszystkich pierścienic, tworzy ją **wór powłokowo-mięśniowy**. Od zewnątrz występuje nabłonek jedonakarsfowy, wytwarzający oskórek. Pod nabłonkiem leżą dwie dobrze wykształcone warstwy mięśni: **okrężna** i **głębsza** podłużna. U części wieloszczetów wewnętrzna warstwa dzieli się na cztery odrębne pasma. Możesz to potraktować jako sygnał tendencji do tworzenia odrębnych mięśni szkieletowych (por. stawonogi!). Od wnętrza wór powłokowy wysłany jest nabłonkiem celony. U skąposzczetów muskulatura jest dobrze rozwinięta, jednak nie zaznacza się tu podział włókien na pasma (por. Ryc. 60). Dość dobrze rozwinięta muskulatura wora powłokowo-

mięśniowego umożliwia wolno żyjącym piersienciom wyginać ciało i poruszać się w różnych typach środowisk.

Jama ciała

PIERSIENICE POSIADAJĄ WTORNĄ JAMĘ CIAŁA

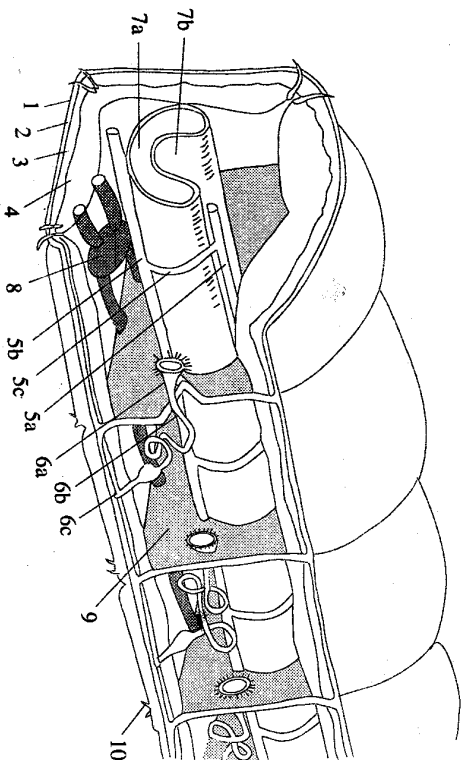
U wszystkich piersiencie w rozwoju zarodkowym mezodermna tworzy metameryczne woreczki — **somitły**. Zakładają się one parami w każdym segmencie, a ich światło stanowi wtórną jamę ciała — **celome**. Ściany somitów łączą się nad i pod jelitem w charakterystyczną kreskę, na której podwieszona jest rura układu pokarmowego. Na granicy segmentów, stykające się nabłonki dwóch somitów wytworząją przegrodę międzysegmentalną (*dissepimentum*). Celoma wypełniona jest cieczą i spełnia różnorodne funkcje: hydroszkieletu, rozprawadająca, wydzielnicza i rozrodczą.

Układ pokarmowy

U PIERŚCIENIC JEST BARDZO DOBRZE WYKSZTAŁCONY

Rozpoczyna się otworem gębowym w przednim segmencie, po brzusznej stronie ciała. U piersiencie funkcjonują wszystkie trzy odcinki:

1. **Ektodermalne jelito przednie** — pierwszą część tworzy niewielka jama gębowa, za którą leży umięśniona gardziel. Na jej powierzchni mogą występować kutikularne ząbki (u form drapieżnych, np. nereidy i pijawek). Dalej prowadzi prosta rura przełyku, który może rozszerzać się w zołądek;
2. **Endodermalne jelito środkowe** — u niektórych skąposzczetów w tej części jelita występuje podłużny fałd — *tyflosolis*, który zwiększa powierzchnię trawienia i wchłaniania;
3. **Ektodermalne jelito tylne** — jest krótkie i niezróżnicowane (u form drapieżnych).



Ryc. 60. Schemat przekroju przez ciało skąposzczetu (1 — oskórek, 2 — nabłonek, 3 — mięśnie okrężne, 4 — mięśnie podłużne, 5a — grzbietowe naczynie krwionośne, 5b — brzuszne naczynie krwionośne, 5c — naczynie okrężne, 6a — lejek urzęsiony, 6b — kanalik wydalinowy, 6c — otwór wydalinowy, 7a — jelito, 7b — tyflosolis, 8 — zwoj nerwowy, segmentalny, 9 — przegroda międzysegmentowa, 10 — szczeczinki).

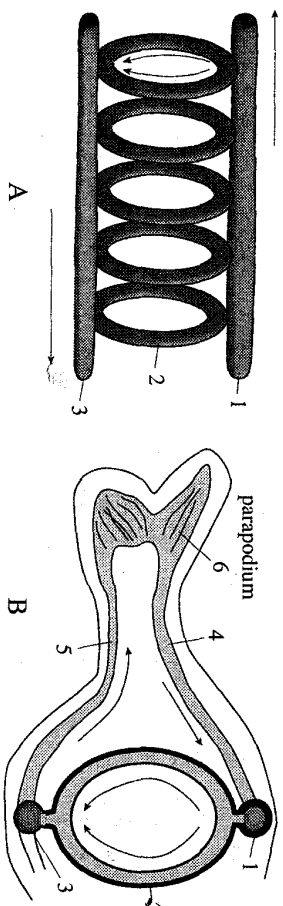
Układ krążenia

UKŁAD KRĄŻENIA WIĘKSZOŚCI PIERSIENIC JEST ZAMKNIĘTY

W zasadzie składa się z dwóch podłużnych naczyń głównych (por. Ryc. 60 i 61):

- A) kruczliwego **grzbietowego**, położonego nad jelitem i toczącego krew do przodu;
- B) **brzuszego**, położonego pod jelitem, w którym krew płynie do tyłu.

Naczynia te połączone są ze sobą tzw. **naczyiniami okrężnymi** umieszczonymi w przedniej części ciała oraz poprzez szereg mniejszych naczyń biegących w powłokach ciała i okalających jelito. Zapamiętaj jednak, że brak w nim wyodrębnionego serca. Jego funkcję pełni kruczące się rytmicznie naczynie grzbietowe, np. u nereidy, lub naczynia okrężne, np. u dżdżownicy. Krew zwykle jest barwna — zawiera czerwoną **hemoglobinę** albo zieloną **chlorokrurocyjanę**. Barwniki te są rozpuszczone w osoczu (por. to później z kręgowcami). Sieć naczyń włosowatych jest szczególnie dobrze rozwinięta w parapodiach, powłoce ciała i na jelicie środkowym (zastanów się, dlaczego?).



Ryc. 61. Schemat układu krążenia piersiencie (A — widok z boku, B — przekrój poprzeczny u nereidy; cyframi 1—6 oznaczono naczynia: 1 — grzbietowe, 2 — okrężne, 3 — brzuszne, 4 — grzbietowo-parapodiálne, 5 — brzuszno-parapodiálne, 6 — naczynia włosowate). Strzałki pokazują kierunek przepływu krwi, widoczna jest też grubsza mięśniówka naczynia grzbietowego.

Układ wydalinowy

U WSZYSTKICH PIERSIENIC ZBUDOWANY JEST Z NEFRYDIÓW

Podstawowy element układu wydalinowego piersiencie — **nefrydium** zbudowane jest z urzęsionego lejka, olwierającego się do jamy ciała (por. Ryc. 60). Lejek ten filtruje z celomy metabolity, które przekazujące są do kanalika wydalinowego, uchodzącego otworem wydalinowym na zewnątrz. Cały układ zbudowany jest z wielu nefrydiów. Wygląda to w ten sposób, że w każdym segmencie jest para nefrydiów, których kanaliki wyprowadzające przebijają przegrodę międzysegmentalną, wchodzą do następnego segmentu i w nim uchodzą na zewnątrz. Tak widąc budowa układu wydalinowego odzwierciedla segmentację ciała — stąd jego nazwa **metanefrydialny**. W istocie jest to pierwszy układ, który może oprócz osmoregulacji sprawnie usuwać zbędne i szkodliwe produkty przemiany materii.

Układ nerwowy

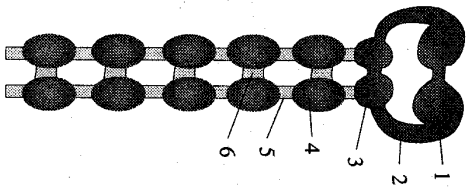
U PIERŚCIENIC ODDZIELA SIĘ ON OD POWŁOK CIAŁA

Jest to ważna cecha, gdyż dopiero zanurzenie układu nerwowego pod powłoki ciała daje mu pełne możliwości rozwoju i powoduje, że centrum nerwowe jest lepiej chronione. Centralny układ nerwowy składa się z (por. Ryc. 60 i 62):

- A) parzystych **zwojów nadgardzielowych**, które osiągają dość znaczne rozmiary i tworzą **mózg**. Od zwojów tych odchodzą **obraczki okologardzielowej**, łączące ze sobą mózg i zwoje podgardzielowe;

UWAGA: Podłużne połączenia zwojów leżących w różnych segmentach nazywane są **konktywami**. Poprzeczne spoidła łączące zwoje jednego segmentu nazywane **komisurami**.

- B) **brzusznym łańcuszkiem nerwowym** — składa się z parzystych zwojów rozmieszczonych w każdym segmencie, połączonych konkwtywami. U form prymitywnych rozdzielnie prawej i lewej części jest wyrazne (por. Ryc. 62), stąd wziął się charakterystyczny wygląd i nazwa — **drabinkowy układ nerwowy**. U bardziej zaawansowanych piersiennic zwoje segmentalne zlewają się w jeden (por. Ryc. 60). Wyglądem przypomina to łańcuszek zaczynający się zwojami podgardzielowymi i kończący zwojami w płacie analnym — stąd nazwa. Brzusznym łańcuszkiem nerwowym jest więc odmianną układ drabinkowego. Bez względu na stopień specjalizacji, układ nerwowy wszystkich piersiennic zawsze znajduje się po brzusznej stronie ciała.



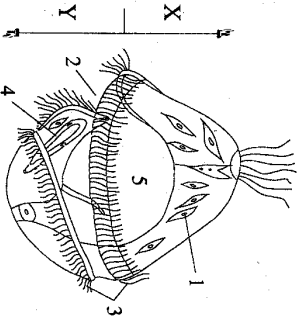
Ryc. 62. Schemat organizacji układu nerwowego prymitywnej piersiennicy — widok z góry (1 — zwoje nadgardzielowe, 2 — obrączka okologardzielowa, 3 — zwoje podgardzielowe, 4 — zwoje segmentalne, 5 — konkwtywa, 6 — komisura). Widoczny jest „drabinkowy charakter” tego układu.

U licznych wieloszczetów funkcjonują proste oczka umieszczone w grzbietowej części ciała, na *prostomium* (ich budowy nie musisz znać).

Układ rozrodczy

WIELOSZCZETY PRZECHODZĄ ROZWÓJ ZŁOŻONY

Przypomnijmy, że są to organizmy rozdzielnoplciowe o prostej budowie układu rozrodczego. Dymorfizm płciowy zaznaczony jest słabo. Gonady z reguły występują w niektórych segmentach. Komórki jajowe zwykle wydostają się na zewnątrz poprzez nefydia. Zapłodnienie zwykle jest zewnętrzne.



Ryc. 63. Trochofora — larwa wieloszczetów (X — część górna, z której powstaje jedynie peritremium, Y — część dolna, z której powstaje cała reszta ciała; 1 — pojedyncze włókna mięśniowe, 2 — otwór gębowy, 3 — rzęski, 4 — protonefrydium, 5 — jelito).

Brzdkowanie jest całkowite i spiralne. Rozwój zarodka prowadzi do powstania planktonowej larwy — trochofory. Jest to twór urzęsiony i z grubsza kulisty. Ma już prosty układ pokarmowy i parę protonefrydów. Ze „słynnego” blastomu 4d rozwijają się w niej woreczki mezodermalne. Trochofora posiada też prosty układ nerwowy i narządy zmysłów. Po osiągnięciu odpowiednich rozmiarów ulega przeobrażeniu w postać dojrzalą.

Charakterystyka skąposzczetów i pijawek

Grupy te wykazują szereg różnic w porównaniu z wieloszczetami. Przede wszystkim są obojnakami. Gonady nie są metameryczne. Przypominam też, że parapodia skąposzczetów i pijawek ulegają redukcji, a szczernek jest mniej. Na powierzchni ciała skąposzczetów znajduje się wspomniane już zgrubienie — siodełko, które umożliwia krzyżowe zapłodnienie. Później w okolicy siodełka produkowana jest śluzowa wydzielina, tężejąca w specjalną mufę, do której składane są jaja. Zsuwająca się z odcinka głowowego (z palca) mufa zamyka się i przekształca w kokon jajowy. W jego wnętrzu zarodki mają korzystne warunki rozwoju, dzięki czemu rozwój jest prosty (można mówić tutaj o wyraznej adaptacji do lądowego trybu życia). Budowa układu rozrodczego pijawek i strategia rozwoju zarodkowego tych piersiennic jest taka jak u skąposzczetów. Jaja także składane są do kokonów, chociaż niektóre pijawki nie mają typowego siodełka.

Skąposzczety (*Oligocheta*) — budowa anatomiczna tych zwierząt mocno przypomina wieloszczety. Przykładem jest znana wszystkim **dżdźownica (*Lumbricus*)**. Jest to glebożerca z dobrze rozwiniętym układem pokarmowym. Posiada gruczoły wapienne, uchodzące do gardzieli i neutralizujące kwas humusowe gleby. Ma także dobrze wyodrębniony żołądek. W jelicie środkowym zwraca uwagę *tyflosolis*. Naczyń okrężnych w układzie krwionośnym jest dokładnie 5 (w segmentach 7 do 11; por. Ryc. 61 A). Dżdźownice odgrywają ogromną rolę w użyznianiu gleb.

Pijawki (*Hirudineae*) — najbardziej odlegają od przodków piersiennic (por. Ryc. 59 B). Znanych jest ok. 400 gatunków morskich, słodkowodnych i bardzo rzadko lądowych. Pijawki najczęściej są paszytkami zewnętrznymi kręgowców i bezkręgowców, rzadziej drapieżnikami. Brak wyraźnego odgraniczenia płatów przednich i tylnych od pozostałych oraz wrotny podział segmentów na pierscienie zewnętrzne, świadczą o pewnym regresie ewolucyjnym. Tak więc to, co widzisz oglądając pijawkę, to liczne, niewielkie, pierscienopodobne połatowania powłoki ciała, a nie metamery (ich rzeczywiście liczba jest mniejsza i wynosi 34). Ciało zwykle jest grzbie-tobrzuśnie spłaszczone, w przedniej i tylnej części ciała występują przysawki: przednia, otaczająca otwór gębowy i tylna. Pasożyty nacinają ząbkami ciało ofiary i wysysają z niej krew. Dzięki wydzielinie specjalnych gruczołów — **hirudinie** — krew ofiary nie krzepnie i może być magazynowana w wolu nawet przez kilkanaście miesięcy.

— **Pijawka lekarska (*Hirudo medicinalis*)** mierzy do 15 cm długości i ma trzy poma-ranżowe pasma na ciemnym grzbiecie. Można ją spotkać, ponieważ występuje w Polsce. Na ciele ofiary zostawia charakterystyczne, trójpromieniste nacięcia (aktuje płazy, ryby, a czasem ssaki). Do dzisiaj wykonywana jest w tzw. medycynie ludowej (np. w leczeniu zakrzepów).

— **Drapieżna pijawka końska (*Haemopsis sanguisuga*)** polyka w całości larwy owadów i drobne pierscienie.

— Z punktu widzenia człowieka wiele innych gatunków pijawek jest wręcz szkodliwych. Na przykład pospolita **pijawka rybia (*Piscicola geometra*)**, która długim rykiem wciera się w ciało ryby i ssie krew, może wyniszczyć całe hodowle karpia. Z kolei potrzebna, lądowa **Haemadipsa ceylanika** z Cejlonu potrafi wręcz napadać na ludzi. Wstrzykuje przy tym środek znieczulający, tak że ofiara przez jakiś czas może nawet nie wiedzieć o obecności pasożyta. W gorącym klimacie takie rany łatwo ulegają infekcjom.

PODSUMOWANIE

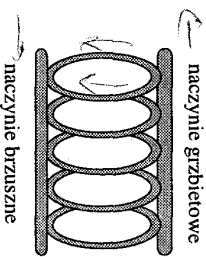
Do istotnych cech pierścienia należałoby zaliczyć:

1. Robakokształtne ciało składające się z krótkich, pierścieniowatych odcinków — segmentów (**metamerów**). Każdy z nich zawiera komplet narządów. Z wyjątkiem płatu głowowego (*prostomium*) i odbytowego (*pygidium*), reszta metamerów jest bardzo do siebie podobna — nazywany to **metamerią homonomiczną** (segmentacją jednorodną);
2. Włókna mięśniowe **poprzecznie prążkowane**, pojawiające się w worze powłokowo-mięśniowym;
3. Zaczątki systemu lokomocyjnego i oddechowego tworzone u wieloszczetów przez parapodia;
4. Dobrze rozwinięty, **zamknięty układ krążenia**, pozbawiony serca (cecha ta nie dotyczy wszystkich gatunków);
5. Posiadanie wrotnej jamy ciała — **celony**;
6. Zróżnicowany morfologicznie i czynnościowo układ pokarmowy;
7. Sprawny **układ wydalniczy typu metanefrydialnego**;
8. Rozdzielnopłciowość najprymitywniejszych form, u części wtórnie pojawiło się obojnactwo. U wieloszczetów w rozwoju złożonym występuje larwa — **trochofora**;
9. Dobrze rozwinięty, **drabinkowy układ nerwowy**, który przyjmuje postać tzw. brzusznego łańcuszka nerwowego i jest oddzielony od powłok ciała. Narządy zmysłów dobrze rozwinięte;

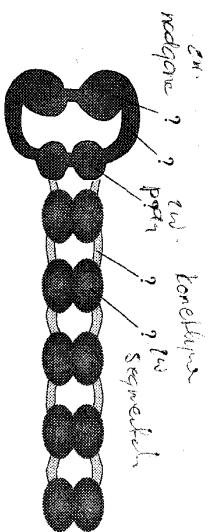
UWAGA: Pojawienie się celony, systemu lokomocyjnego i układu krążenia należy zakwalifikować jako **aromorfozy**.

Pytania i polecenia kontrolne:

1. Przedstaw ogólną charakterystykę pierścienia na przykładzie nereidy.
2. Jak zbudowane są i jaką funkcję pełnią parapodia?
3. Wyjaśnij pojęcie metameria homonomiczna?
4. Jakie funkcje spełnia celona pierścienia?
5. Omów budowę i funkcję układu krwionośnego pierścienia na przykładzie dżdżownicy.
6. Narysuj podobny do przedstawionego poniżej, schemat układu krwionośnego dżdżownicy. Podpisz elementy zaznaczone znakami zapytania i wprowadź strzałki ilustrujące kierunek przepływu krwi.



7. Schemat przedstawia układ nerwowy dżdżownicy. Narysuj podobny i podpisz elementy jego budowy.



8. Jak przebiega proces rozmnażania u wieloszczetów?
9. Postępując się odpowiednimi przykładami wskaż różnice w budowie i fizjologii pomiędzy skąposzczetami i wieloszczetami.
10. Jak pijawka lekarska przystosowała się do pasyżystnictwa?
11. Jaki jest znaczenie dżdżownic w przyrodzie i gospodarce człowieka?
- *12. Dlaczego sieć naczyń włosowatych jest szczególnie dobrze rozwinięta w parapodiach, powłoce ciała i na jelicie środkowym?
- *13. Wyjaśnij pojęcie aromorfioza. Omów cechy aromorficzne pierścienia.
- *14. Wskaż podobieństwa i różnice w budowie i fizjologii obleńców i pierścienia.

11. Pochodzenie i radiacja stawonogów

PRZODKAMI STAWONOGÓW BYŁY PRYMITYWNE, MORSKIE WIELOSZCZETY

Oprócz kopalnych szczątków o pokrewieństwie stawonogów i pięścienie świadczy także wiele cech budowy i rozwoju zarodkowego. Przykładowo, wieloszczety i stawonogi do dzisiaj zachowały podobieństwa w:

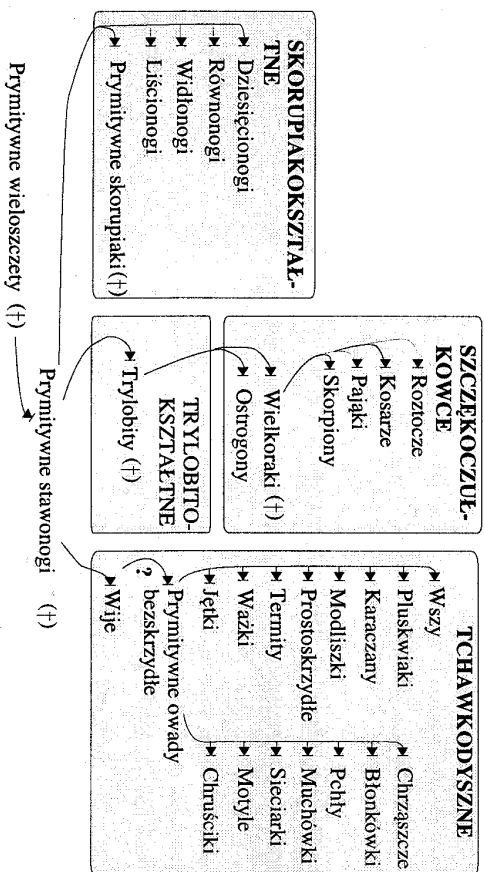
- podstawowym planie budowy ciała;
- tendencjach do cefalizacji i sposobie wykształcania odnóży. U prymitywnych skorupiaków sposób rozmieszczenia tych ostatnich oraz ich dwugąłzista budowa wyraźnie nawiązują do wieloszczetów;
- praktycznie takim samym sposobie zakładania się mezodermny;
- budowie układu nerwowego.

Pierwsi przedstawiciele stawonogów najprawdopodobniej pojawili się już w kambrze. Długotrwała ewolucja tej grupy doprowadziła do wytworzenia wielkiej różnorodności form, które opanowały wszystkie typy środowisk. Umożliwiła im to prosta, ale jednocześnie bardzo plastyczna konstytucja biologiczna. Zastanówmy się teraz, jakie problemy stoją przed organizmami, które zajęły tak różnorodne środowiska? W tym momencie, żeby „nie zginać” w powodzi informacji, wyznaczmy roboczo dwa zasadnicze etapy (i jednocześnie kierunki) rozwoju stawonogów, które będziemy po kolei analizować: starszy i bardziej pierwotny etap „wodny” oraz nowszy, bardziej progresywny etap „lądowy”.

Podstawy sukcesu ewolucyjnego wszystkich stawonogów powstały już na pierwszym etapie. Pierwotnie wodne formy:

1. Rozwinięły sprawną system lokomocyjny, oparty o dwugąłziste, stawowe odnóża, które powstały z przekształconych parapodiów;
2. Wykształciły sztywne, zewnętrzny szkielet w postaci pancerza chitynowego chroniącego i wzmacniającego ciało. Umożliwiło to m.in. zwiększenie wymiarów ciała tych zwierząt;
3. Usprawniły gospodarkę wodno-mineralną;
4. Rozwinięły system oddychowy. Na tym etapie były to skrzelaki;
5. Wykształciły pompę tłoczącą krew — rurkowane serce;
6. Zmienili homonomiczną segmentację ciała. Już w początkowym okresie silnie zaznaczyła się tendencja do cefalizacji. Specjalizacja członów szła dalej w stronę **metamerii heteronomicznej** — późniejszym skutkiem tych procesów było wytworzenie **tagm**, czyli części ciała, np. głowotulowia i odwłoka;
7. Przekształciły część przednich odnóży w **aparaty gębowe**, umożliwiające dokładną obróbkę pokarmu;
8. Rozwijały układ nerwowy i narządy zmysłów.

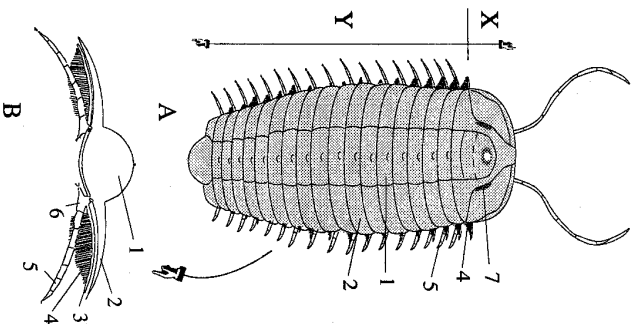
11. POCHODZENIE I RADIACJA STAWONOGÓW



Ryc. 64. Uproszczone drzewo rodowe stawonogów

WODNĄ LINIĘ ROZWOJOWĄ POCZĄTKOWO REPREZENTOWAŁY TRYLOBITY

Podtyp **trylobitokształtne** (*Trilobitomorpha*) pojawił się już we wczesnym kambrze. Grupa ta osiągnęła maksimum rozwojowe w środkowym paleozoiku i wymarła pod koniec tej ery. Trylobity prowadziły przydenny tryb życia i wykazywały szereg cech prymitywnych, m.in. miały słabo zaznaczoną metamerię heteronomiczną (głowa + homonomiczny korpus) i niezróżnicowane odnóża z wyrostkami skrzelowymi (por. Ryc. 65). Do cech progresywnych należy jednak zaliczyć członowanie tychże dwugąłzistych odnóży. Zwierzęta te zaliczamy do tzw. skamieniałości przewodnich paleozoiku (charakterystycznych dla tej ery). Przyпуска się, że są spokrewnione ze szczękoczułkowcami (por. Ryc. 1 i 64 oraz tekst poniżej).



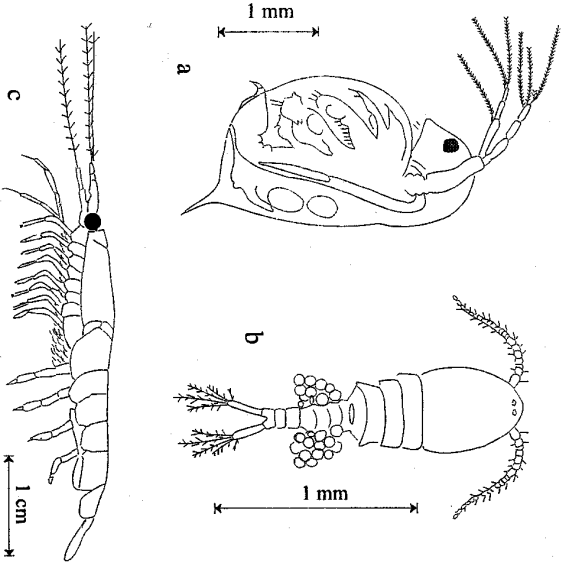
Ryc. 65.

Budowa morfologiczna (A) i przekroju poprzecznego przez ciało trylobita (B) — zwróć uwagę na słabo zróżnicowaną metamerię i dwugąłziste odnóża. X — głowa, Y — tułów, 1 — korpus, 2 — boczna część ciała, 3 — wyrostek skrzelowy, 4 — płaki skrzelowe, 5 — odnóża, 6 — człon podstawowy odnóża, 7 — oko.

UWAGA. Problem dwugąłzistości odnóży trylobitów nie jest taki prosty. Według niektórych badaczy są one jednogąłziste. Docieklwym proponuję zajrzeć do „Zoologii bezkręgowców” pod red. E. Grabdy.

Przedstawiciele podtypu skorupiakokształtne (skrzelodyszne, *Branchiata*, *Crustaceomorpha*) żyją we wszystkich typach zbiorników wodnych. Współcześnie grupa ta liczy niewiele ponad 26 000 gatunków zebranych w jedną gromadę — skorupiaci (*Crustacea*). Jednakże ich długotrwała ewolucja rozpoczęła się już w kambryzie i doprowadziła do powstania bardzo skrajnych przystosowań. Zwraca też uwagę, że u wszystkich przedstawicieli odnóża poszczególnych odnóżek ciała są zawsze zróżnicowane. Pomimo to skorupiaci zachowywali bardzo prymitywną cechę — dwugątelistość odnóży (podobnie jak u tylobitów).

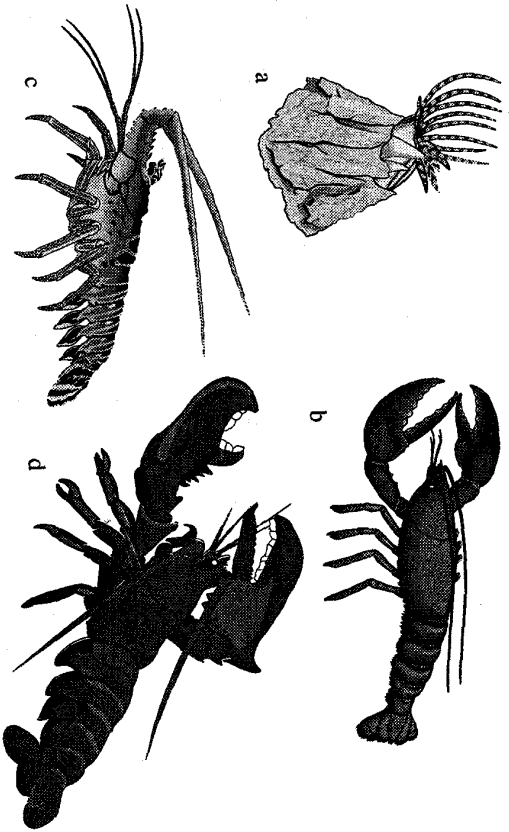
Gromadę skorupiaci współcześnie dzielimy na szereg grup, a ściślej rzędów, których dokładna znajomość nie jest wymagana. Do niżej uorganizowanych zaliczamy m.in. małulki, słodkowodne **rozwiłtki** (*Daphnia*, por. Ryc. 66 A), **oczliki** (*Cyclops*, por Ryc. 66 A). Stanowią one pokarm dla ryb, ale same często są także aktywnymi drapieżnikami i planktonożercami (oczywiście w swojej „milimetrowej” klasie wielkości). Większe rozmiary osiągają przekopnice (*Triops*, spotykane np. w kałużach i rowach), **kietże** (*Gammarus*, występujące m.in. w Bałtyku i niektórych potokach) oraz słynny, antarktyczny krył (*Euphausia*, por. Ryc. 66 A), będący źródłem pożywienia waleni fiszbinowych.



Ryc. 66 A. Przykłady skorupiaków „niższych” (a — dafnia, b — samica oczlika z przyczepionymi do odwłoka jajami, c — czepionymi do odwłoka jajami, c — krył).

Bardzo oryginalne przystosowania wykazują pąkle (*Balanus*), spotykane w morzach pełnostojnych i naszym Bałtyku. Skorupiaci te przeszły do osadłego trybu życia i zupełnie nie przypominają swoich „normalnych” krewniaków (por. Ryc. 66 B). Wyglądają jak stojkowe baszty, z których wystają cienkie odnóża wyłapujące pokarm z zawiesiny wodnej. Potrafią przytwierdzić się do najdziwniejszych podwodnych obiektów, np. pali, muszli, a nawet skóry rekinów i wielorybów. Najwyżej uorganizowane skorupiaci grupujemy w rząd **dziesięcionogi** (*Decapoda*). Nazwa systematyczna tej grupy wzięła się od 5-ciu par odnóży krocznych. W Polsce występują nieliczne gatunki, m.in. raki — stawowy (por. Ryc. 66 B), rzeźny i amerykański oraz **krewecka nakrapiana** (batycka). Kraby reprezentowane są w naszej faunie przez **kraba wielostorękiego** i **krabika amerykańskiego**. Do największych dziesięcionogów zalicza się niewątpliwie **langusty** i **homary** (dochodzą do 80 cm i kilkunastu kilogramów masy ciała, por. Ryc. 66 B).

Niewielka część przedstawicieli tej grupy dość skutecznie opanowała niektóre nisze ekologiczne w biocenozach lądowych (przykładami mogą być pewne gatunki krabów i stonog).



Ryc. 66 B. Skorupiak osiadły — pąkla (a) oraz przedstawiciele rzędu dziesięcionogów reprezentujących skorupiaci „wyższe” — rak (b), langusta (c) i homar (d).

WYJŚCIE STAWONOGÓW NA LĄD NIE NASTĄPIŁO OD RAZU

Faktem jest, że część stawonogów stopniowo przeszła do lądowego trybu życia. Szerzej mówiąc, nie znamy jednak dokładnie ani datowania, ani drogi ewolucyjnej tego procesu. Pozostaje nam próba wyobrażenia sobie przed jakim problemami „stanęli” przodkowie form lądowych (pamiętaj o nich, gdy będziesz analizował filogenezę kręgowców lądowych w ROZDZ. 21):

1. **Wymiana gazowa** — warunki lądowe wykluczają zastosowanie skrzelii. Są one zbyt delikatne i szybko zlepiają się, gdy nie działa prąd wody, usprawniający wymianę gazową. Wreszcie skrzelia po prostu wysychają (jak wiesz wyklucza to dyfuzję gazów). Jest jednak pewna zaleta życia w warunkach lądowych — zawartość tlenu w atmosferze jest wielokrotnie większa niż w wodzie (zastanów się, jakie korzyści z tego wynikają?). Rozwiązanie: wytworzenie mniejszych powierzchni oddechowych ukrytych we wnętrzu ciała i mniej wrażliwych na skutki grawitacji. Zapewniły to dwa niezależne systemy: tchawkowy i płucotchawkowy;

2. **Bilans wodny** — na lądzie każdemu zwierzęciu grozi utrata wody, głównie przez powłoki ciała, powierzone oddechowemu oraz z noczem. Dla stawonogów ten pierwszy kłopot był nieistotny — wytworzony wcześniej pancerz chitynowy doskonale izolował te zwierzęta od początku ich „lądowej kariery”. Niejako „przy okazji” ukrycie powierzchni oddechowych pod powłokami ciała umożliwiło także zmniejszenie strat wody przez sam system oddechowy. Kwestia ubytku wody z wydalaniem została rozwiązana przez przejście z wydalania amoniaku (jak ma to miejsce u skorupiaków) na usuwanie guaniny. Wyjaśnijmy, że guanina jest zasadą azotową, trudno rozpuszczalną w wodzie — łatwo więc wytrąca się z roztworu. Wodę z niego można resorbować, a guaninę usuwać. Wymaga to jednak wykształcenia zupełnie nowego systemu wydalniczego. W przykładku typowo lądowych form, owadów i pajęczaków, są to tzw. cewki Malpighiego (por. ROZDZ. 12);

3. **Lokomocja** — poruszanie się na lądzie wymaga pokonania sił grawitacji. Posiadanie sztywnego szkieletu zewnętrznego i wielu stawów połączonych odnóży także tutaj wykazało swoją wartość. Specjalizacja szła tu w stronę wykształcenia odnóży jednogateńskich. U owadów doszło do rozbudowy faktów powłok ciała i wytworzenia skrzydeł (nie są więc one homologiczne z odnóżaniami!).

4. **Rozród** — zarodki zwierząt wodnych w naturalny sposób mają zapewnione odpowiednie środowisko. Na lądzie wysychanie grozi zarówno gаметom, jak i embrionom. Rozwiązanie: przejście na zapłodnienie wewnętrzne i wykształcenie osłon jajowych. Zmianie ulec musiała także strategia życiowa larw (jednak nie wszystkich — por. np. larwy komarów).

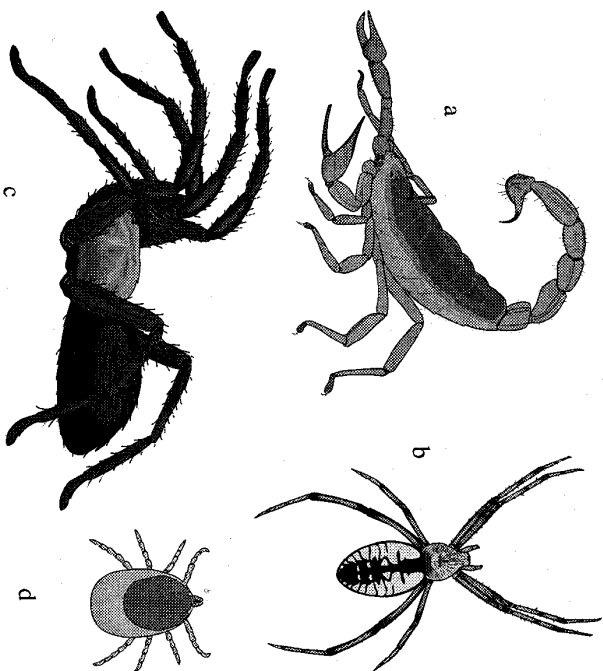
Jak widać stawonogi, opuszczając środowisko wodne, już „na starcie” dysponowały potężnymi autalami biologicznymi (tutaj nie wymieniono wszystkich). Jednocześnie dość prosta budowa, odporność na warunki zewnętrzne i dobrze rozwinięty układ nerwowy pozwoliły im zająć ogromną ilość nisz ekologicznych.

WYRÓŻNIAMY DWA ZASADNICZE LĄDOWE PNIE ROZWOJOWE

Stanowią je generalnie: **szczękoczułkowce** i **tchawkodyszne**. Te pierwsze rozwinęły się z trylobitowców i przez długi czas pozostawały w środowisku wodnym. Najpierwotniejsze szczękoczułkowce reprezentowały oddychające skrzelami, drapieżne wielkoraki (gromada: *Gigantostraca*). Wspominam o nich dlatego, że były największymi znanymi stawonogami — osiągały bowiem prawie 2 m długości. Ponadto są skamieniałościami przewodnimi dla paleozoiku. Ciekawą grupę szczękoczułkowców wodnych stanowią także ostrogony (gromada: *Xiphosura*). W paleozoiku był to dość liczny szereg, jednak do naszych czasów przetrwało tylko kilka gatunków **skrzyplocy**. Zwierzęta te mają charakterystyczną, „miskowatą” tarczę chroniącą głowotułów i odwłok zakńczony kolcem. Są cennymi relikami trasowymi. Przepuszcza się, że lądowe **pajęczaki** (gromada: *Arachnida*) wywodzą się od wielkoraków. Świadczy o tym m.in. kształt odnóży odwłokowych. Jednocześnie wyrostki skrzelowe tych ostatnich przekształciły się w płucotkachawki. Współczesne pajęczaki dzieliny, m.in. na rzędy: skorpiony, pająki, zaleszczolki, kosarze i roztozce.

Skorpiony — znane są przede wszystkim z mroźnych krew w żyłach scen filmowych i różnych opowieści. Faktycznie jad niektórych dużych gatunków (osiągających do ok. 16 cm długości) jest niebezpieczny dla człowieka. Należy jednak uznać, że jest w tym wszystkim trochę przesady. Przedstawicielei tej grupy łatwo rozpoznać, ponieważ mają charakterystyczne, potężne nogogłaszczki i wydłużony, segmentowany odwłok (por. Ryc. 67). Na jego końcu znajduje się kołec jadowy. Atakujący lub broniący się skorpion próbuje przytrzymać wroga nogogłaszczkami, następnie przegina odwłok nad swoim ciałem i wbiła kołec jadowy. Znanym jest ok. 600 gat. zamieszkujących kraje o ciepłym klimacie (małe skorpiony można spotkać nawet w Bułgarii i w Polsce). Zwykle są jajoworodne, a samice opiekują się potomstwem;

Pająki — stanowią dzisiaj trzon grupy szczękoczułkowców (ok. 20 000 gat.). Zdecydowana większość ma niesegmentowany odwłok połączony ruchomo z głowotułowiem (por. Ryc. 67). Szczękoczułki zakończone są pazurkowatymi członami i, podobnie jak nogogłaszczki, nigdy nie tworzą kleszczy. Jednak najbardziej charakterystyczną cechą są chyba gruczoły przędlne umożliwiający wielu gatunkom tkanie pajęczaki sieci. Pająki należą do najbardziej drapieżnych zwierząt na świecie. Polują z zasadki, łapią w swoje sieci lub po prostu gonią wybraną ofiarę. Do krajowych gatunków można zaliczyć np. **pająka krzyżaka**, małe **skakun**y, rzadkiego **tygryzka** (por. Ryc. 67) oraz topka. Ten ostatni żyje w płytkich zbiornikach wodnych, gdzie buduje z pajęczyny coś w rodzaju dzwonu nurkowego wypelnionego powietrzem. Z form tropikalnych zwykle wyróżnia się potężne **plaszynki** i **tarantule** (por. Ryc. 67). Wśród pajaków częsty jest dymorfizm płciowy i skomplikowane zachowania godowe (por. np. książka V. Droschera, „Cena miłości” WP);



Ryc. 67.
Przedstawiciele szczękoczułkowców: skorpion (a), pająk tygryk (b), tarantula (c) i kleszcz (d). Zwrot uwaga na liczbę odnóży i segmentację ciała u skorpionu, a także na brak segmentacji u kleszcza.

Zaleszczolki — drobne stawonogi przypominające miniaturki skorpionów, tyle że z krótszym, 11-segmentowym odwłokiem. Zwykle ich nie widzimy, bowiem prowadzą skryty tryb życia, a poza tym są małe (zasadniczo mierzą 1—8 mm). Należą zaś do bardzo rozpowszechnionych zwierząt na Ziemi;

Kosarze — budową przypominają nieco pająki. Odrożnienie ich jest jednak dość proste. Przede wszystkim kosarze mają bardzo długie, cienkie odnóży, a ich odwłok łączy się z głowotułowiem bardzo szeroką nasadą. Sprawia to wrażenie, że całe ciało tworzy jedną tagmę. Pewien uczeń powiedział kiedyś, że wyglądają jak gdyby ktoś osadził „małe jajeczko na osmiu szczudłach”. Obok gatunków „typowo” drapieżnych spotyka się też padli-nożerce;

Roztozce — bardzo małe (zwykle poniżej 1 mm długości ciała), owalne, pozbawione śladów segmentacji pajęczaki. Słabe, słabo chronione przed utratą wody, żyją w środowiskach wilgotnych — niektóre zredukowały więc układ oddechowy. Zamieszkują niemal wszystkie biotopy i w wielu z nich odgrywają rolę odwrótnie proporcjonalną do rozmiarów ciała, np. kleszcze (por. Ryc. 67, a później znaczenie stawonogów w ROZDZ. 12).

TCHAWKODYSZNE ROZWINĘŁY SIĘ Z PRYMITYWNYCH STAWONOGÓW WODNYCH

i reprezentują zupełnie inną gałąź rozwojową niż pajęczaki. Współcześnie dzielone są na dwie gromady: **wije** (*Myriapoda*) i **owady** (*Insecta*). Te pierwsze zachowują do dziś szereg cech prymitywnych, np. słabo zaznaczoną segmentację heteronomiczną, robakowaty kształt ciała. Do znanych przedstawicieli można zaliczyć wija drewniaka (por. Ryc. 68 A) i skolopendry. Wbrew pozorom są to dość szybkie i sprawne drapieżniki, tym niebezpieczniejsze, że ich szczękonoża mają silne gruczoły jadowe. Ukąszenie skolopendry może być bardzo niebezpieczne nawet dla człowieka. Krocionoגי należące także do wijų są roślinożerne i powolne, ale ich ciało jest tęższe. Nie ma więc zbyć wielu chętnych do ich spożycia, mimo, że zwierzęta te są zwykle jaskrawo ubarwione.

Wielu badaczy sądzi, że owady rozwinęły się z prymitywnych wjów jeszcze w sylurze. Choć teza ta budzi pewne wątpliwości, pozostaliśmy jednak przy tym założeniu. Owady podzieliły się na dwie grupy: pierwotnie bezskrzydłe i uskrzydłone. Te drugie przeszły bardzo szeroką radiację adaptacyjną, której skutkiem było powstanie wielu bardzo zróżnicowanych grup. Przede wszystkim odnóża gębowe ich przodków wraz z innymi elementami przekształciły się w aparaty gębowe. Początkowo były to aparaty gryzące, służące do rozdrabniania szczątków organicznych (podobne do tych, jakie mają wjele). Później dopiero powstały modyfikacje, pozwalające znacznie poszerzyć bazę pokarmową. Drugim ważnym osiągnięciem owadów było rozwinięcie osłon jajowych, a także larw zdolnych do życia na lądzie. Ze względu na sztywny szkielet zewnętrzny, wzrost i rozwój takich zwierząt musiał odbywać się skokowo. U owadów uskrzydłonych wszystkie przemiany z tym związane odbywają się dzisiaj na poziomie larwalnym i postać dorosła tych stawonogów (*imago*) nie rośnie. U niżej uorganizowanych larwa jest dość podobna do osobnika dorosłego i w czasie kolejnych linień równomiernie, etapowo przeobraża się w imago. Nazywamy to przeobrażeniem niezupełnym (hemimetaboliizmem). U bardziej zaawansowanych w rozwoju larwy są zupełnie inne niż imago i dopiero w stadium początki dochodzi do głębokich przemian. Nazywamy to przeobrażeniem zupełnym (holometaboliizmem; por. późnej ROZDZ. 12). Wreszcie to u owadów doszło do silnego rozwoju powłoki ciała w grzbietowej części tułowia. Umożliwiło to wykształcenie skrzydeł i zdolności do aktywnego lotu.

Szczegółowa analiza dróg ewolucyjnych owadów nie jest wymagana na egzaminach wstępnych i w szkole średniej. Poniżej został więc przedstawiony jedynie krótki przegląd najważniejszych rzędów owadów, pamiętając jednak, że podstawa systematyki są tu różnice w: typie przeobrażenia, rodzaju aparatu gębowego i budowie skrzydeł (por. ROZDZ. 12).

UWAGA: Ciekawą grupą bezkręgowców wyższych są prachawce wykazujące specyficzną мозaikowość cech pierścienic i tchawkodyśnych. Zwierzęta te są jednak bocznyim ogniwem ewolucji i nie można traktować ich jako form pośrednich.

Krótki przegląd owadów

1. Owady hemimetaboliiczne (o przeobrażeniu niezupełnym):

Prostoskrzydłe (szarańczaki) szarańcza, pasikonki, konik pospolity (por. Ryc. 68 A), świerszcze, turkuc podjadek. Aparat gębowy: gryzący. Szarańcza jest poważną plagą, szczególnie w Afryce. Niektóre prostoskrzydłe posiadają tzw. **narządy strydulacyjne**, służące do wydawania dźwięków;

Termity (bielce). Przykładem może być termit (por. Ryc. 68 A). Gryzący aparat gębowy umożliwia tym owadom rozdrabnianie drewna. Trawienie tego materiału możliwe jest dzięki symbiotycznym wciowcom zamieszkującym jelita termitów. Znanym jest ok. 2 500 gatunków. U części występuje wielopostaciowość i życie społeczne. Skrzydła posiadają tylko formy płciowe;

Karaczany (hehnce). Przykłady: karaczan wschodni, prusak, karaluch (por. Ryc. 68 A). Aparat gębowy: gryzący. Znanym jest ponad 3 600 gatunków, wiele synantropijnych. U form dorosłych przedplecze nakrywa głowę od góry, tworząc jakby hełm. Generalnie wszystkie kożerne. Samice czasami wtórnie bezskrzydłe;

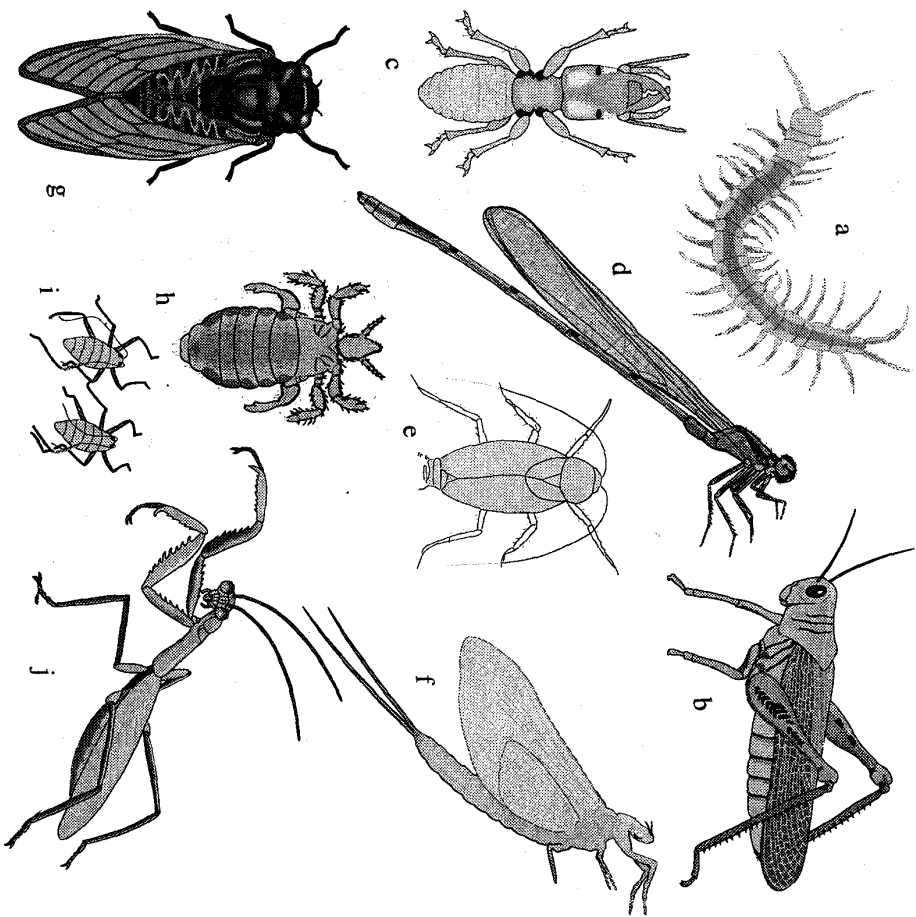
Ważki. Przykłady: żagnice, świtezianki, ważki i bardzo do nich podobne tąki (por. Ryc. 68 A). Aparat gębowy: gryzący. Sklasyfikowano ponad 4 500 gatunków. Owady te posiadają dwie pary skrzydeł o jednakowej budowie ze złożoną siecią żyłek, larwy żyją w wodzie. Zdecydowana większość to dzienne drapieżniki o wielkich oczach, polujące w locie;

Jętki. Przykładem może być jętka (por. Ryc. 68 A). Dorosłe osobniki nie posiadają aparatu gębowego i nie pobierają pokarmu. Znanym jest ok. 1 600 gatunków. Owady te mają delikatne skrzydła, tylnie mniejsze od przednich. Larwy jętek żyją w wodzie (mają skrzelałochawki). Ostatnie stadium larwalne przekształca się w specyficzną, uskrzydloną formę —

subimago, która nie jest zdolna do rozrodu, może jednak się odżywiać. Potem następuje ostatnie linienie i pojawia się imago. Jest to prymitywna cecha właściwa tylko jętkom (przeobrażenie niezupełne nietypowe). Dodajmy, że dorosłe postacie żyją bardzo krótko;

Puszkwiaki. Przykłady: płoszczynek burakowy, żółwiniek, jednica, mszyce (por. Ryc. 68 A), pluskwa domowa, płoszczyca, cykada (por. także Ryc. 68 A). Aparat gębowy: kłujaco-sąsący. Puszkwiaki dzielą się na: różnoskrzydłe (ok. 4 000 gatunków, których przednie skrzydła są u nasady stwardniałe) i równoskrzydłe (ok. 30 000 gatunków);

Wszę. Przykłady: wesz głowowa (por. Ryc. 68 A), bydlęca, końska, świńska. Aparat gębowy: kłujaco-sąsący. Sklasyfikowano tylko 300 gatunków. Te bezskrzydłe owady są zewnętrznymi pasażerami ssaków, mogą też przenosić niebezpieczne choroby (por. ROZDZ. 12);



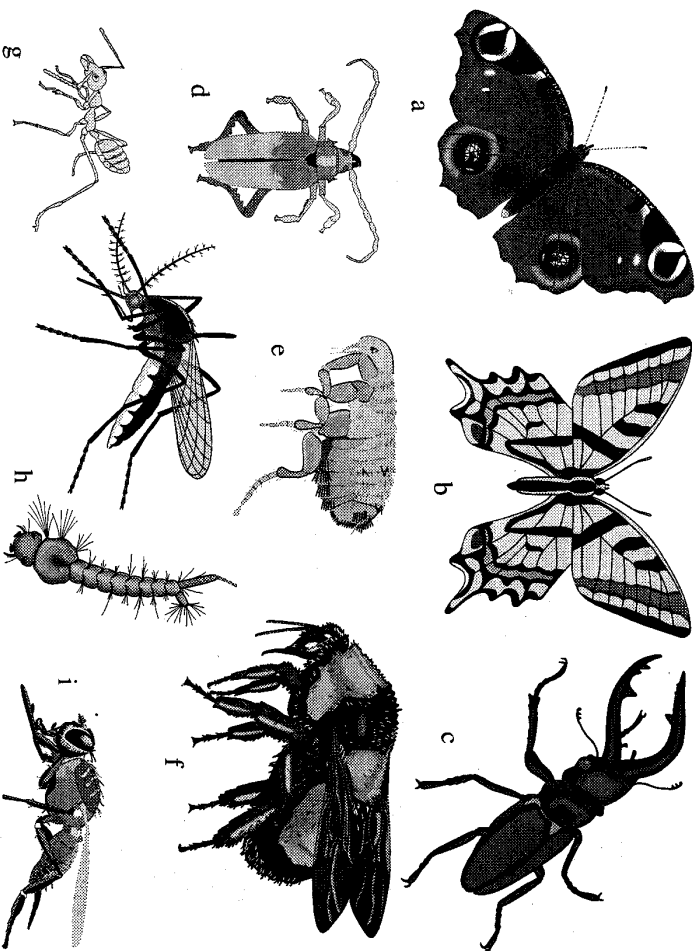
Ryc. 68 A. Sylwetki niektórych, wybranych tchawkodyśnych przechodzących przeobrażenie niezupełne: a — wjele, b — konik pospolity, c — termit, d — ważka-tąka, e — karaluch, f — jętka, g — cykada, h — wesz głowowa, i — mszyce, j — modliszka (b — j owady).

2. Owady holometaboliczne (o przeobrażeniu zupełnym).

Chrząściki. Przykład: chrząścik. Posiadają tylko szczątkowe zwiawczki. Opisano ok. 7 000 gatunków. Osobniki dorosłe mają skrzydła pokryte drobnymi włoskami i oddychają skrzelot-chawkami. Larwy budują rurkowane domki w wodzie;

Motyle (tuszkoskrzydłe). Przykłady: brudnica miniszka, brudnica nieparka, zawisak borowiec, bielonek kapustnik, rusalka pawik (por. Ryc. 68 B), paź królowej (Chromiony, por. Ryc. 68 B), paź żeglaz (Chromiony), niepylak apollo (Chromiony), niepylak mnemozyna (Chromiony), jedwabnik morowowy. Motyle najczęściej posiadają aparaty gębowe typu ssącego. Znanym jest ponad 150 000 gatunków. Obie pary skrzydeł motyli pokryte są barwnymi łuskami. Larwa nazywa się gąsienicą;

Tępopokrywe (chrząszcze). Przykłady: stonka, wolek zbożowy, biedronka, pływak złotobrzęzek, kaluznica, chrabaszcz majowy (imago żywi się liśćmi drzew, larwy korzeniami), biegacze (Chromone), zmozsznik, jelonek rogać (Chromiony; por. Ryc. 68 B). Aparat gębowy: gryzący. Znanych jest więcej niż 300 000 gatunków. Przednie skrzydła chrząszczy przekształciły się w twardo okrywy, które nie są przystosowane do lotu. Larwa nazywana jest pędrakiem;



Ryc. 68 B. Sylwetki wybranych owadów przechodzących przeobrażenie zupełne: a — motyl rusalka pawik, b — motyl paź królowej, c — chrząszcz jelonek rogać, d — chrząszcz zmozsznik, e — pchła szczurza, f — trzmiel, g — mrówka rudnica, h — komar ssący i jego larwa, i — mucha.

Pchły. Przykłady: pchła ludzka, psia, szczurza. Aparat gębowy: kłująco-ssący. Do tej pory opisano niewiele ponad 1 500 gatunków. Owady te nie mają oczu złożonych i skrzydeł. Natomiast występują doskonale rozwinięte odnóża skoczne. Pchły są pasażerami zewnętrznych kręgowców stałocielepnych, przenoszą też choroby;

Błonkówki (blonkoskrzydłe). Przykłady: gąsieniczniki, barykkarze, trzmiel (wszystkie gatunki Chromione; por. Ryc. 68 B), mrówki (por. Ryc. 68 B), pszczoły, osy, galasówki. Aparat gębowy jest najczęściej liżący albo gryzący. Sklasyfikowano ponad 150 000 gatunków. Owady te osiągnęły wysoki poziom rozwoju i dość często tworzą skomplikowane „społeczeństwa rządzone przez” samice-królowe. Zwraća też uwagę wielopostaciowość (**polimorfizm**) i charakterystyczna larwa — czerw. Błonkoskrzydłe mają bardzo duże znaczenie w ekosystemach i gospodarce;

Muchówki (dwuskrzydłe). Przykłady: komary (por. Ryc. 68 B), meszki, baki, moskity, gzy, mucha (por. Ryc. 68 B), mucha ise-ise. Aparaty gębowe są różne, najczęściej występują: kłujący, liżący albo kłująco-liżący. Opisano około 120 000 gatunków. Muchówki należą do najwyższej norganizowanych owadów. Tylne skrzydła tych zwierząt przekształciły się w małe, maczugowate **preznaniki**, służące do odbioru wrażeń grawitacyjnych. Wy różnią się formy drapieżne i roślinozerne. Większość odgrywa istotną rolę w ekosystemach. Niektóre przenoszą choroby, inne zaś są groźnymi pasożytami zwierząt i człowieka. Nie należy wszakże zapominać o tych gatunkach, które zjadają ogromne ilości owadów szkodliwych (por. ROZDZ. 12);

Ściarki (siatkoskrzydłe). Przykład: mrówkolew. Aparat gębowy: gryzący. Mają liczne po-przeznaczone żyłki na skrzydłach.

CWICZ. Wykorzystując atlasy, zdjęcia oraz środki audiowizualne znajdź sylwetki jak największej liczby wymienionych powyżej stawonogów.

Pytania i polecenia kontrolne:

1. Jakże cechy budowy świadczą o pokrewieństwie stawonogów i piersiencić?
2. Wskaż cechy progresywne pierwszych stawonogów.
3. Dlaczego możemy zaliczyć trylobity do skamieniałości przewodnich paleozoiku? Jaka grupa stawonogów jest z nimi spokrewniona?
4. Jak, w ogólnych zarysach, przebiegała radiacja stawonogów?
5. Jakże zmiany ewolucyjne w budowie i fizjologii stawonogów związane są z ich wyjściem na ląd?
6. Scharakteryzuj jedną z wybranych przez Ciebie grup owadów hemimetabolicznych.

12. Charakterystyka stawonogów

Typ: Stawonogi (*Arthropoda*)

Podtyp: Trylobitokształtne (*Trilobiomorpha*)

Podtyp: Skorupiakokształtne (*Crustaceomorpha*)

Podtyp: Szczękoczułkowce (*Chelicerata*)

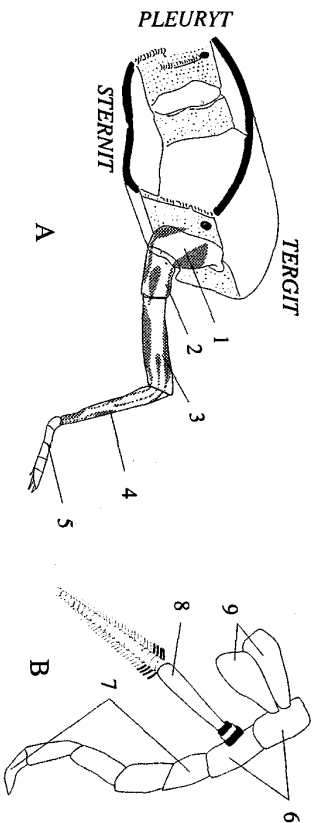
Podtyp: Tchawkodyszne (*Tracheata*)

nauka o owadach: **entomologia**

Stawonogi (od gr. *arthron* — staw) są zdecydowanie najliczniejszym szerepem zwierząt na Ziemi. Miarą ich sukcesu ewolucyjnego jest niesamowita wręcz liczba gatunków szacowana na ok. 1 500 000! Według niektórych autorów jest ich jeszcze więcej, ale nikt nie wie dokładnie, ile. W poznawaniu stawonogów pomocna Ci będzie dokładniejsza analiza budowy i czynności życiowych pszczoły, muchy, dowolnego pająka i raka stawowego.

Budowa morfologiczna i układ ruchu

Cechą specyficzną stawonogów jest posiadanie w różnych częściach ciała segmentów o odmiennej budowie i funkcjach. Zaczynijmy jednak od tego, że ciało stawonogów otoczone jest sztywnym **szkieletem zewnętrznym**, którego części łączą się ze sobą miękkimi błonami (por. Ryc. 69).



Ryc. 69. Rozwiązania konstrukcyjne układu ruchu u stawonogów: przekroju poprzeczny przez segment owada z odnożem jednogalęziastym (A), dwugalęziastą odnożę prymitywnego skorupiaka (B)(1 — białko, 2 — krytarz, 3 — udo, 4 — goień, 5 — stopa z pazurkami, 6 — cztery podstawowe odnóża, 7 — cztery części wolnej, 8 — gałąź zewnętrzną, 9 — skrzelka). Szarym kolorem zaznaczono przyległe mięśni szkieletowych w odnóżu.

Do wewnętrznych zgrubień części szkieletu przyczepione są włókna mięśniowe poprzecznie prążkowane, zebrane w odrębne, wyspecjalizowane wiązki — **mięśnie**. Można podzielić je na: zginacze i prostowniki (odnieś to do swojego układu ruchu). Zapewnia to możliwość zmiany położenia elementów szkieletowych względem siebie, a więc ruchomość części ciała. Każdy segment otoczony jest twardymi płytami — **sklerytami** (por. Ryc. 69 A): grzbietowym (tergit), brzuszным (sternit), a u owadów jeszcze dwoma bocznymi (pleuryty). Niekiedy płytki te są ze sobą silnie zrosnięte i trudno je wyróżnić (np. u skorupiaków), czasem zaś dzielą się na drobniej-

sze elementy (np. na głowie owadów). U większości stawonogów całe segmenty mają tendencję do zlewania się ze sobą. Dotyczy to także sklerytów. W ten sposób powstają większe części ciała — **tagmy** (por. niżej). W przypadku odnóży mamy do czynienia z członowaniem, polegającym na tym, że ruchomo zestawione są rurkowane człony odnóży. Stawonogi są jedną grupą bezkręgowców, u której wyrostki lokomocyjne tworzą system dźwigni wielorzawiasowych. Podstawą ich działania są stawy (por. Ryc. 69 A). Odnóża prymitywnych stawonogów wodnych były dwugalęziaste, a na ich członach podstawowych rozwijały się skrzelka (często, tak jak u trylobitów, na specjalnych wyrostkach — epipodiach; por. Ryc. 65 i 69 B). U form bardziej zaawansowanych gałąź zewnętrzna (**egzopodit**, homologiczny z gałęzią grzbietową parapodium) ulega redukcji. Wówczas całe odnóże tworzy gałąź wewnętrzną (**endopodit**, część homologiczna z gałęzią brzuszną parapodiów). Dla podkreślenia podobieństwa (nie identityczności!) takich odnóży z kończynami wolnymi kręgowców czworonożnych, ich człony mają odpowiednie nazwy, np. u owadów: biodro, krytarz, udo, goień i stopa (por. Ryc. 69 A).

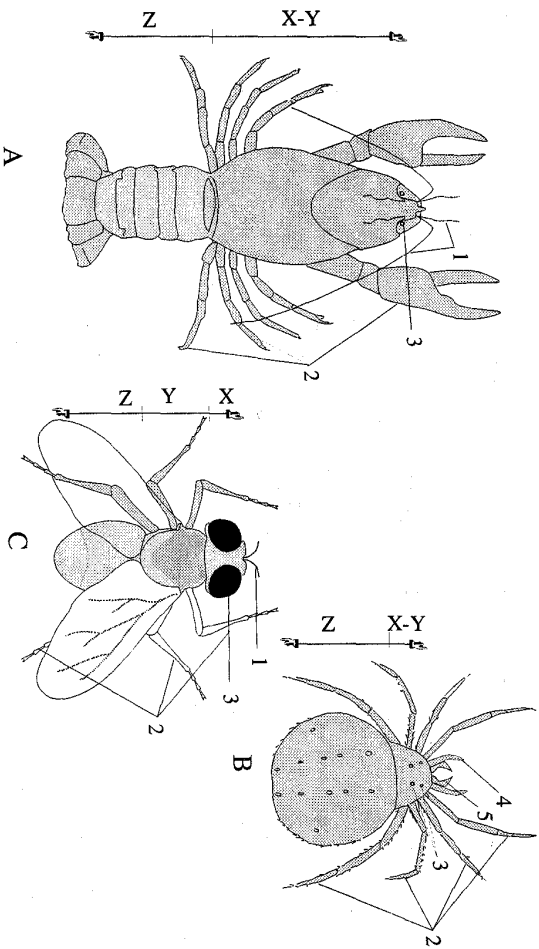
Cecha	Skorupiaki (rak)	Pajęczaki (krzyżak)	Owady (pszczoła)
Pokrycie ciała	Chitynowy pancerz (oskórek wysyczony jest solami wapnia i skleroproteidami)	Oskórek chitynowy	Oskórek chitynowy
Tagmy	— głowotłów — odwłok	— głowotłów — odwłok	— głowa — tułów (trzy segmenty) — odwłok
Odnóża	a. czułki (2 pary): — antenule — anteny b. odnóża gębowe (6 par): — żuwaczki — szczękoczułki (I, II; III pary) — szczękonoża (I, II; III pary) c. odnóża kroczne (5 par) d. odnóża odwłokowe (5-6 par)	a. czułki zanikły! b. odnóża gębowe (2 pary): — szczękoczułki (chelicery) — nogogłaszczki c. odnóża kroczne z pazurkami (4 pary)	a. czułki (jedna para) b. odnóża gębowe (3 pary): — żuwaczki — szczęki (I i II pary)* c. odnóża kroczne z pazurkami (3 pary)

* U owadów odnóża gębowe osadzone wokół otworu gębowego oraz inne tworzą, nie mające z nimi nic wspólnego, tworzą aparat gębowy (u pszczoły typu gryząco-lizającego)

** Przyjmujemy, że skrzelka owadów nie są odnóżami i nie mają z nimi nic wspólnego. Powstają jako silne fałdy powłok ciała, pomiędzy którymi występuje jama ciała!

Tab. 1. Cechy morfologiczne wybranych przedstawicieli stawonogów.

Duże możliwości rozwojowe tego typu rozwiązań i długotrwała ewolucja doprowadziły do powstania ogromu różnych form morfologicznych. My analizujemy jedynie trzy konkretne przykłady reprezentantów poszczególnych podtypów, podkreślając cechy bardziej uniwersalne. Dla większej przejrzystości informacje te zestawiono w Tab. 1 (por. także Ryc. 70).



Ryc. 70. Sylwetki wybranych stawonogów: raka (A), pajęzka (B) i muchy (C) (1 — czułki, 2 — odnóża kroczne, 3 — oczy, 4 — nogogłaszczki, 5 — szczegółczułki; XY — głowonółow, X — głowa, Y — tułów, Z — odwłok).

Układ oddechowy

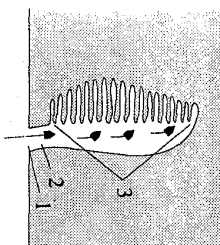
JEGO BUDOWA ZALEŻY OD ŚRODOWISKA ŻYCIA

Skorupiakokształtne należą do zwierząt skrzelodysznych. Podobnie jak u wieloszczetów układ oddechowy związany jest z odnóżami. Wyżej uorganizowane, w podstawy odnóży krocznych posiadają cienkościenną, blaszkowatą **skrzelą** (por. Ryc. 69 B). U dziesięcionogów są one ukryte w specjalnych jamach skrzelowych i nie widac ich od zewnątrz.

U pajęczaków funkcjonują systemy tchawkowe (prostsze, ale podobne do owadziach, por. niżej). U form większych w odwłoku wyszły się **plucotchawki** — grzebykowate, splecione rozgałęzienia pni tchawkowych, które omiywane są przez hemolimfę transportującą gazy oddechowe (por. Ryc. 71 A).

U tchawkodysznych powstał unikalny, ektodermalny **system tchawkowy**. Praktycznie jest to bardzo rozgałęziona sieć rurek oplatająca całe ciało (por. Ryc. 71 B). Zwykle po bokach ciała (głównie na odwłoku) rozmieszczone są przetchlinki (por. też Ryc. 72). Prowadzą one do dość grubych pni tchawkowych. Te zaś rozgałęziają się na coraz drobniejsze. Końcowe, kapilarne odcinki nazywane **tracheolami** zawierają płyn, w którym może rozpuszczać się tlen i dyfundować do otaczających komórek. W ten sposób możliwe stało się bezpośrednio dostarczenie tlenu do prawie każdej komórki ciała z pominięciem układu krążenia. Zapewnia to wysoką wydajność wymiany gazowej, niezbędnej owadom do lotu. Zastanów się jednak, czy rozwiązanie to ma wady? Wyjdź z założenia, że taki system mógłby posiadać człowiek.

Małe stawonogi mają cienką kutikule i mogą oddychać całą powierzchnią ciała.



Ryc. 71. Schemat budowy **plucotchawki** skorupionu (A) i systemu tchawkowego owada (B) (1 — przetchlinka, 2 — pnie tchawkowe, 3 — **plucotchawka**, 4 — **worek powietrzny**).

Układ krążenia

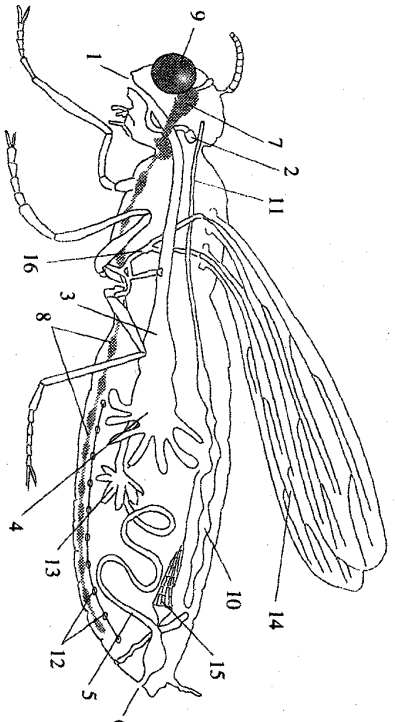
STAWONOGI MAJĄ OTWARTY UKŁAD KRAŻENIA

Wielu uczniów dziwi ten fakt. Pamiętać jednak należy, że u stosunkowo niewielkich zwierząt wylewanie się krwi (tu **hemolimfy**) do jamy ciała nie ma większego znaczenia. Stopień wyształcenia tego układu wyraźnie jest skorelowany z zaawansowaniem rozwoju układu oddechowego. Zawsze jednak występuje **serce położone po stronie grzbietowej** (por. Ryc. 72 i 73). U form prymitywnych i owadów zbudowane jest z wielu pecherzykowatych komór, ułożonych jedna za drugą i przedzielonych zastawkami. Całość zamknięta jest w worku osierdziowym. Krew tłoczona jest zwykle aortą w kierunku głowy. W okolicach zwojów mózgowych wlewa się do jamy ciała, stamtąd żyły zbierają krew, która przepływa do narządów oddechowych. Tam zaś, w naczyniach włosowatych, ulega ona utlenowaniu i żyłami osierdziowym trafia do worka osierdziowego. Z niego, przez specjalne otworki w komorach (**ostia**) dostaje się do wnętrza ciała. Wyjątek stanowią tu owady — ich układ ma prymitywną budowę, ponieważ jego funkcje są prostsze — przede wszystkim nie spełnia on funkcji oddechowych. Tym niemniej pracę serca wspomagają silne mięśnie skrzydlaste. U owadów najczęściej jest aż 8 komór serca, podczas gdy u wyżej uorganizowanych skorupiaków i szczegółczułkowców ich liczba ulega zmniejszeniu do 3—4. Hemolimfa prawie wszystkich tchawkodysznych jest bezbarwna. Z kolei krew większych przedstawicieli pozostałych stawonogów zawiera barwniki rozpuszczone w osoczni (najczęściej niebieską **hemocyaninę**, rzadziej czerwoną hemoglobinę). Sposób powstawania, budowa i działanie serca stawonogów sugeruje, że powstało ono z przekształconego naczynia grzbietowego wieloszczetów.

Układ pokarmowy

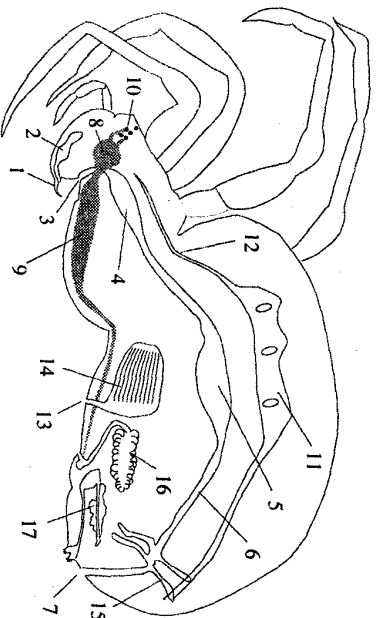
PLANEM BUDOWY NAWIĄZUJE DO PIERSZCIENIC

Prawie zawsze wszystkie trzy odcinki są dobrze wyształcone (por. Ryc. 72 i 73). U skorupiakokształtnych jelito przednie i tylne są schłyniżowane. Żołądek tych zwierząt podzielony jest na dwie części: **żującą**, gdzie chitynowe blaszki rozcierają pokarm i **pyloryczną** — w niej znajdują się delikatne wyrostki filtracyjne, które do jelita środkowego przepuszczają tylko pokarm silnie rozdrobniony. Całość nazywa się schłyniżowanym młynem żołądkowym. Do jelita środkowego uchodzą palczaste wyrostki wątrobowe (ich rola jest taka jak wątroby i trzustki kregowców).



Ryc. 72. Budowa anatomiczna owada (1 — otwór gębowy, prowadzący do gardzieli i dalej do prostej rury przełyku, 2 — silnik, 3 — wole, 4 — żółtek, za nim widać ślepe wyrostki jelita środkowego, 5 — jelito tylnie, 6 — otwór odbytowy, 7 — mózg, 8 — brzuszy kanciarzek nerwowy, 9 — oko złożone, 10 — rurkowe serce, 11 — aorta przednia, 12 — przetchlinki, 13 — cewki Malpighiego, 14 — skrzydło, 15 — układ rozrodczy, 16 — pien tchawkowy, prowadzący do skrzydła).

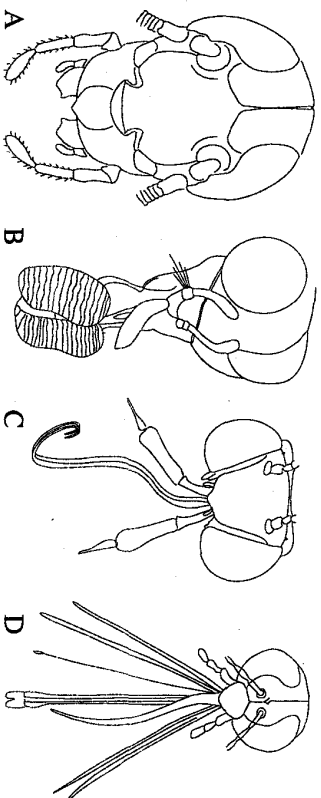
Pajęczaki odżywiają się półpłynnym pokarmem, który zasysają przy pomocy umięśnionej gardzieli (por. Ryc. 73). Jelito środkowe ma dużo wyrostków, zwiększających powierzchnię wchłaniania. Do tej części przewodu pokarmowego uchodzi także tzw. gruczoł wątrobowy. Jego wydzielina jest wyrzucana na zewnątrz, gdzie wstępuje i szybko trawi ciało ofiary. Wówczas półpłynną masę można zassać i strawić do końca. Ten sposób trawienia wynika z tego, że pajęczaki nie mają odpowiedniego aparatu do obróbki mechanicznej pokarmu (por. wyżej).



Ryc. 73. Budowa anatomiczna pajęczaka (1 — szczękoczułki, 2 — gruczoł jadowy, 3 — otwór gębowy, prowadzący do umięśnionej gardzieli — 4 i dalej do prostej rury przełyku, 5 — gruczoł wątrobowy, 6 — jelito środkowe, 7 — otwór odbytowy, 8 — mózg, 9 — podgurdziałowy zwoj nerwowy, 10 — oczy proste, 11 — rurkowe serce z trzema ostaniami, 12 — aorta przednia, 13 — przetchlinka, 14 — płucocichawka, 15 — cewki Malpighiego, 16 — układ rozrodczy, 17 — gruczoły przednie).

Układ pokarmowy owadów ma dość typową budowę. Doszło w nim jednak do poważnych zmian w strategiach odżywiania. Generalnie owady mogą odżywiać się niemal każdym rodzajem pokarmu. Wymagało to przede wszystkim usprawnienia aparatu służącego do obróbki mechanicznej pobieranego pożywienia. Jak już wiesz, rozwiązaniem okazały się skomplikowane aparaty gębowe (por. Ryc. 74). U różnych owadów są one odmiennie wykształcone, zawsze

jednak powstają przez modyfikację części odnoży głowowych i innych przydatków gębowych. Wyróżnia się m.in. aparaty: gryzące (np. u szarańczaków i modliszek), gryząco-lizące (np. u pszczoły, trzmiecia), kłująco-ssące (np. u komarów), ssące (np. u motyli), liząco-ssące (np. u muchy) (por. też opis w ROZDZ. 11 i Ryc. 74).



Ryc. 74. Przykłady aparatów gębowych owadów: A — gryzący karalucha, B — liząco-ssący motyl domowy, C — ssący motyl i D — kłująco-ssący komar.

Układ wydalniczy

Żyjące w wodzie skorupiakokształtne nie mają większych problemów z wydalaniem zbędnych i szkodliwych produktów przemiany materii. Głównie jest to amoniak. Funkcję wydalniczą spełniają dwie, niewielkie pary zmodyfikowanych nefrydów, nazywane gruczołami czułkowymi lub szczękowymi, w zależności od tego, gdzie uchodzą przewody wyprowadzające.

Stawonogi lądowe musiały zupełnie zmienić strategię wydalania. Przede wszystkim wydają kwas moczowy lub guaninę, które łatwo wytrącają się z wody. Funkcje wydalnicze pełnią palczaste uchylki leżące na granicy jelita środkowego i tylnego — cewki Malpighiego (por. Ryc. 72 i 73). Systemy takie działają mniej więcej tak: nabłonki wydalnicze aktywnie zbierają metabolity z jamy ciała i wydają do światła cewek. Stamtąd przesączają się do jelita, w którym ma miejsce resorpcja wody. Połączenie takiego systemu wydalniczego ze szczelnością powłok ciała pozwala uzyskać niesamowitą oszczędność wody.

Rozród u stawonogów

STRATEGIE ROZRODUCZE STAWONOGÓW SĄ ZALEŻNE OD ŚRODOWISKA ŻYCIA

Jest rzeczą oczywistą, że opanowanie środowiska lądowego wymagało rozwiązania problemu rozrodu. Zdecydowana większość stawonogów to zwierzęta rozdzielnopłciowe z wyraźnie zaznaczonym dymorfizmem płciowym. Układ rozrodczy zbudowany jest z prostych gonad (jader albo jajników), od których odchodzą przewody wyprowadzające (odpowiednio — nasieniowody albo jajowody). Końcówce odcinki uchodzą do otworów płciowych, zwykle położonych na brzusznej stronie odwłoka. Samice często mają jeszcze zbiorniczek nasienny, w którym mogą gromadzić spermę. Jaja stawonogów zwykle mają dużo żółtka w centralnej części komórki. Wpływa to w istotny sposób na rozwój późniejszej zygoty. Przede wszystkim bruzdkowanie jest częścią i powierzchniowe. Najważniejsze jednak jest to, że w jajach znajduje się duża

Ilość materiału zapasowego. Pozwala to na rozwój sporej larwy albo wręcz miniaturowy osobnika dorosłego (por. niżej).

Za model wyjściowy strategii rozrodczej można uznać rozród u skorpionakoskrzatynych. W grupie tej często spotykany jest dymorfizm płciowy. Mogą występować modyfikacje części odnóży odłokowych — u samców przekształcone są w narządy kopulacyjne, np. u raków. U niższych skorpionaków samce często są mniejsze od samic, niekiedy dysproporcje są tak duże, że można mówić o karłowatych samcach, np. u niektórych wąsogłów. W sumie jednak taktyka rozrodu będzie inna niż u form lądowych. Przede wszystkim zaplemnienie jest wewnętrzne, a zapłodnienie zewnętrzne. Biznisi to dość dziwne, ale nie jest niemożliwe. Ohoż w czasie kopulacji samiec wprowadza spermę do dróg rodnych samicy. W ich początkowym odcinku znajduje się zwykle zbiorniczek nasienny. W miarę potrzeby samica sama wyciska jego zawartość do wody w momencie składania jaj. **Rozwój u tych stawonogów przebiega z przeobrażeniem.** Zarodek opuszczający jajo jest już planktonową larwą o prostych oczkach, silnie homonomicznej metamorfii i dwugądelzistych odnóżach (*nauplius*). U wyższych skorpionaków z niej rozwija się *zoëa* (ma zaczątki oczu złożonych i odłokoł). Kolejna larwa — *mysis* jest już podobna do postaci dojrzalej, nie ma jednak czynnego układu rozrodczego. Kilkakrotnie linienia prowadzą dalej do powstania postaci dorosłej. U wyższych skorpionaków z rzędu dziesięcionogów rozwój ulega skróceniu. Przykładowo, u raka z jaja lęgnie się miniaturowa dorosłego osobnika. Wygląda to jak rozwój prosty. Tak jednak nie jest, ponieważ w rzeczywistości przeobrażenia larw odbywają się w obrębie osłon jajowych (zastanów się, jaki jest sens biologiczny tego faktu?). U niektórych skorpionaków spotykana jest opieka nad potomstwem. Dodajmy jeszcze, że skorpionaki rosną skokowo praktycznie przez całe życie.

Wniosek: jest to rozwój według schematu:

zygota → larwa I-go rz. → larwa II-go rz. → larwa III-go rz. → postać dorosła.

PAJĘCZAKI DOPROWADZILI DO RADYKALNEGO UPROSZCZENIA CYKLU ŻYCIOWEGO

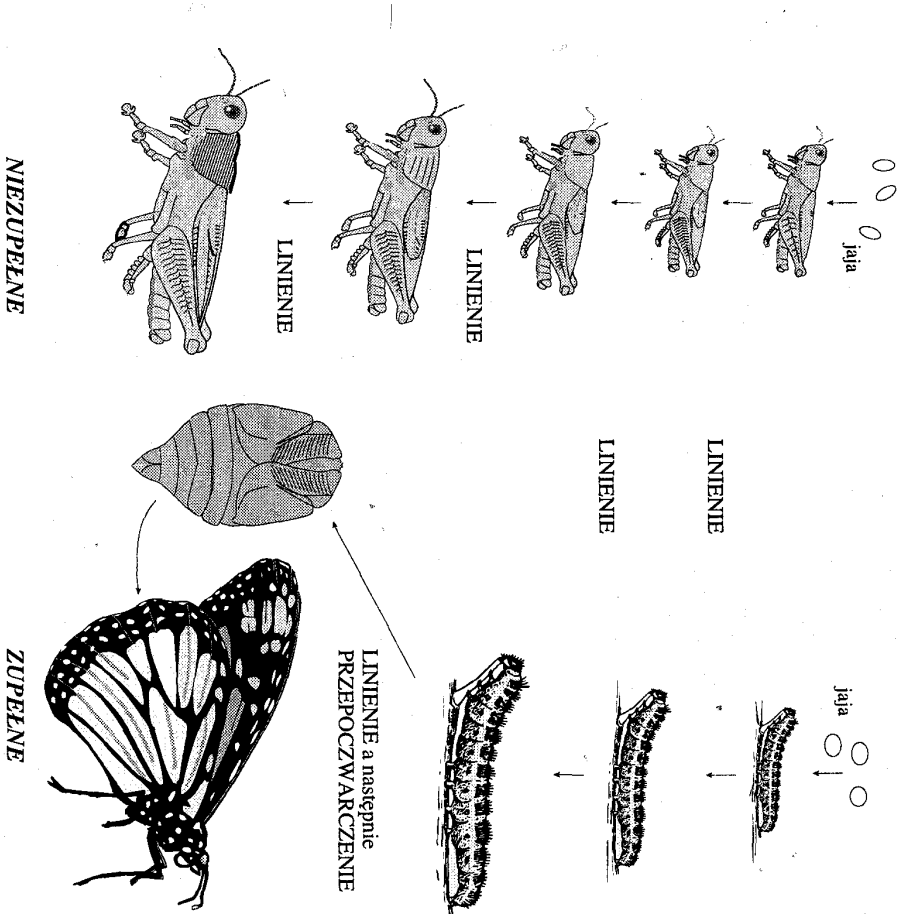
W tej grupie rozwój jest prosty, bez jakichkolwiek postaci larwalnych (wyjątek stanowią roztocze). Zaplemnienie i zapłodnienie jest **wewnętrzne**. Zdecydowana większość jest jajorodna. Jedynie niektóre skorpiony, zaleszczolki i roztocza są jajoworodne. Ze względu na dużą agresywność i wielkość samic akt płciowy u pajęków bywa bardzo niebezpieczny dla samców. Ślad różne zachowania godowe mające utrwalić zbliżenie (ponownie polecam tu znakomitą książkę V. Droscher'a pt. „Cena miłości”).

OWADY WYKSZTAŁCILI MECHANIZMY USPRAWNIAJĄCE PRZEobrażENIE

U owadów regułą jest rozdzielność płciowości. Podobnie jak u innych stawonogów częsty jest też dymorfizm płciowy. Specjalizacja funkcji biologicznych doprowadziła u pewnych gatunków do wielopostaciowości (polimorfizmu; por. ROZDZ. 11). Na przykład u niektórych termitów i pszczoł samic (trutnie) powstają w drodze **partengenety** Z zapłodnionych jaj, w zależności od rodzaju pożywienia, rozwijają się samice: duża, płodna królowa i mniejsze, bezpłodne robotnice. Ulem lub termitiera, „rzadzi” królowa przy pomocy rozkazów chemicznych sterujących zachowaniem się członków rodziny. Ogólnie rzecz biorąc owady społeczne wytwarzają bardzo skomplikowane zależności wewnątrzpopulacyjne (polecam tu książki W. Strojnego, np. „Świat owadów” PWN).

Zaplemnienie i zapłodnienie u owadów jest **wewnętrzne**. U niektórych gatunków kopulacja odbywa się tylko raz, a sperma przechowywana jest w zbiorniczkach nasiennych samicy.

Większość insektów składa jaja w osłonkach, które nieco przypominają błony płodowe owadniców (można je traktować jedynie jako dalekie narządy analogiczne). Przypominam, że ontogeneza przebiegać może według dwóch różnych scenariuszy (por. też Ryc. 75):



Ryc. 75. Przeobrażenie u owadów (opis w tekście).

1. U form ewolucyjnie starszych rozwój ma charakter stopniowy (nie oznacza to jednak, że nie ma w nim linień). Z jaja lęgnie się larwa pokrojowo podobna do osobnika dorosłego. Kolejne linienia i przeobrażenia upodabniają ją coraz bardziej do osobnika dorosłego. Liczba linień u prymitywnych jętek dochodzi do 30. Jednak u wyżej zorganizowanych została zredukowana do 3—4 (zrzadko 5). W ten sposób została zmniejszona liczba punktów krytycznych w rozwoju. **Wniosek** — jest to rozwój według schematu:

jajo → larwa I-go rzędu → larwa II-go rzędu → larwa n-tego rzędu → imago.

Jak już wiesz ten typ rozwoju nazywany **przeobrażeniem niezupełnym** (metamorfozą niezupełną), a owady — **hemimetabolicznymi** (przykłady znajdziesz w ROZDZ. 11);

2. Grupy młodsze ewolucyjnie zupełnie zmieniły „tatykę” rozwoju postembrionalnego. Ogólnie rzecz biorąc, ich larwy są zupełnie przystosowane do podstawowego zadania — odżywiania się. W związku z tym są zupełnie niepodobne do postaci dorosłych (różnią się m.in. typem aparatu gębowego, brakiem skrzydeł, budową i liczbą odnóży). Kolejne linienta, poza wymiarami zwierzęcia, nie zmieniają tutaj niczego. Wszystkie przekształcenia „zarezerwowane” zostały dla specyficznego stadium **poczwarłki (pupa)**. Na tym etapie ontogenezy osobnik zapada w stan **anabiozy** (życia utajonego). Jest to ważna korzyść, gdyż osłoniła kokonem i ukryła przed niekorzystnymi czynnikami środowiskowymi poczwarłka pozwala dość łatwo przetrwać niekorzystny okres, np. zimą. W poczwarce dochodzi do głębokiego przeobrażenia. Ojóz opórcz tkanki nerwowej i częściowo układu oddechowego pozostałe ulegają całkowitej histolizie. Dopiero teraz, od podstaw budowane są zupełnie nowe, inne tkanki i organy postaci dorosłej. Teraz przeobrażenie gąsienicy w motyla nie powinno już nikogo dziwić.

Wniosek — jest to rozwój według schematu:

jajo → larwa I-go rzędu → larwa II-go rzędu → larwa n rzędu → poczwarłka → imago.

Ten typ rozwoju nazywamy **przeobrażeniem zupełnym** (metamorfozą zupełną), a owady które go realizują — **holometabolizmy** (przykłady także znajdziesz w ROZDZ. 11).

Przeobrażenia pozostają pod kontrolą hormonalną. U larw utrzymuje się wysoki poziom hormonu juwenilnego (**Juwenianu**), wstrzymującego procesy przeobrażenia. Co jakiś czas, gdy larwa osiągnie odpowiednie rozmiary, jej mózg wydziela porcję hormonu mózgowego (**PTTH**). Ten zaś pobudza syntezę i sekrecję innego hormonu — ekdyzonu, symulującego wylinkę. Gdy larwa osiągnie kolejny próg wielkości, proces się powtarza. W tym czasie poziom juwenianu spada i gdy będzie dostatecznie niski, wydzielenie **ekdyzonu** spowoduje przepoczwarzenie.

Ogólnie rzecz biorąc, w podobny sposób rosną dorosłe skorupiaki. Tyle, że u nich wydzielenie **PTTH** prowadzi do wzrostu poziomu **krustekdyzonu**. Wylinki pajęczaków sterowane są przez **PTTH** i ekdyzon (znaczenie juwenianu jest u nich mniejsze). **Imago owadów nie rośnie!**

U niektórych błonkówek występuje **partenogeneza**. U mszyc z kolei mamy do czynienia z heterogonią (dość podobną do występującej u wrozków).

Układ nerwowy i narządy zmysłów

JEST RZECZĄ OCZYWIŚTĄ, ŻE TAK RZÓŻNICOWANA GRUPA MA DOSKONAŁE ROZWIĘTE CENTRA DECYZYJNE

Poziom organizacji układu nerwowego stawonogów jest bardzo różny. Układ ten wywodzi się z brzusznej łańcuszka nerwowego pierścienic. Jest to tym bardziej oczywiste, że u prymitywnych skorupiaków system nerwowy wygląda niemal identycznie jak u drapieżnych wieloszczetów (por. Ryc. 76 A).

Ewolucja w obrębie wszystkich podtypów szła w kilku kierunkach:

1. Rozwoju **mózgu** — zwoje nadgardzielowe tworzące mózg stawonogów osiągają znaczne rozmiary (por. Ryc. 76 C₁ i C₂). U najwyższej uorganizowanych grup zbudowany jest on z kilku tysięcy neuronów (u bezkręgowców to bardzo dużo). Zaznacza się też podział mózgu na trzy części:

A) **przodomózdze (protocerebrum)** — w jego skład wchodzi głównie ośrodek precyzyjnej analizy wzrokowej;

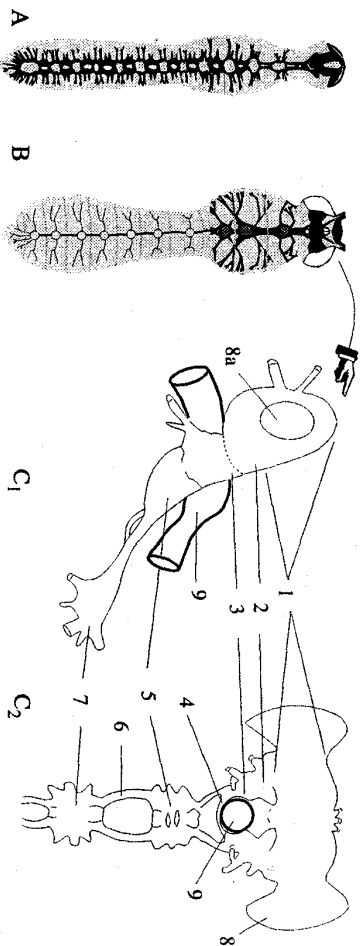
B) **śródomózdze (deutocerebrum)** — związane z czuciem dotyku i węchu;

C) **tyłomózdze (tritocerebrum)** — odpowiedzialne prawdopodobnie za funkcje wegetatywne. W przodomózdzu owadów społecznych, cechujących się złożonymi formami zachowania, znajdują się liczne „ciałka grzybkowate”. Uważa się, że są to centra asocjacyjne owadów, odpowiedzialne za ich „inteligencję”. U pajęczaków mózg składa się tylko z dwóch części: przodomózda i tyłomózda. Nie oznacza to wcale, że mózgi pajęczaków mają prymitywną budowę. Wręcz przeciwnie, obie części są doskonale rozwinięte, a brak śródomózda spowodowany został redukcją anteni.

2. Koncentracji elementów **brzusznej łańcuszki nerwowej**. Chodzi tutaj o dwa procesy:

A) Zlewanie się lewej i prawej strony układu (widac to już u pierścienic);

B) Koncentrację poszczególnych zwojów w tagmach. U niektórych owadów oraz pajęczaków zwoje odwiokowe zlewają się w jedną całość z tułowioowymi, która przesuną się w okolicę głowy (por. Ryc. 76 B). U większych pajęków powstaje wręcz jeden, duży zwoj głowotuwioowy (por. Ryc. 73). Proces ten stale się zrozumiął, gdy zwrócisz uwagę na stopniową specjalizację poszczególnych części ciała i utratę autonomii segmentów.



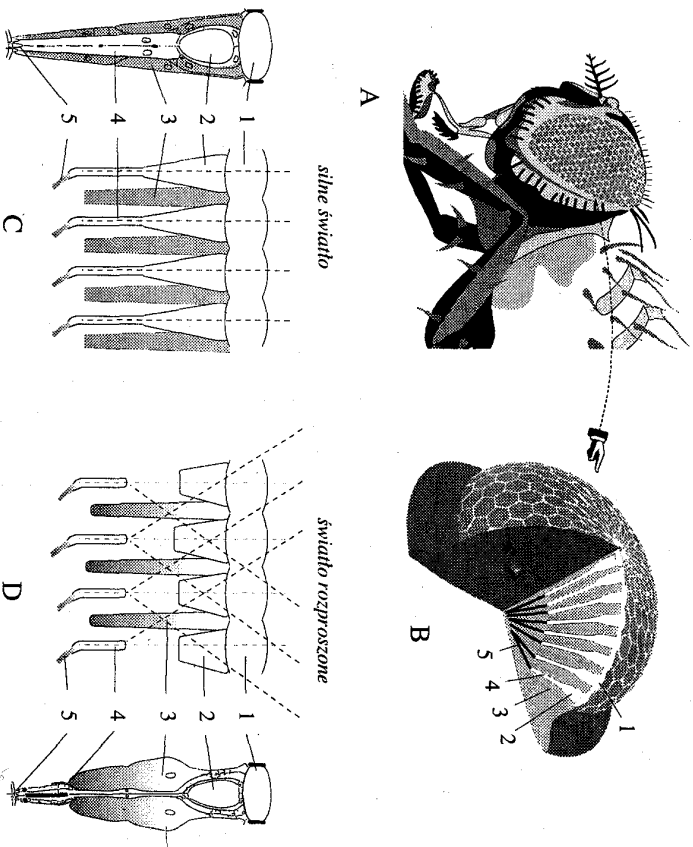
Ryc. 76. Budowa układu nerwowego owada prymitywnego (A) i wysoko uorganizowanego (B) oraz model mózgowia tego ostatniego: widok z boku (C₁) i od przodu (C₂). 1 — przodomózgowie, 2 — śródomózgowie, 3 — tyłomózgowie, 4 — obręczka okologardzielowa, 5 — zwoj podgardzielowy, 6 — pień nerwowy, 7 — 1-sza, złana para zwojów tułowioowych, 8 — płat wzrokowy, 8a — oddzielny płat wzrokowy, 9 — gardziel.

STAWONOGI MAJĄ TAKŻE DOSKONAŁE ROZWIĘTE NARZĄDY ZMYŚLÓW

Możliwości percepcyjne tej grupy są ogromne. Skoncentrujmy się więc na wybranych narządach zmysłów. Podstawę konstrukcyjną receptorów tworzą sensoryle. Występują one albo w postaci pojedynczej komórki, albo skrupione są w większe narządy zmysłowe (np. wzrok i słuch — por. niżej). Sensylla zbudowana jest z kilku komórek. Ich części zewnętrzne odbierają bodźce i wywołują pobudzenie w części pośredniej. Wypuski nerwowe tej ostatniej przekazują impulsy do mózgu.

Zacznijmy od wzroku — zmysł ten staje się bardzo ważny w warunkach lądowych. Zapewnia bowiem możliwość blyskawicznego odbioru sygnałów, ulegających małym zniekształceniom. Narządy wzroku owadów i skorupiaków wykazują szereg podobieństw. Przede wszystkim zwierzęta te posiadają **oczy złożone**. Takie oko zbudowane jest z wielu oczek prostych — **ommatidów**, które ciasno przylegają do siebie. Każde omatidium jest perfekcyjnie dopracowaną sen-

syllą (technicznie zaś fotokomórką). Aparat optyczny składa się w niej z przezroczystej rogówki oraz stożka krystalicznego. Oba elementy skupiają światło, które pada na niewielką grupę doskonale przejrzystych komórek budujących pręcik krystaliczny. Do tego ostatniego dochodzą zaś wypustki nerwowe komórek zmysłowych, przewodzące impulsy do płata wzrokowego w mózgu.



Ryc. 77. Budowa oczu złożonych owadów: powiększenie głowy muchy (A), model oka w przekroju (B) oraz schematy biegu promieni świetlnych w oku dziennym (C) i nocnym (D) (1 — przezroczysta rogówka, 2 — stożek krystaliczny, 3 — pręcioda pigmentowa, 4 — pręcik krystaliczny, 5 — wypustka nerwowa). Przy schematach umieszczono rysiny pojedynczych omatydów.

W oczach takich zmianie może ulegać:

1. Liczba elementów światłoczułych. U doskonale widzących (szczególnie drapieżników) wynosi ona nawet 28 000 omatydów w jednym oku, np. u wazek. Przeciwnieństwem są zaś owady podziemne posiadające ich niepełna 10. Większość gatunków ma jednak kilka tysięcy omatydów w oku, np. żyjący w wodzie rak ok. 3 000. Zasada tu jest bardzo prosta — im więcej omatydów, tym większa precyzja widzenia, ponieważ powstający w mózgu obraz ma charakter mozaikowy. Można to porównać do rozdzielczości monitorów komputerowych (porozmawiaj o tym z fizykiem);

2. Konstrukcja elementów światłoczułych. U owadów dziennych wykształciły się **oczu apocyjne** (por. Ryc. 77 A i C). Cechuje je dobra izolacja pigmentowa pomiędzy omatydami oraz wydłużone stożki krystaliczne. Powoduje to, że do elementów światłoczułych praktycznie docierają tylko promienie biegnące na wprost. Wymaga to sporogo nałożenie światła, ale zwiększa precyzję widzenia. U owadów nocnych i skorupiaków funkcjonują **oczu superpozy-**

cyjne (por. Ryc. 77 D). Ich omatida zawierają krótkie stożki i są słabo od siebie izolowane optycznie. Dzięki temu mogą widzieć w świetle bardzo rozproszonym, chociaż odbywa to się kosztem dokładności widzenia.

Odbiór wrażeń słuchowych zapewniają **narządy tympanalne**. Są to skupienia kilku sensoryli przylegających do niewielkich, delikatanych pól nabłonka, pokrywającego ciało (poła te spełniają funkcje błony bębenkowej). Narządy tympanalne rozmieszczone są, np. na odnóżach (u szarańczaków) lub na odwłoku (u motyli). Część owadów może wydawać dźwięki. Najbardziej znane są wspomniane już **narządy strydulacyjne** prostoskrzydłych. Choć nazwa tych organów brzmi „niebezpiecznie”, to w rzeczywistości stanowią je niewielkie chitynowe grzebnyki na skrzydłach. Pociertanie nimi o górną skrzydła jest przyczyną powstawania donośnych dźwięków, np. u świerszczy. Niemal wszystkie stawonogi posiadają sensoryle węchowe. Pozwalają one niektórym samcom motyli wyczuwać zapach samicy z odległości 1,5 km!

Wysępowanie i znaczenie stawonogów

Każda próba oceny roli stawonogów w biocenozach i gospodarce będzie niedoszacowana. Skoncentrujemy się więc teraz tylko na niekorzystnych aspektach istnienia tej grupy. I tak:

1. Skorpioniaki służą raczej jako przysmak kulinarny i dlatego pominiemy je;

2. Owady:

Prostoskrzydłe — należy do nich m.in.:

- **szarańcza wędrowna**, która jest plagą w północnej Afryce, Indiach, a rzadko także w południowej Europie. Na terenach polskich jeszcze w połowie XIX w. gatunek ten także stanowił okresowe zagrożenie dla upraw;
- **turkuć podjadek** — uważany za poważnego szkodnika roślin uprawnych w Polsce;

Termity — w rejonach o ciepłym klimacie uznawane są za najniebezpieczniejsze szkodniki, niszczące wszelkie konstrukcje drewniane oraz papier i skórę. Aparaty gębowe tych zwierząt pozwalają nawet na przegryzanie grubych osłon kabli energetycznych czy betonu (o ile zawiera on wapienne domieszki). W Polsce jest dla termitów zbyt zimno, jednak zawlezione do Niemiec stały się tam już pewnym problemem;

Karaczany — do których należą:

- **karaczan wschodni** (karaluch) — nocny owad zanieczyszczający żywność odchodami, zawierającymi „zarazki”; wirusowego zapalenia wątroby, prątki gruźlicy, bakterie gronkowca złocistego, jaja robaków (karaluch jest tylko nosicielem, sam nie choruje);
- **prusak** — dzienny i nocny owad, który przenosi takie patogeny jak poprzędni gatunek, a ponadto pełzaka czerwonki;

Pluskwiaki:

- **pluskwa domowa** — jest rozpowszechnionym na wszystkich kontynentach pasożytem zewnętrznym człowieka. Łatwo ulega przenoszeniu — wędruje bowiem wraz ze starymi meblami i książkami. Nie dość, że żywi się krwią człowieka, to jeszcze wydziela nieprzyjemny zapach. Żeruje zwykle nocą, ale wygłodzone osobniki potrafią zaatakować nawet w dzień. Ponadto przenosi pałeczki dżumy, laszczki węgliką i wirusy;

— **Tritoma** — przenosi chorobotwórczego wiciowca — *Trypansosoma cruzi*, który u ludzi wywołuje chorobę Chagasa (por. ROZDZ. 2);

— **mszyce** — liczna grupa szkodników roślin (w samej Polsce stwierdzono występowanie ok. 600 gatunków). Odżywiają się wysysanymi sokami zaatakowanych roślin, co prowadzi do osłabienia i deformacji tych ostatnich;

— **tarzaniki** — grupa groźnych szkodników drzew owocowych i szplikowców (sposób odżywania taki jak u mszy);

Wszy — żywią się wyłącznie krwią. Niektóre są bardzo silnie związane z jednym gatunkiem żywiciela. Na człowieku pasodżytuje taki ścisły monofag — **wesz ludzka** (znane są dwie rasy: odzieżowa i głowowa). Wszy przenoszą dur (tyfus) plamisty.

Łuskoskrzydłe — gąsienice wielu gatunków mogły to niebezpieczne szkodniki roślin uprawnych i drzew. Oto kilka przykładów:

— larwy **blejnika kapusznika** odżywiają się liśćmi roślin z rodziny krzyżowych (głównie kapusty i sałaty);

— gąsienice **barczatki sosnowki** i **brudnicy mniejszi** zjadają igły drzew takich, jak np. sosny, świerka. Może to prowadzić do wyniszczenia całych połaci lasów, np. osłabionych przez opady kwaśnych deszczów (por. później ROZDZ. 30);

— kosmopolityczna **owocówka jabłkówekca** — jej gąsienice są przyczyną „robaczywienia” jabłek;

Tegopokrwywe:

— **magcznik młynarek** jest szkodnikiem często spotykanym w magazynach zbożowych i młynach. Ponadto przenosi tasiemca karłowatego;

— **wołek zbożowy** także jest szkodnikiem powodującym spore straty w przemyśle zbożowym. Jego żarłoczne larwy żywią się ziarnami zbóż, potrafią nawet zaatakować suszone pieczywo i żółędzie;

— **pedraki chrabąszcza majowego**, a także **drutowce** (rodzaj larw) sprzążeków gryzają korzenie roślin (poszukaj, skąd wzięła się nazwa sprzążki);

— **stonka ziemniaczana** — groźny pasodżył upraw ziemniaka. Do jej łepienia próbuje się używać drapieżnego pluskwiaka — **perłusa** (*Perillus*), ponadto ważne jest, aby w danym ekosystemie funkcjonowały ptaki zjadające stonkę (np. bazyli, kurapatwy, szpaki);

— **kornik drukarz** — podobnie jak inni jego krewniacy drąży korytarze w drewnie, uszkadzając zaatakowane drzewa do tego stopnia, że najczęściej umierają;

Pchły — dorosłe postacie żywią się krwią ssaków i ptaków:

— **pchła ludzka** — pasodżytuje głównie na człowieku. Larwy żywią się szczątkami organicznymi znajduwanymi w szczelinach podłóg i mebli. Gatunek ten nie przenosi dżumy, ale tularemie tak;

— **pchła szczurza** — przenosi pączki dżumy. W tropikach naturalnym rezerwuarem tych pasodżył są szczury śniade, europejskie staki wracające z tych regionów poddaje się deratyzacji, czyli odszczurzeniu przy pomocy trujących gazów (nazywa to się fumigacją). Przyczyną jest zdolność przechodzenia tych pcheł na człowieka;

— **pchły zwierzęce** — przenoszą jaja tasiemca kartowatego i psiego;

— **pchła piaskowa** — występuje w krajach tropikalnych. Młode samice atakują ssaki, a także człowieka. Sadowią się np. pod paznokciami i w krótkim czasie wysysają tyle krwi, że wyglądają jak ziarna grochu. Pozostawiają po sobie małe ranki, które w tych strefach klimatycznych często ulegają wtórnym zakazeniom;

Błonkoskrzydłe — **mrowki faraona** zanieczyszczają pokarm. Mechanicznie przenoszą bakterie i wirusy (np. gruźlicy, czerwonki, węglik czy polio);

Muchówki — w Polsce występuje ponad 200 gatunków komarów, bąków i meszek, których krwiopijne samice są bardzo dokuczliwe. Poza tym:

— **moskit papatasi** — przenosi leiszmaniozy (por. ROZDZ. 2);

— **komar widliszek** — przenosi zarodźca malarii (na nasze szczęście w tropikach);

— **komar kłujący** — przenosi filariozy;

— **mucha domowa** — mechanicznie przenosi pączki duru brzuszkiego, krętki duru powrotnego, gruźlicę, czerwonkę bakteryjną i amebozę. A do tego jeszcze jaja pasożytniczych robaków;

— **mucha tse-tse** — przenosi śpiączkę i chorobę nagana;

— **bąki** — przenoszą pączki tularemii i laseczki węgliką;

— **gierz owczy** — jest jajożyworodny, larwy odżywiają się w skórze ssaka (czasem człowieka);

3. **Pajęczaki** — wśród nich groźne mogą być jadowite **skorpiony** i **pająki**, np. karakurt, tarantule czy śmiertelnie niebezpieczna, południowoamerykańska czarna wdowa. Więcej szkód wyrządzają jednak **roztocze**:

— **kleszcze** — są to ślepe pasodżyły, uczulone na zapachy i temperaturę. Najczęściej atakują spadając z zarośli na przechodzące pod nimi kręgowce statocelplne. Przenoszą wirusy niebezpiecznego, tajgowego zapalenia opon mózgowych (kleszcz tajgowy występujący w Polsce północnej). Odbywa to się transowarjnie — wirusami zarazone są już składane jaja. Ponadto kleszcze przenoszą tularemie i boreliozę;

— **świerzbowce** — pasodżywiają w skórze człowieka, wywołując chorobę zwaną świerzbem;

— **rozkruszki** (nazywane roztoczeniami kurzu domowego) — te mikroskopijne stawonogi dają mnisstwo uciążliwych odczynów alergicznych;

— **Dermatophagus pteromyssinus** — jest tzw. alergenem kurzu domowego. To małe zwierzątko nie jest pasodżytem. Żywi się fragmentami pierza czy też naskórka. Kłopot polega na tym, że jego wydaliny wywołują u niektórych ludzi nadmiarową reakcję odpornościową (w uproszczeniu — **alergie**);

PODSUMOWANIE

Stawonogi są najprawdopodobniej najdoskonalszymi bezkręgowcami lądowymi. Do cech charakterystycznych tej grupy należy zaliczyć:

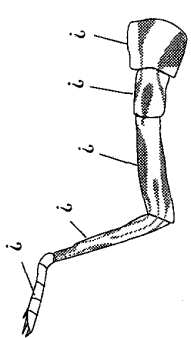
1. Bardzo sprawny system lokomotoryczny — jego podstawą konstrukcyjną są wieloczłonowe **odnóża stawowe**. Z mechanicznego punktu widzenia są to dźwignie wielozawiasowe (por. kończyny wolne kręgowców), umożliwiające szybkie przemieszczanie się w warunkach lądowych;

2. Posiadanie sztywnego **szkieletu zewnętrznego**, który zbudowany jest z twardych płytek (sklerytów) i łączących je miękkich błon łącznokankowych. Istotnym składnikiem twardych elementów jest aminocukler **chityna**, wysycająca i usztywniająca oskórkę. U skorupiaków jest on dodatkowo inkrustowany węglanem wapnia, a u owadów i pajęczaków skleroproteinami;

3. Nieprzepuszczalną dla gazów i wody powłokę ciała. Formy wodne wydalają amoniak. Gatunki lądowe wydalają zwykle guaninę, która jest związkami organicznym, słabo rozpuszczalnym w wodzie. Pamiętaj, jesteś w II klasie, przyjmij „na wiarę”, że umożliwia im to prowadzenie bardzo oszczędnej gospodarki wodnej. Więcej informacji na ten temat uzyskasz w kl. III.
4. **Metamerię heteronomiczną** (członowanie niejednorodne) — stawonogi rozwinięły tendencję do różnicowania funkcji poszczególnych metamerów i łączenia ich w większe zespoły. Jak wiesz, w ten sposób powstały **tagmy** (części ciała);
5. Występowanie **mięśni poprzecznie prążkowanych** przyczepionych do szkieletu zewnętrznego. Są to samodzielne wiązki włókien mięśniowych, nie tworzące jednorodnego wora powłokowo-mięśniowego. Wskutek ewolucji zbitej tkanka ta nie różni się od mięśni szkieletowych kręgowców — stąd podobieństwo nazw. Tak skonstruowana muskulatura jest niezbędny warunkiem sprawnej lokomocji;
6. Pojawienie się w układzie krążenia **rukawatego serca** umieszczonego po grzbietowej stronie ciała. O dziwo, jednak sam układ jest otwarty. Stawonogi zasadniczo mają tylko główne naczynia krwionośne: aortę, tętnice i żyły. Krew (tu nazywana słuznie hemolimfą) może zawierać barwniki transportujące gazy oddechowe w osoczu;
7. Rozrywanie woreczków celomatycznych i łączenie ich z jamą pierwotną (w wyniku zlewania się segmentów już w okresie zarodkowym). Prowadzi to do powstania mieszanej jamy ciała — **miksocoeli**;
8. Układ nerwowy, który jest udoskonaloną wersją brzusznej łańcuszka nerwowego pierścienic. U wyżej uorganizowanych mózg osiąga dość wysoki poziom rozwoju (jest dwu- lub trzyczęściowy). W związku z tym złożoność zachowań stawonogów osiąga poziom niespotykany w poprzednio omawianych grupach. Poza tym bardzo dobrze rozwinięte są narządy zmysłów, np. oczy złożone owadów;
9. Pokrywanie zwiększonego zapotrzebowania tlenowego dzięki rozbudowie układów oddechowych. W zasadzie dopiero w tej grupie można mówić o w pełni rozwiniętych, sprawnych systemach oddechowych: **skrzelach**, **plucotchawkach** i **tchawkach**;
10. Rozmnażanie się wyjątknie drogą płciową (pamiętaj, że partenogeneza jest tylko „odmianą” rozrodu płciowego!). Zdecydowana większość gatunków jest **rozdzielnopłciowa**, często też zaznacza się dymorfizm płciowy.

Pytania i polecenia kontrolne:

1. Omów budowę morfologiczną owada na przykładzie chrabąszcza.
2. Jakie widzisz różnice i podobieństwa w budowie morfologicznej chrabąszcza, raka i pająka?
3. Schemat obok przedstawia odnoże kroczne owada. Wykonaj taką rycinę w zeszycie i podpisz poszczególne elementy oznaczone znakami zapytania.
4. Jak owady przystosowały się do różnych sposobów odżywiania?
5. Jak sposób wymiany gazowej zależy od wielkości ciała i środowiska życia stawonoga?
6. Od czego zależy stopień wykształcenia układu krążenia stawonogów?
7. Omów budowę układu krążenia stawonogów na przykładzie szczerkoczułkowców.
8. Dlaczego układ krążenia owadów ma uproszczoną budowę?
9. Jak przystosował się pająk do pobierania i trawienia pokarmu?
10. Wykaż różnice w budowie i funkcjach narządów wydalniczych stawonogów wodnych i lądowych.
11. Omów budowę mózgu owadów. Jakle ośrodki zlokalizowane są w poszczególnych jego częściach?
12. Omów budowę i funkcję oka owada.
13. Wyjaśnij pojęcia: rozwój złożony, wzrost skokowy.
14. Na wybranych przykładach wykaż różnice w rozwoju z przeobrażeniem zupełnym i niezupełnym.
15. Jakie znaczenie ma zjawisko partenogenezy w cyklu życiowym niektórych owadów? Poshz się odpowiednimi przykładami.
16. Czerw, pędrak, gąsienica — wymienionym larwom przyporządkuj odpowiednie grupy owadów.
17. Omów pozytywne i negatywne znaczenie owadów w gospodarce człowieka.
- *18. Jakie jest znaczenie stawonogów w etiologii chorób człowieka?
- *19. Omów mechanizm ruchu stawonogów na przykładzie owadów.
- *20. Omów regulację hormonalną przeobrażenia.
- *21. Wykaż różnice w budowie i funkcji oczu apozycyjnych i superpozycyjnych.
- *22. Przedstaw osiągnięcia ewolucyjne owadów.
- *23. Uzasadnij słuszność tezy: „Stawonogi lądowe to najdoskonalsze bezkręgowce”.
- *24. Jak przebiegała ewolucja skrzydeł u owadów?
25. Znajdź opisy takich gatunków jak: tęczonki, biedronka, *Perillus*, jedwabnik mormowy, pszczoła miodna, chrząszcze z rodziny biegaczowatych, gąsieniczniki, baryłkarze, osiec korówkowy, kruszynki, złotook pospolity, mówka rudnica. Wykaż, że są naszymi sprzymierzeńcami. Źródłami informacji mogą być, np. „Zoologia stosowana” Zbigniewa Kaweckiego wydana nakładem PWN, „Owady” Henryka Sandhera z serii — Zwierzęta świata PWN lub inne podręczniki akademickie wymienione na str. 5.
26. Napisz referat o wybranych gatunkach owadów społecznych (materiały możesz zdobyć ze źródeł wymienionych w poleceniu nr 25).



13. Charakterystyka mięczaków

Typ: **Mięczaki** (*Mollusca*)

nauka: **malakologia**

Gromada: **Chitony** (*Polyplocophora*)

Gromada: **Jednolanczowce** (*Monoplacophora*)

Gromada: **Ślimaki** (*Gastropoda*)

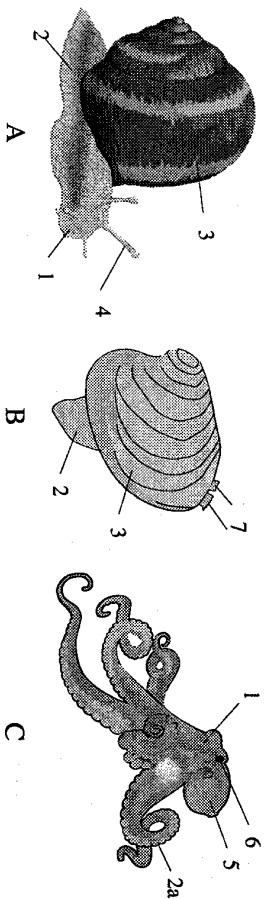
Gromada: **Matże** (*Bivalvia*)

Gromada: **Głowonogi** (*Cephalopoda*)

Mimo dużych różnic w budowie i biologii z całą pewnością wywodzą się od pierścienia. Mięczaki są starą grupą zasiedlającą zbiorniki wodne (głównie morskie) i tylko część przeszła do lądowego trybu życia. Początki tego szerepu sięgają wczesnego paleozoiku, stąd też długo trwała ewolucja doprowadziła do powstania bardzo różnych form i zatarcia wielu podobieństw. Współcześnie znanych jest ponad 130 000 gatunków. Jest to więc duży typ, my jednak omówimy go skrótowo.

Do istotnych cech mięczaków należy zaliczyć:

1. **Wtórnojomowość, trójwarstwowość i dwuboczną symetrię ciała. U części gatunków ślimaków ciało jest asymetryczne ze względu na spiralne zwiniecie muszli;**
2. **U większości gatunków niememeryzowane ciało, składające się z trzech zasadniczych odcinków (silne ślady segmentacji są typowe dla form najprzerwoniętszych):**
 - A) **głowy** (zrędkowanej m. in. u matży);
 - B) **tułowia** — które u większości przedstawicieli rozrasta się po stronie grzbietowej. Powstaje tam worek trzewiowy. W nim znajduje się większość narządów wewnętrznych;
 - C) **nogi** — u głowonogów przekształconej w chwytne ramiona (por. Ryc. 78 C);

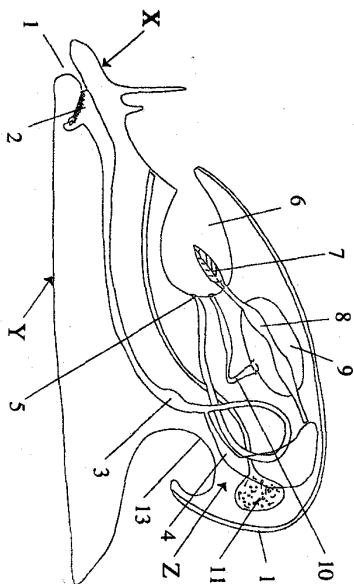


Ryc. 78. Schemat budowy morfologicznej ślimaka winniczka (A), matży (B) i głowonoga (C) (1 — głowa, 2 — noga, 2a — ramię z przysawkami, 3 — muszla, 4 — czulek, 5 — płaszcz pokrywający tułów, 6 — oko, 7 — syfony: wlotowy i wylotowy).

3. Występowanie na grzbietowej stronie ciała **muszli** (konchy). Stanowi ona ochronny pancerz, który rośnie całe życie wraz ze zwierzęciem (porównaj to ze stawonogami). U grup starszych muszle tworzy kilka płytek, u innych jest ona dwuczęściowa (matże), jednoczęściowa (większość ślimaków) albo wręcz ulega znacznej redukcji (współczesne głowonogi). Muszla

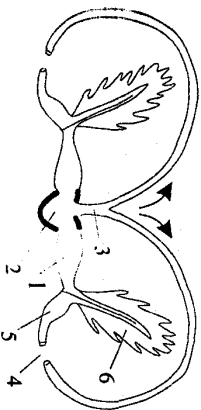
jest wytworem gruczołowym fałdu powłoki tułowia — **płaszcz**. Między płaszczem a tułowiem występuje wolna przestrzeń — **jama płaszczowa**. W niej umieszczone są skrzelia i otwory końcowe układów: wydalinowego i rozrodczego. U ślimaków płucodysznych silnie ukrwiona jama płaszczowa spełnia rolę płuca.

4. Występowanie układu oddechowego. U form pierwotnie wodnych tworzą go pierzaste skrzelia — **ktenidia**, u ślimaków lądowych zaś jama płaszczowa.



Ryc. 79. Schemat budowy anatomicznej ślimaka skrzelodysznego (dla formy płucodysznej muszli) usunąć skrzelia z jamy płaszczowej (X) — głowa z czulkami, Y — noga ze stopą, Z — worek trzewiowy, 1 — otwór gębowy, 2 — gardziel z tarką, 3 — żołądek, 4 — wytróba uchodząca do jelita środkowego, 5 — otwór odbytnicy, 6 — jama płaszczowa, 7 — ktenidia, 8 — serce, 9 — ostertdzie, 10 — nerka, 11 — gonada, 12 — muszla, 13 — płaszcz.

5. Posiadanie **otwartego układu krążenia**. Krew napędzana jest w nim skurczami serca, zbudowanego z jednego przedsionka i jednej komory. Serce umieszczone jest w worku osierdziowym. Głowonogi cechuje niezwykle przystosowanie, służące usprawnieniu krążenia. Ich układ jest prawie zaniknięty i jak gdyby dwubiegowy (serce ma dwa przedsionki i komorę; por. Ryc. 80). Poza tym występują w nim **serca skrzelowe**, które podtrzymują dość wysokie ciśnienie w krwiobiegu;



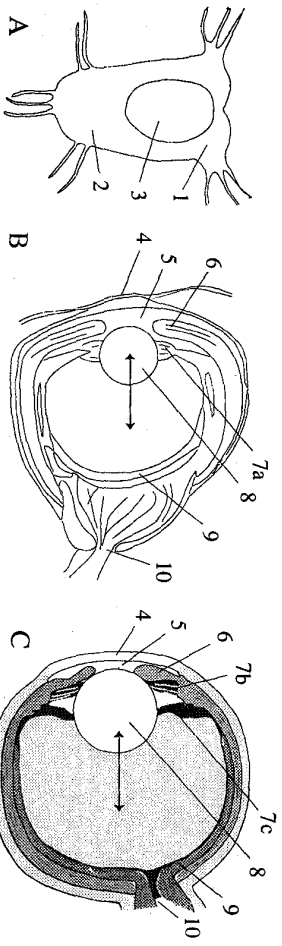
Ryc. 80. Schemat budowy układu krążenia (1 — przedsionek, 2 — komora, 3 — aorta, 4 — symboliczna przewa w ciągłości systemu naczyńnowego, 5 — serce skrzelowe, 6 — skrzela typu ktenidium).

6. Układ pokarmowy zbudowany z trzech odcinków. Występowanie w gardzieli ślimaków specjalnej **raduli**, czegoś w rodzaju tanki, która służy do rozcierania pokarmu;

7. Sprawy układ wydalinowy tworzący przez parzyste narządy nazywane **nerkami**. Tworzy te otwierają się do jamy osierdziowej. Stanną zbierają zbędne i szkodliwe produkty przemiany materii, usuwane później do jamy płaszczowej (por. Ryc. 79);

8. Posiadanie układu nerwowego oddzielnego od powłok ciała. U form prymitywnych składa się on z **okologardzielowego pierścienia**, od którego odchodzą dwie pary **pni nerwowych**. Wyżej uorganizowane mięczaki wytwarzają na pniach nerwowych kilka zwojów. Taki proces koncentracji kadłubów neuronów na pniach nerwowych nazywa się **ganglionizacją** i można go było zaobserwować już u pierścienia. Wyróżnia się m. in. pary zwojów: **głowe**, **trzewiowe** i **nożne**. U najwyższej uorganizowanych drapieżnych ślimaków oraz głowonogów dochodzi do ich koncentracji w przednim odcinku ciała w jedną masę okologardzielową, nazywaną w uproszczeniu **mózgiem** (por. Ryc. 81 A). Szczególnie silnie proces ten zaznacza się u niektórych głowonogów. Wykazują też one najbardziej złożone formy zachowania (głównie ucze-

nia się) i należy uznać je za najinteligentniejsze bezkręgowce. Do tego mózg tych zwierząt chroniony jest przez **chrzęstną puskę mózgową** (rzecz w innych bezkręgowców niespotykana);



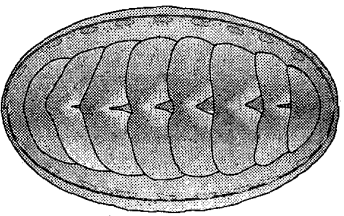
Ryc. 81. Schemat budowy układu nerwowego wysoko uorganizowanego mięczaka (A) oraz oko głowono- ga (B) i ryby (C) (1 — zwoje głowowe, 2 — skupienie pozostałych zwojów, 3 — przełyk, 4 — rogówka, 5 — źrenica, 6 — tęczówka, 7a — mięsień soczewki głowonogów, 7b — więzadło co- fujące soczewkę ryb ku rogówce, 7c — mięsień poruszający soczewkę ryb ku statkówce, 8 — kul- sta soczewka, 9 — statkówka, 10 — nerw wzrokowy). Strzałki pokazują możliwość przesuwania soczewki względem statkówki.

9. Różny stopień rozwoju narządów zmysłów. Zwroticimy jedynie uwagę na **oko głowonogów** (por. Ryc. 81 B). Ten złożony narząd przypomina budową oko kręgowca wodnego i nie ustępuje mu jakością widzenia. Jest to piękny **przykład analogii** rozwoju ewolucyjnego. Narządy wzroku głowonogów i kręgowców rozwinęły się niezależnie od siebie (mówimy, że mają różne pochodzenie). Oczy głowonogów, podobnie jak owadzie, powstają ze specjalnych fałdów powłok ciała zarodka. Tymczasem oczy wszystkich kręgowców rozwijają się z bocz- nych wypustek międzymózgowa. Jednak, na skutek **ewolucji konwergentnej** (Zbliżonej — wywołanej zblizniętymi warunkami życia), mają podobną budowę. Szczególnie widać to jeśli porówna się oko osmiornicy i ryby (por. Ryc. 81 B). W tym przypadku nawet mechanizm akomodacji (przesuwania soczewki względem statkówki) jest taki sam;

10. Rozmnażanie się wyłącznie drogą płciową. Większość gatunków jest obupłciowa, jedynie głowonogi są wyłącznie rozdzielnopłciowe, z zaznaczonym dymorfizmem płciowym. Wcze- sne etapy rozwoju zarodkowego przebiegają podobnie jak w wieloszczetów. U niższych mięczaków larwa bardzo przypomina trochoforę, u wyżej uorganizowanych występuje silnie zmieniony veliger.

Krótki przegląd mięczaków

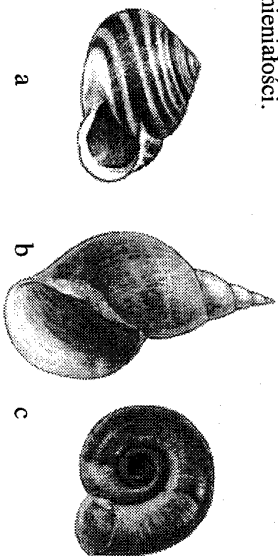
Chitony — należą do najprymitywniejszych mięczaków posiadają- cych m.in. dwuboczną symetrię ciała i bardzo słabo wyodrębnioną głowę. Wyglądem przypominają nieco bochenek chleba, chroniony od góry osmionna płytkami (por. Ryc. 82);



Ryc. 82. Budowa morfologiczna chitona — widok z góry. Zwróć uwagę na osmiopłytkową muszlę osłaniającą całe ciało łącznie z głową.

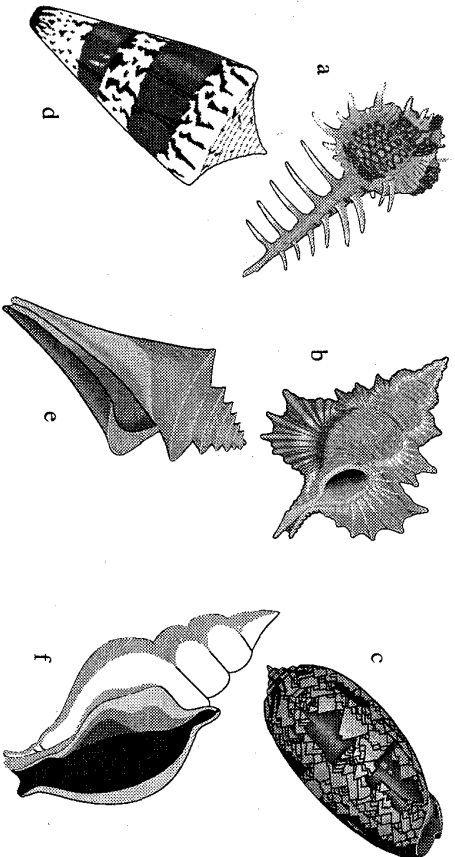
U pozostałych mięczaków specjalne komórki gruczołowe płaszcza wytwarzają muszlę o złożonej, warstwowej budowie chemicznej. Pierwotnie posiadają oczy i czułki umieszczone na głowie. Dzielią się na:

Jednotarczowce — głównie kopalne mięczaki, uznawane do niedawna za grupę całkowicie wymarłą. Wyłowienie w Oceanie Spokojnym z głębokości 4 km współczesnego przedstawici- elia było nie lada sensacją. Zwierzę nazwano *Neopilina galathea* (statek badawczy tej duńskiej ekspedycji nazywał się m.s. „Galathea”). W budowie neopiliny zachowują się silne ślady pierwotnej metamerii — należy więc uznać to zwierzę za piękny przykład żywej ska- mieniałości.



Ryc. 83 A. Przykłady muszli ślimaków występu- jących w Polsce (a — wstężyk ogro- dowy, b — blonitarka stawowa, c — zatoczek rogowy).

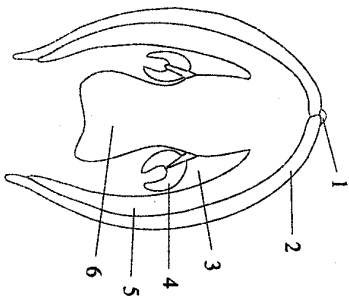
Ślimaki (brzuchonogi) — jest to najliczniejsza grupa mięczaków. Zamieszkuje środowiska wod- ne i lądowe (ślą generalnie skrzel- i płucodyszność). U wielu gatunków narządy uchodzące z prawej strony do jamy płaszczowej ulegają redukcji, a cały worek trzewiowy ulega skręceniu. Prowadzi to do powstania wspomnianej już, charakterystycznej asymetrii budowy ciała. Przykładów ślimaków jest mnóstwo, wspomnijmy więc tylko o płucodysznych: **winniczku** (*Helix pomatia*, por. Ryc. 78 A), **wstężykach** (*Cepaea*, por. Ryc. 83 A) oraz nagich **pomro- wach** (*Limax*). Do wodnych, ale płucodysznych gatunków zaliczamy m.in. **zatoczki** (*Planor- bis*) i **blonitarki** (*Lymnaea*, por. Ryc. 83 A). Największe rozmiary i przedziwne kształty osiągają barwne muszle skrzelodysznych ślimaków morskich (por. Ryc. 83 B).



Ryc. 83 B. Przykłady muszli ślimaków morskich: rozkołce (a, b), stożki (c, d, e), tryton (f).

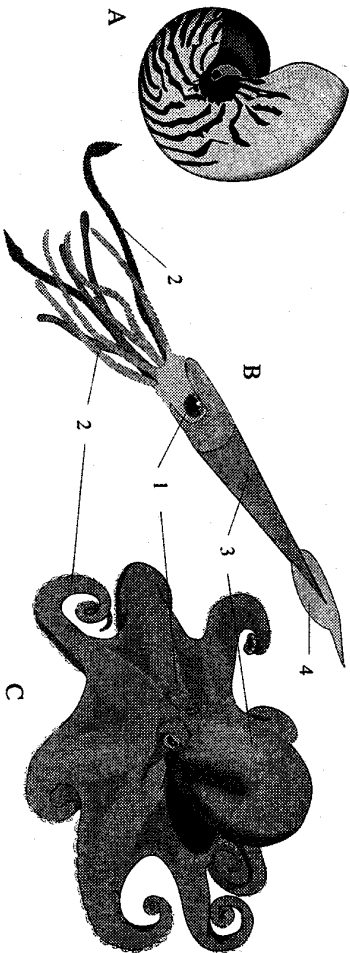
Liczne ślimaki mają duże znaczenie w biocenozach. Wśród morskich gatunków przeważają drapieżniki i padlinożery, natomiast większość form lądowych odżywia się pokarmem roślinnym. Dla wielu kręgowców ślimaki stanowią wartościowy pokarm, np. drozdy i kosy jedzą wiele wstężyków, winniczekiem zaś nie pogardzi nawet lis.

Małże — gromadę tę tworzą mięczaki pozbawione głowy, skrzelodyszne i pokryte dwuczęściową muszlą, (por. Ryc. 84). Najbardziej znaną są ostrzygi (z przyczyn kulinarnych) i małże perlorodne (z innych). Jeszcze na początku lat pięćdziesiątych XX wieku w naszych potokach można było czasem spotkać słodkowodną skójkę perlorodną. Zanieczyszczenia doprowadziły do zupełnego wyniszczenia tego gatunku na terenie Polski (jest to smutny przykład skutków bezmyślnego uprzemysławiania kraju). W Baltyku żyją jeszcze (!) m.in. sercówka, rogowiec baltycki i omulek.



Ryc. 84. Przekrój poprzeczny przez ciało małża 1 — więzadło muszli, 2 — muszla, 3 — jama płaszczowa, 4 — krenidium, 5 — płaszcz, 6 — noga.

Głowonogi — są bezwzględnie szczytowym etapem ewolucji bezkręgowców wodnych (a może i wszystkich). W przeciwieństwie do nieruchawych małży, większość gatunków to szybkie i inteligentne drapieżniki. Przeszkadzająca w ruchach muszla ulegała u nich znacznej redukcji (u osmiornic całkowitej). Jedynym współczesnym wyjątkiem są tutaj reliktowe łodziki (rodzaj *Nautilus*, np. łodzik żeglarek — żywa skamieniałość z paleozoiku). Posiadają one w pełni wykształconą, spiralnie zwinętą muszlę (por. Ryc. 85 A). Noga głowonogów ulegała głębokiej przebudowie, w wyniku której powstało z niej 8 ramion opatrzonych przysawkami. U *Kalamarnie* i *małw* są jeszcze dwa dodatkowe, dłuższe — sąd określenia osmiornice i dziesięciornice (por. Ryc. 85 B i C).



Ryc. 85. Głowonogi: A — muszla łodzika, B — kalamarnica, C — osmiornica (1 — głowa z ogromnymi oczami, 2 — ramiona, 3 — worek trzewiowy, 4 — „pletwa”).

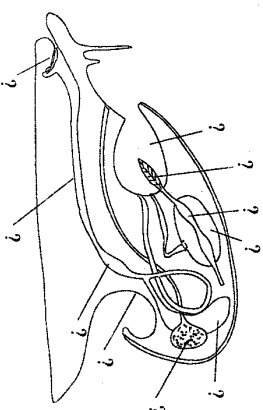
Lokomocja odbywa się z użyciem ramion lub ruchem odrzutowym. Polega to na tym, że silny skurcz mięśni poprzecznie prążkowanego ścianą jamy płaszczowej gwałtownie wypycha z

niej wodę. Jedynym ujęciem dla niej jest tzw. lejek i to z niego wydostaje się silny strumień odpychający zwierzę. Jeśli dodamy do tego złożone zachowania, niesamowite oczy i dość odpychająca „powierzchność”, łatwo zrozumieemy ludzkie uprzedzenia. Są one grubo przesadzone, ale... Głowonogi żywią się głównie skorupiakami i rybami. Same stanowią pokarm pingwinów, fok, delfinów i kaszalotów. Te ostatnie polują na olbrzymie kalamarnice i czasem widać na ich skórze ślady ogromnych przysawek sugerujących, że w głębinach żyją okazy mierzące do 18 metrów (!) rozpiętości ramion. Rodzód głowonogów jest skomplikowany i bardziej przypomina kręgowce niż inne mięczaki. Chodzi tu jednak o zachowania godowe i częstą opiekę nad potomstwem, a nie sposób rozwoju zarodkowego i postembryonalnego (sam rozwój przebiega bez postaci larwalnych).

Rodowód głowonogów sięga środkowego paleozoiku. W mezozoiku liczne były **amonyty** i **belemnyty**, które wymarły całkowicie pod koniec kredy. Dzisiaj żyje już tylko ok. 600 gatunków głowonogów (na 10 000 kopalnych). Przykłady form współczesnych, wspomniane już **łodziki** (reprezentujące głowonogi czteroskrzelne, z muszlą zewnętrzną) oraz **małwa** (*Sepia*), **kalamarnice** (*Loligo*), **Argonauita** (należące do dwuskrzelnych, z muszlą uwstecznioną).

Pytania i polecenia kontrolne:

1. Z jakich zasadniczych części zbudowane jest ciało mięczaków? Wskaz podobieństwa i różnice w budowie ciała ślimaka, małża i głowonoga.
2. Schemat obok przedstawia budowę anatomiczną ślimaka. Wykonaj podobny wpisując w miejsca znaków zapytania odpowiednie nazwy. W jakim środowisku żyje ten ślimak?
3. W jaki sposób u ślimaka usuwane są zbędne i szkodliwe metabolity?
4. Jak zbudowany jest aparat gębowy ślimaka winniczka?
5. Omów budowę i funkcję układu krążenia głowonogów. Jaką rolę pełnią w nim serca skrzelowe?
6. Na odpowiednich przykładach wykaż różnice w rozmnażaniu się mięczaków.
- *7. Dlaczego dla biologów tak duże znaczenie ma wyłowienie w Oceanie Spokojnym *Neopilina galahaei*?
- *8. Omów mechanizm lokomocji głowonogów.
- *9. Jaki jest rodzaj głowonogów?
- *10. Spróbuj wyjaśnić, dlaczego tak mało wiemy na temat biologii głowonogów?
- *11. Na wybranych przykładach porównaj budowę układu nerwowego stawonogów i mięczaków.
- *12. Wyjaśnij, dlaczego oko głowonoga może być przykładem ewolucji zbieżnej?



14. Pierwotne zwierzęta wtórnouste

Typ: Szkarłupnie (*Echinodermata*)

Typ: Półstrunowce (*Hemichordata*)

Do tzw. niższych wtórnoustych zalicza się szkarłupnie i półstrunowce. Żadna z tych grup nie ma większego znaczenia w ekosystemach ani w gospodarce człowieka. Żeby więc nie powiększać swojego zasobu wiadomości encyklopedycznych, przedstawimy je bardzo skrótowo.

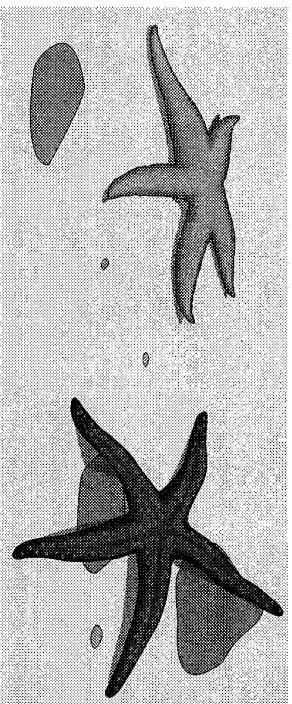
UWAGA: Zwierzęta te zostały opisane w jednym rozdziale — są jednak niezależnymi odgalezieniami drzewa ewolucyjnego (por. Ryc. 1), a jedną istotną cechą, która je łączy jest wtórnoustosc.

Charakterystyka szkarłupni

SZKARŁUPNIE SA PRZYKŁADEM EWOLUCJI REGRESYWNEJ

Do istotnych cech tej dziwnej grupy zwierząt należałoby zaliczyć, to że:

1. Są to **wyłączenie morskie organizmy** o małej tolerancji na zmiany zasolenia (nawet — **steno-halinowe**; por. ROZDZ. 29). Prowadzą przydenny tryb życia, znanych jest ok. 5 000 gatunków. Formy młodsze ewolucyjnie mają bardziej zaawansowaną budowę i są zasadniczo wolno żyjące. Należą do nich **rozwiazdy** (por. Ryc. 86), **jeżowce**, **strzykwy** i **węzowidła**. Większość z nich to organizmy pętające powoli po dnie oceanów. Spośród starych, osiadłych szkarłupni do dzisiaj żyją jedynie hliowce.
2. Wszystkie szkarłupnie należą do zwierząt wtórnoustych o rozwiniętej celomie;
3. W tej grupie zwierząt doszło do wtórnego przekształcenia symetrii dwubocznej w **radialną** (najczęściej pięciopromienną). Szkarłupnie nie mają więc boków, a jedynie część górną — **aboralną** (grzbietową) i dolną — **oralną** (brzuszną);
4. W tkance łącznej podskórnej rozwija się hypodermalny **szkielet** utworzony przez mezodermę. Stanowią go zespoły wapiennych płytek ze sterzącymi igłami lub kolcami (np. u jeżowców);



Ryc. 86.
Sylwetki rozwiazdy.
Zwróć uwagę na pięciopromienną symetrię ciała i brak głowy.

5. W związku z przejściem do dennego trybu życia nastąpiła zmiana organizacji ciała. Przede wszystkim regresji uległo wiele układów narządów.

A) układ nerwowy ma prymitywną budowę — właściwie brak w nim mózgu. Centrum nerwowe tworzą podskórne pierścienie nerwowe po stronie grzbietowej i brzusznej. Od nich promieniście rozchodzą się nerwy (zwykle po pięć). Narządy zmysłów są mocno uwstecznione;

B) układ oddechowy — albo wcale go nie ma, albo jest słabo rozwinięty. Tworzą go wówczas tzw. skrzelna skóme;

C) układ krążenia jest otwarty i w zasadzie nie ma w nim serca;

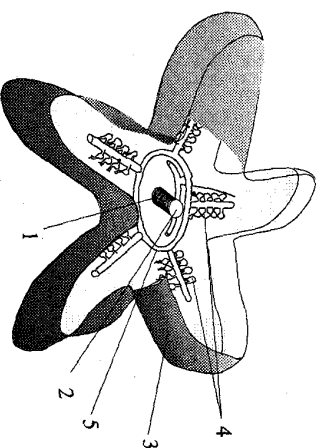
D) układ pokarmowy — rozpoczyna się otworem gębowym po stronie oralnej (a więc zwróconej do dołu). U jeżowców, w przednim odcinku jelita występuje specjalny aparat żujący — larnia Arystotelesa. Jest to złożony twór, budowany m.in. przez twarde elementy szkieletowe (jeśli jesteś dociekliwy, możesz zapoznać się z jego budową). U większości szkarłupni za otworem gębowym ciągnie się krótka rura przełyku, który rozszerza się w żołądek. Dalej jest jelito, uchodzące otworem odbytowym po stronie aboralnej;

E) układ wydalniczy — w tej grupie zwierząt nie występuje;

F) układ rozrodczy — szkarłupnie są **rozdzielnopłciowe**. Przechodzą złożone przeobrażenie z larwą nazywaną ogólnie **dipleurą**. Sledzenie jej rozwoju wskazuje, że przodkowie *Echinodermata* mieli symetrię dwuboczną;

G) **układ ambulakralny** (ogólnie — wodny) — jest to radialny system kanałów wypełniony cieczą o składzie zbliżonym do wody morskiej (por. Ryc. 87). Umożliwia m.in. ruch (po- przez specjalne nożki ambulakralne) i wymianę gazową.

Wniosek: Szkarłupnie są zupełnie odrębną linią rozwojową.



Ryc. 87.
Schemat przekroju ciała rozwiazdy — widoczna jest symetria pięciopromienna (1 — otwór gębowy, 2 — uciety przełyk, 3 — ramię, 4 — nożki ambulakralne, 5 — kanał promieniasty układu wodnego).

Charakterystyka półstrunowców

Typ: Półstrunowce (*Hemichordata*, przedstrunowce, *Protochordata*)

Jest to grupa wyłączenie morskich zwierząt, licząca współcześnie zaledwie ok. 80 gatunków. Działają się na: **jelitodysze** (*Enteropneusta*), **pióroskrzelne** (*Pterobranchia*) i **graptolity** (*Graptolitoidea* — dziś już wymarłe). Zwierzęta te nie odgrywają poważniejszej roli w biocenozach, ale są bardzo interesujące, ponieważ:

1. Posiadają **notochordę** — wydłużony twór powstający jako uchyłek sklepienia jamy gębowej. Niektórzy biolodzy uważają notochordę za twór homologiczny do struny grzbietowej strunowców;

2. Układ nerwowy tych zwierząt zakłada się po stronie grzbietowej w postaci cewki nerwowej (tak jak u strunowców; por. później ROZDZ. 16);
3. Przedni odcinek przewodu pokarmowego jest poprzębiany otworami skrzelowymi i pełni funkcje oddechowe (to także przypomina stosunki panujące u strunowców).

Stanowisko filogenetyczne przedstrunowców jest niejasne. Rozwój zarodkowy przypomina w początkowych stadiach embriogenezę szkarłupni. Szczególnie larwa jelitodysyjnych — **tor-naria** przypomina larwę rozgwiazd. Żeby było ciekawiej układ nerwowy półstrunowców pozostaje w łączności z powłokami ciała, ściana ciała zaś bardzo przypomina budowę wór powłokowomięśniowy (por. np. robaki płaskie). Ponadto w mięśniach tych zwierząt znajdują się dwa rodzaje związków chemicznych, które służą do „dodatowania” ATP (więcej informacji na ten temat uży-skasz w kl. III) — fosfoarginina (charakterystyczna dla bezkręgowców) i fosfokreatyna (charakterystyczna dla kręgowców). Z kolei cechy przedstawione wcześniej w punktach zdecydowanie zbliżają przedstrunowce do strunowców.

Wniosek jest dość prosty — opisywana grupa charakterystycznie się mozaikowością cech. Jest jednak pewne, że nie są to przodkowie strunowców (na to są zbyt wyspecjalizowane). Najprawdopodobniej wywodzą się z jakiejś starej grupy, z której rozwinęły się także strunowce (por. Ryc. 1).

UWAGA: Przynależność systematyczna graptolitów to już poważny i kontrowersyjny problem. Nie wdając się w szczegóły, wielu badaczy sądzi, że były to zaawansowane w rozwoju parzydelkowce (jeśli jesteś zainteresowany, poszperaj trochę w źródłach, np. w podręczniku „Zoologia — przedstrunowce i strunowce” pod. red. Z. Grodzinińskiego, wydanej przez PWN).

Pytania i polecenia kontrolne:

1. W jakim środowisku żyją i jaki tryb życia prowadzą szkarłupnie?
2. Jakie zmiany w budowie i fizjologii szkarłupni związane są z prowadzonym przez nie trybem życia?
3. Dlaczego szkarłupnie zaliczamy do zwierząt wtórnowustych?
4. Odnów budowę i funkcję układu ambulakralnego szkarłupni.
5. Uzasadnij, że szkarłupnie są przykładem ewolucji regresywnej.
6. Jakie zwierzęta zaliczamy do półstrunowców?
7. Dlaczego półstrunowców nie możemy uważać za przodków strunowców?
8. Jakie stanowisko filogenetyczne zajmują półstrunowce? Odpowiedz uzasadni-

Tematy rozprawek pisemnych:

1. Wykaz związek budowy z funkcją i środowiskiem życia wybranych układów oraz narządów zwierząt bezkręgowych.
2. Pasożytnictwo w świecie bezkręgowców i jego znaczenie dla człowieka.
3. Różnorodność i jedność bezkręgowców.
4. Jakie struktury i funkcje związane są z wyjściami bezkręgowców na ląd?
5. Przedstaw w ujęciu ewolucyjnym zasadnicze poziomy organizacji ciała bezkręgowców.
6. Przedstaw korelację pomiędzy poziomem organizacji układu nerwowego i narządów zmysłów bezkręgowców, a ich systemami i zdolnościami lokomocyjnymi.

15. Powstanie i charakterystyka ogólna strunowców

STRUŃOWCE STANOWIĄ STOSUNKOWO NIEMIELKĄ GRUPĘ ZWIERZĄT WTORNOUSTYCH

Jest to bardzo zróżnicowany pod względem budowy typ zwierząt, zamieszkujący wszystkie rodzaje środowisk na kuli ziemskiej. Mimo wielkich różnic jego przedstawiciele wykazują jednak kilka cech wspólnych i specyficznych tylko dla nich:

1. Wszystkie posiadają wewnętrzny, łącznotkankowy pręt biegnący wzdłuż grzbietu. Jest nim **struna grzbietowa** (*Chorda dorsalis* od łac. *chorda* — struna i *dorsum* — grzbiet). U części strunowców wór ten zachowuje się przez całe życie, u wyżej uorganizowanych stopniowo zastępowany jest przez kręgosłup (przykładowo u ssaków pojawia się tylko w rozwoju zarodkowym). **Struna grzbietowa** zakłada się jako ryńienkowane uwypuklenie dachu prątelita (u niższych strunowców), bądź też z przedniego odcinka, tzw. **smugi pierwonej** (np. u owodniowców). Odmienność tworzona tego **ważnego narządu najprawdopodobniej wynika z różnic w budowie komórek jajowych**. Struna grzbietowa strunowców spełnia dwie zasadnicze funkcje:

A) **wyznacza długą oś zarodka** — ma to znaczenie dla prawidłowego rozwoju. Zarodek „wiegdzie ma przód i tył, roślinie więc jak gdyby według pewnej linii;

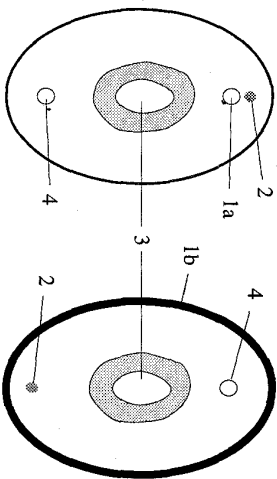
B) **stanowi wewnętrzny szkielet osiowy** (rola podporowa). Ułatwia w ten sposób wzrost embrionu na długość. U części dorosłych osłonic, bezczaszkowców i niektórych ryb usprawnia wyginanie ciała na boki, a więc ruch. W ciele osłonic, bezczaszkowców, zarodków ryb i płazów struna przyjmuje postać „rulonu monet”, czyli spleaszkowanych, silnie uwodnionych komórek otoczonych własnym nablönkiem i łącznotkankową otoczką (tzw. perichordalną; por. Ryc. 92). Dorosłe ryby i płazy tracą w miarę wzrostu układ rulonu na rzecz grubszej struny wielokomórkowej (na przekroju poprzecznym). U owodniowców stadium „rulonu” w ogóle nie występuje;

2. Gardziel strunowców poprzębianą jest parzystymi szparami skrzelowymi. U lądowych kręgowców szpary takie występują tylko w stadium zarodkowym;
3. Ośrodkowy układ nerwowy tworzy ektodermalna cewka nerwowa, położona grzbietowo nad szkieletem osiowym. U bezkręgowców centralny układ nerwowy budują zwoje — lite skupienia kądziów komórek nerwowych. U strunowców natomiast występuje pusta w środku „rura”, ślepo zakończona z obu końców (ciała neuronów skupione są w jej ścianach). U wyżej uorganizowanych cewka nerwowa rozwija się w mózgowie i rdzeń kręgowy;
4. Strunowce mają **ogon** — **narząd lokomotoryczny położony za odbytem**, zawierający elementy szkieletowe i mięsne;
5. Strunowce mają charakterystyczną topografię układów, wyraźnie inną niż większość bezkręgowców (zanalizuj dokładnie Ryc. 88).

UWAGA: 1. Cecha nr 4 jest dość dyskusyjna, jeśli wziąć pod uwagę bezogonowe formy czworonogów, np. żaby. Przyjmij więc, że ogon ma charakter pierwotny i może zaniknąć.

2. Cechy nr 2, 3, 5 charakteryzują także grupy zwierząt określanych jako przedstrunowce. Mają one ponadto krótki prępek łącznotkankowy, który uważa się za twór

homologiczny do struny grzbietowej. Do typu przedstrunowce zalicza się: jelitodyszne, pteroskzelne i wymarne graptolity.

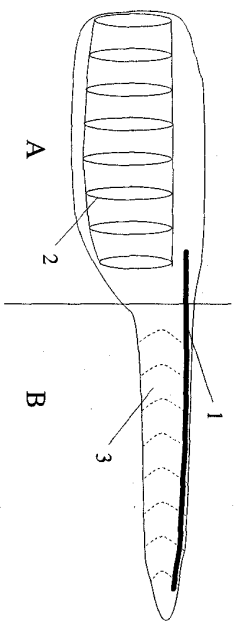


Ryc. 88. Topografia wybranych układów u strunowca (A) i stawonoga (B) (1a — struna tworząca wewnętrzny szkielet osiowy, 1b — szkielet zewnętrzny utworzony przez ośkońkę chitynową, 2 — układ nerwowy, 3 — układ pokarmowy, 4 — układ krążenia).

HIPOTETYCZNY PRZODEK STRUNOWCÓW MOĞE WYGLĄDAĆ JAK LARWA OGONIC

Nie znamy kopalnych szczątków tego zwierzęcia. Wiemy natomiast, że musiało pojawić się najpóźniej w kambrze. Wydaje się, że było to drobne, dwubocznie symetryczne zwierzątko o dwóch częściach ciała (por. Ryc. 89):

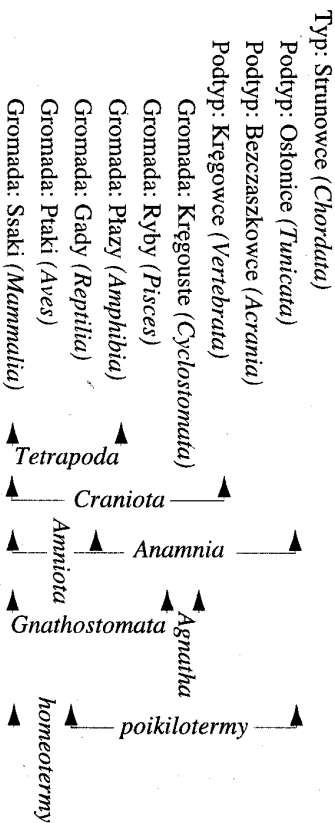
1. **Wisceralnej** — odpowiedzialnej za pobieranie pokarmu i być może oddychanie (stał gardziel poprzębiana była licznymi szczelnymi skrzelowymi — powstał więc kosz skrzelowy);
2. **Somatycznej** — odpowiedzialnej za przemieszczanie całego ciała. Zawierała ona metameryczną muskulaturę umożliwiającą wyginanie tylnej części ciała na boki.



Ryc. 89. Schemat budowy hipotetycznego przodka strunowców (A — część wisceralna B — część somatyczna, 1 — struna grzbietowa, 2 — kosz skrzelowy, 3 — miomer).

W tylnej części ciała biegła struna grzbietowa, nad którą znajdowała się cewka nerwowa. Rozwój strunowców szedł w kierunku rozbudowy zarówno części wisceralnej jak i somatycznej. Jeśli tak było to, np. kosz skrzelowy bezczaszkowców byłby homologiczny z łukami skrzelowymi kregowców! Analizując kolejne grupy strunowców, pamiętaj więc o ich skromnym przodku.

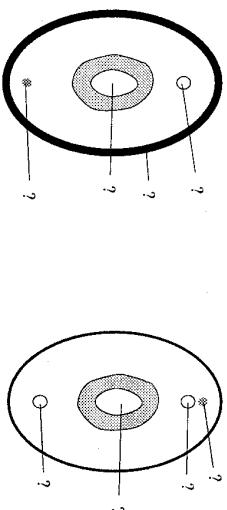
Pomiejz zamieszczona została pomocnicza systematyka strunowców wraz z dodatkowymi informacjami (por. Ryc. 90). Ma ona pomóc Ci w zapoznaniu się z wewnętrznymi podziałami w obrębie strunowców i z często używanymi terminami łacińskimi.



Ryc. 90. Podział strunowców na zasadnicze grupy.

Pytania i polecenia kontrolne:

1. Omów cechy wspólne, charakterystyczne dla wszystkich strunowców.
2. Schematy przedstawiają ogólne plany budowy: bezkregowca i strunowca. Narysuj podobne i opisz je, wstawiając w miejsce znaków zapytania nazwy odpowiednich układów. Jakże widzisz różnice w topografii opisanych na schematach układów u obu grup zwierząt?



3. Scharakteryzuj hipotetycznego przodka strunowców.
4. Jak tworzy się i jaką funkcję pełni struna grzbietowa u strunowców?
5. Wykaż różnice w budowie centralnego układu nerwowego bezkregowców i strunowców.

16. Strunowce niższe

Typ: **Strunowce** (*Chordata*)

Podtyp: **Ostonice** (*Tunicata*)

Gromada: Ogonice

Gromada: Zachwy

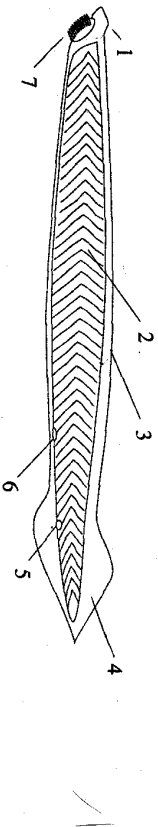
Gromada: Sprzagle

Podtyp: **Bezczaszkowce** (*Acrania*)

Gromada: **Głowostrunowce** (*Cephalochordata*, bezczaszkowce)

UWAGA: W nomenklaturze polskiej nazwy podtypu i gromady bezczaszkowce są takie same. Łacińskich nazw gromad należących do ostonic nie podano celowo.

Termin „strunowce niższe” jest dość wieloznaczny. Można jednak użyć go do określenia ostonic i bezczaszkowców. Te dwie grupy wykazują szereg istotnych różnic, ale w porównaniu z kręgowcami mają wyraźnie prostszą budowę i czynności życiowe (stąd określenie „niższe”). Przegląd strunowców zainicjowany od bezczaszkowców mimo, iż ostonice są pierwotniejsze. Po prostu lepiej uczyć się budowy lancetnika, gdyż jest on pewnym wzorcem konstrukcyjnym strunowca (ale nie przedkiem!).



Ryc. 91. Lancetnik — wygląd ogólny (1 — „dziób”, 2 — miomer, 3 — „pletwa” grzbietowa, 4 — „pletwa” ogonowa, 5 — otwór odbytowy, 6 — otwór atrialny, 7 — czułki czyli „wąsy”).

Lancetnik należy do najlepiej poznanych bezczaszkowców, stąd charakterystyka całej grupy praktycznie sprowadza się do tego rodzaju.

Morfologia

Lancetnik (*Branchiostoma lanceolatum*) przypomina niewielką, bezokrą rybkę (por. Ryc. 91). Jego ciało o długości 6—8 cm jest wydłużone i bocznie spłaszczone. Wyróżnia się w nim odcinki: „dziób”, korpus i ogon. Przedni i tylny odcinek są nieco „zastrzone”, dlatego można mówić tu o kształcie hydrodynamicznym.

Otwór gębowy lancetnika jest stale otwarty, aby ułatwić przepływ wody. Znajduje się w spodniej części dziobu. Wokół niego widoczne są wąski (czułki) spełniające funkcje czuciowe. Środkiem grzbietu, przez całe ciało, biegnie dość sztywny fałd skóry nazywany czasem „pletwą” grzbietową. Po stronie brzusznej, na pewnym odcinku, są dwa takie fałdy biegnące równoległe po bokach (por. Ryc. 93 B).

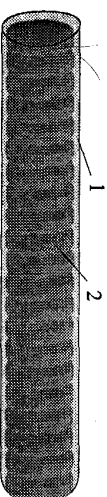
Powłoka ciała

U lancetnika tworzy ją bardzo cienka skóra pokryta jednowarstwowym i urzestionym nabłonkiem. Jest to cecha zbliżająca bezczaszkowce do bezkręgowców, tym niemniej jest przydatna, ponieważ część wymiany gazowej zachodzi właśnie poprzez powłokę wspólną ciała.

Układ szkieletowy

ZASADNICZO TWORZY GO STRUNA GRZBIETOWA

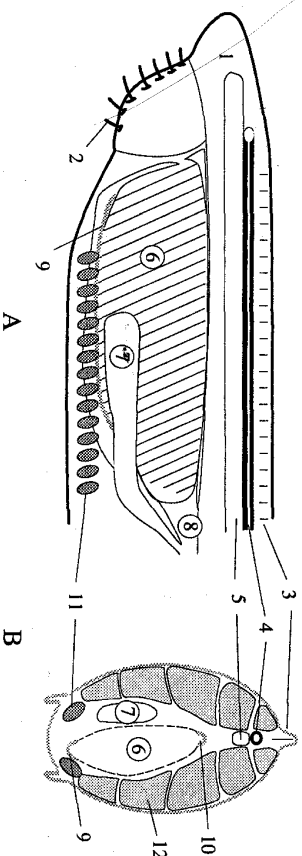
Wyznacza ona długą, dość sztywną, wewnętrzną oś ciała (porównaj to z bezkręgowcami!). Budowa struny u lancetnika jest bardzo prosta. Wyobraź sobie bardzo liczne komórki kształtem przypominające monety. Jeśli teraz zbierzesz kilkadziesiąt takich jakby monet i ułożysz w jeden długi rzułon, to utworzysz model struny (por. Ryc. 92). Sztywność całej konstrukcji wynika z tego, że ów „rzułon” zapakowany jest w łącznotkankową pochwę (ostonkę) struny. Do tego komórki struny są bardzo silnie uwodnione, a między nimi prawie nie ma istoty międzykomórkowej, stąd unikalny rodzaj tkanki łącznej chorooidalnej (por. ROZDZ.: 5.2).



Ryc. 92. Struna grzbietowa lancetnika — widok fragmentu z boku (1 — ostonka, 2 — komórka struny).

Poza struną w ciele lancetnika występują też liczne błony łącznotkankowe. Między innymi wchodzi ona do „pletw”, część natomiast tworzy poprzeczne przegrody — miosepty, rozdzielające segmenty mięśniowe — miomery. Miosepty widoczne są przez cienką skórę jako linie załamane pod ostrym kątem (por. Ryc. 91). Ciekawostką jest fakt, że miomery i miosepty lewej strony ciała są przesunięte o 1/2 względem prawej. Taka budowa muskulatury umożliwia sprawniejsze wyginanie ciała na boki. Z kolei wyprost ciała zapewnia sprężystość struny. Z tego widać, że praca układu ruchu jest oparta na przeciwstawności mięśni i struny.

Wykonaj teraz proste ćwiczenie. Weź plastykową linijkę i naciśnij — siła twoich mięśni odkształci pryzmiar. Jeśli teraz puścisz, to linijka wygnie się z powrotem — z grubsza biorąc, tak właśnie pływa lancetnik.



Ryc. 93. Lancetnik: A — przekrój podłużny części przedniej, B — przekrój poprzeczny na wysokości kosa skrzelowego (1 — „dziób”, 2 — czułki, 3 — „pletwa” grzbietowa, 4 — cewka nerwowa, 5 — struna grzbietowa, 6 — kosa skrzelowa, 7 — uchylek wątrobowy, 8 — przełyk, 9 — endosyl, 10 — episytl, 11 — gonady, 12 — miomer).

Układ oddechowy

SYSTEM ODDECHOWY BEZCZASZKOWCÓW TWORZY KOSZ SKRZELOWY

Podobnie jak w przypadku ostonic, u bezczaszkowców przednia część rury przewodu pokarmowego, czyli gardziel, poprzedzająca jest szczelinami skrzelowymi (jest ich dużo, bo ok. 170—180 par). W ten sposób powstaje **kosz skrzelowy**, którego ściany są silnie ukrwione i umożliwiają wymianę gazową (por. Ryc. 93). Niektórzy autorzy wręcz piszą o skrzelach lancetnika. Jest to dość dyskusyjne, w każdym razie na pewno można to zwierzę zaliczyć do skrzelodysznych. Łatwo też zauważyć, że układ oddechowy jest tu powiązany z pokarmowym.

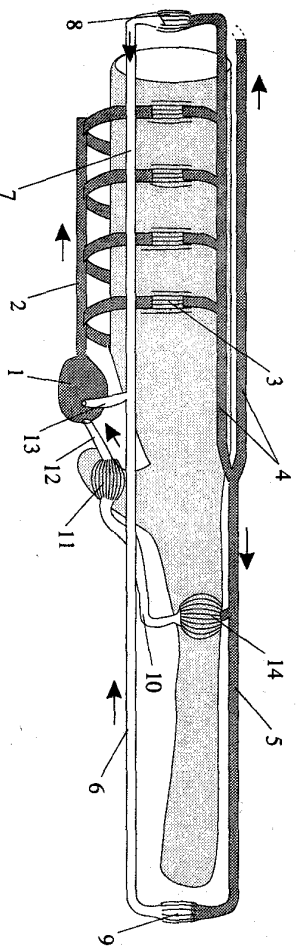
Przenywanie układu oddechowego jest proste — woda dostaje się do wnętrza ciała przez otwarty otwór gębowy. Następnie z gardzeli przechodzi przez szczelinę skrzelowe do tzw. **przestrzeni okłotoskrzelowej** (atrialnej), stamtąd otworem atrialnym na zewnątrz (porównaj to z ostonicami). Wymiana gazowa odbywa się na powierzchni ścian kosza skrzelowego. Ruch wody wymuszony jest przez liczne rzęski nabłonka gardzeli.

Układ krążenia

UKŁAD KRĄŻENIA LANCETNIKA MOŻNA UZNACZ ZA PIERWOWZÓR DLA WSZYSTKICH KREGÓWCÓW

Najbardziej przypominają on swoją budową stosunki panujące u bezżuchwoców i ryb. Nie oznacza to jednak, że jest taki sam. Poznanie jego budowy jest dla Ciebie bardzo ważne, gdyż wówczas opanowanie ewolucji układu krążenia strunowców to „pesta”. Tym razem zaczniemy od rozminięcia cech ogólnych. W sumie system ten jest:

1. **Jednoobiegowy;**
2. **Praktycznie zamknięty;**
3. **Pozbawiony serca** (występuje tylko zatoka żylna, ale to nie to samo co serce);
4. **Krew jest bezbarwna i ma mało krwinek.**



Ryc. 94. Schemat budowy układu krążenia lancetnika z boku. Elementy układu pokarmowego przedstawiono jasnoszarym kolorem (1 — zatoka żylna, 2 — tętnica podskrzelowa, 3 — naczytnia włosowate kosza skrzelowego, 4 — korzenie aorty, 5 — aorta grzbietowa, 6 — żyła tylna lewa, 7 — żyła przednia lewa, 8 i 9 — naczytnia włosowate ścian ciała, 10 — żyła wrotna wątrobową, 11 — naczytnia włosowate uchyłki wątrobowego, 12 — żyła wątrobową, 13 — przewód Cuviera lewy, 14 — naczytnia włosowate jelita). Naczytnia: 6, 7 i 13 mają swoje odpowiedniki po prawej stronie ciała, jednak dla zwiększenia czytelności tej ryciny zostały one pominięte. Strzałki pokazują kierunek przepływu krwi.

Krążenie przedstawia się następująco (por. Ryc. 94). Krew wypływa z zatoki żyłnej do tętnicy podskrzelowej, której łukowate odgałęzienia (tętnice skrzelowe) wchodzi z obu stron do ścian kosza skrzelowego. Tam zaś rozdzielają się na sieć naczyń włosowatych i zatok, w których odbywa się wymiana gazowa. Następnie ułenowana krew zbierana jest nad koszem skrzelowym w parzystych korzeniach (naczel — pniach) aorty: lewym i prawym. Część krwi pływie korzeniami przednimi do dziobowej strefy ciała, oddaje składniki odżywcze i ten w naczyniach włosowatych, po czym wraca żyłami przednimi (lewą i prawą). Z kolei korzenie tylne aorty zbiegają się do tyłu w **aortę grzbietową**, która toczy krew do tylnej części ciała. Część krwi po przejściu naczyń włosowatych ściany ciała i mięśni wraca żyłami tylnymi: prawą i lewą. Jak widać na rycinie, krew wracająca z przedniej i tylnej części ciała, zlewa się ze sobą (zwróć uwagę na charakterystyczne połączenie żył przednich i tylnych) po obu stronach ciała. W miejscach połączeń występują specjalne odgałęzienia prowadzące do zatoki żyłnej — są to **przewody Cuviera**: lewy i prawy. Jeśli prześledzisz odpowiednie oznaczenia na Ryc. 94, to zauważysz, jakie to proste. Pozostaje jeszcze jedna sprawa — ołów część krwi toczoney przez aortę grzbietową przepływa przez tętnicę jelitową. Ta zaś rozgałęzia się na sieć naczyń włosowatych jelita. Wchłaniają one strawione cząstki pokarmowe. Krew zasobna w związki odżywcze zbierana jest pod jelitem w **żyłę wrotną wątrobową**, która prowadzi do uchyłki wątrobowego i rozpada się tam na sieć kapilarna. Dopiero z uchyłki wychodzi żyła wątrobową, wpadająca (jako trzeci naczytnie) do zatoki żyłnej.

Krew krąży w układzie na skutek rytmicznych, ale nieskoordynowanych skurczów m.in. zatoki żyłnej, tętnicy podskrzelowej i tętnic skrzelowych.

Pozostaje jeszcze zwrócić uwagę, że jest to **układ homologiczny z systemami krążenia wyżej uorganizowanych strunowców** (por. odpowiednie rozdziały).

Układ pokarmowy

Tworzy go prosta rura jelita. Przewód pokarmowy rozpoczyna się otworem gębowym położonym w przedniej, spodniej części ciała. Krótka jama gębowa prowadzi do obszernej gardzeli, która w tylnej części zęża się w ciasny przewód. Za nim jest dość szerokie jelito środkowe, do którego uchodzi uchyłek wątrobowy (homologiczny z wątrobą kregowców). Przewód pokarmowy kończy się jelitem tylnym, uchodzącym otworem odbytowym w tylnej części ciała. Pobieranie i trawienie pokarmu jest proste. Otwór gębowy otacza wieniec wąsików, poza tym w jamie gębowej zwisa błonisty fałd, a duża część komórek nabłonkowych całego jelita ma rzęski. Ruch wszystkich tych elementów napędza wodę z zawieszoną organiczną. W brzusznej, środkowej części kosza skrzelowego znajdują się rymienkowaty **endostyl**. Cięższe niż woda cząstki pokarmu opadają do niego i zostają zlepione wydzieloną gruczołową. Powstała „pasta” przesuwana jest przez przewód do prostej rury jelita środkowego. W nim zachodzi trawienie i wchłanianie. Enzymy trawienne są produkowane i wydzielane przez uchyłek wątrobowy. Niestrawione resztki pokarmowe usuwane są przez otwór odbytowy.

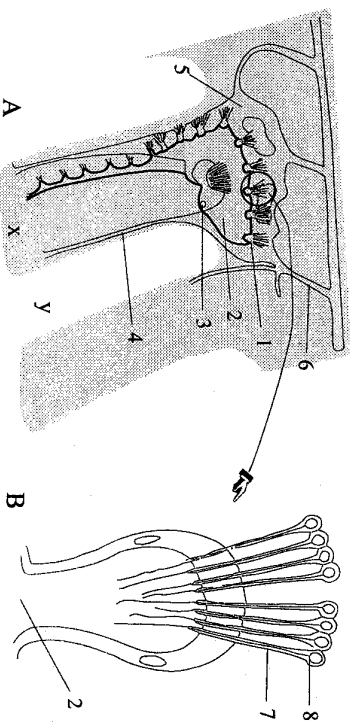
Układ wydalniczy i rozrodczy

UKŁAD WYDALNICZY LANCETNIKA SILNIE NAWIĄZUJE DO BEZKREGÓWCÓW

Podstawowym elementem konstrukcyjnym układu wydalniczego wielu bezkregowców jest **nefrydium**. U lancetnika jest ich ok. 90 par rozmieszczonych w grzbietowej części ściany kosza skrzelowego, są to silna metameria (por. np. piersienice). Pojedyncze nefrydium bezczaszkowca

buduje kanał nerwowy o kształcie odwróconej litery „L” (por. Ryc. 95 A). Do zewnętrznego brzegu kanału uchodzą liczne „kępkiwaite” skupienia komórek wydalinicznych, czyli **solenocytów**.

Działanie nefrydiów jest proste — pęczki solenocytów skierowane są do specjalnych zatok krwionośnych. Zbędne i szkodliwe produkty przemiany materii dyfundują z nich do rurczek (Kohlieryków) solenocytów (por. Ryc. 95 B). Ruch wici popycha przesącz do przodu w kierunku kanału nerwowego. Z niego zaś przez otwór wydalinicy metabolity usuwane są do przestrzeni okołoskrzelowej. U lancetnika głównym produktem przemian azotowych jest amoniak.



Ryc. 95. Budowa nefrydium lancetnika (A) oraz powiększenie pęczka solenocytów (B) (1 — pęczek solenocytów, 2 — kanał nefrydium, 3 — otwór wydalinicy nefrydium, 4 — naczyne tętnicze doprowadzające krew do zatoki krwionośnej, 5 — zatoka krwionośna, 6 — naczyne tętnicze odprowadzające, 7 — rurkowiaty kanalik solenocytu, 8 — kaulub solenocytu, x — zaciemniona ściana kosza skrzelowego, y — szpara skrzelowa).

LANCETNIK JEST ZWIĘRZĘCIEM ROZDZIELNOPLCIOWYM

Jednak w budowie morfologicznej brak jest oznak dymorfizmu płciowego. Gonady są męsamerycznie ułożone przy dolnej ścianie jamy okołoskrzelowej (por. Ryc. 93 A). Wygląda to jak gdyby do przestrzeni atrialnej ktoś powkładał 26 par kuliczek i przyczepił je do brzuszno-bocznych powierzchni. Komórki rozrodcze wydostają się z pęcherzykowatych gonad wprost do przestrzeni atrialnej i dalej z wodą na zewnątrz. Zapłodnienie jest więc **zewnątrzne**. Jaja są skąpoziłkowe, w związku z czym bruzdkowanie jest totalne i prawie całkowicie regularne.

Układ nerwowy i narządy zmysłów

UKŁAD NERWOWY LANCETNIKA MA PROSTĄ BUDOWĘ

Ośrodkowy układ nerwowy stanowi u niego **cewka nerwowa** (czasem nazywana rdzeniem nerwowym). Jest to jak gdyby zamknięta rurka z wąskim kanałem centralnym. Od przodu ściany cewki cieniują i powstaje rozszerzenie kanału centralnego — pojedynczy **pęcherzyk przedni**. W jego początkowej części znajdują się skupienie komórek światłoczułych, umożliwiające lancetnikowi odróżnianie natężenia światła. Poza tym w ścianie cewki rozmieszczone są mniejsze, tzw. oczka Hessgo, o budowie i funkcjach dość podobnych do opisanych przed chwilą elementów. Od cewki nerwowej odchodzą nerwy rdzeniowe, rozgałęziające się na całe ciało. Innych w specjalizowanych narządów zmysłów (węchu, słuchu, wzroku, linii nabocznej) brak.

UWAGA: Wg niektórych autorów nie można przedniej części cewki nerwowej nazywać pęcherzykiem mózgowym, ponieważ jej ściany nie mają żadnych cech szczególnych.

Występowanie i znaczenie bezczaszkowców

Zwierzęta te dość często można spotkać w płytkich, przybrzeżnych wodach mórz stref ciepłych i umiarkowanych (w Bałtyku nie występują). Prowadzą przydenny tryb życia — pełnią dla piaskowca, w których mogą prawie w całości się zagrzebać. Znany tylko kilka gatunków i żaden z nich nie ma istotnego znaczenia gospodarczego ani ekologicznego.

PODSUMOWANIE

Do cech charakterystycznych głowostrunowców należałoby zaliczyć to, że:

1. Są **wyłącznie morskimi**, drobnymi zwierzętami o wydłużonym, dwubocznie symetrycznym ciele, bez wyodrębnionej głowy. Widoczna jest wyraźna metameria wielu części ciała.
2. **Struna grzbietowa** zachowuje się przez całe życie i tworzy ich wewnętrzny szkielet osiowy;
3. **Nie mają czaszki**, ani też żadnej puszki mózgowej;
4. Ich układ nerwowy ma bardzo prostą budowę. Funkcje mózgu spełnia pojedynczy pęcherzyk przedni (czasem błędnie — mózgowy) zlokalizowany w przednim odcinku cewki nerwowej. Ponadto narządy zmysłów bezczaszkowców są bardzo prymitywne;
5. W zamkniętym układzie krążenia **brak serca**;
6. Funkcje oddechowe pełni **kosz skrzelowy**, czyli odcinek gardzieli poprzębiany licznymi szczelinami skrzelowymi;
7. Są **filtratorami** o prostej budowie układu pokarmowego;
8. Narządem wydalinicznym są **nefrydia** z solenocytami;
9. U większości bezczaszkowców skórę pokrywa **nabłonek jednowarstwowy** z rąbkami migawkowym;
10. **Brak płetw** — ich funkcję spełniają fałdy skóry. Nazywanie ich płetwami jest pewnym nieporozumieniem, gdyż nie posiadają swoich mięśni;
11. Plan budowy dość silnie nawiązuje do ogólnego modelu strunowca przedstawionego w poprzednim rozdziale.

Charakterystyka ostonic

OŚTONICE ŻYJĄ WYŁĄCZNIE W MORZACH PEŁNOŚLONYCH

Znanych jest prawie 1 500 gatunków ostonic, w większości występujących pospolicie. W zasadzie zwierzęta te preferują strefy przybrzeżne mórz ciepłych i umiarkowanych, obfitujące w plankton. Jest to jednocześnie jedyna grupa strunowców znosząca nawet poważne zanieczyszczenia. Ostonice zostały skrótkowo przedstawione na przykładowe zachwy!

Oto najistotniejsze cechy ostonic odróżniające je od innych strunowców:

1. Wszystkie mają **tunikę** (ostonkę), okrywającą ciało od zewnątrz (por. Ryc. 96). Jest to coś w rodzaju szkieletu zewnętrznego, w którym schowane jest zwierzę. Tunika jest wydzieliną jed-

nowarstwowego naskórka. Jej podstawowym składnikiem chemicznym jest tynicyna, aminowielocukier zbliżony budową do chityny. Jedną z zalet takiego rozwiązania jest to, że dla większości potencjalnych wrogów ostonka jest niejadalna.

2. Ich system krążenia jest **otwarty**. To także jest cecha niespotykana u innych strunowców. Do tego dochodzi unikalny system pracy jednopęcherzykowego serca. U części gatunków toczy ono krew w jedną stronę (około 10 skrzelów), po czym zmienia kierunek pracy. Przetłaczanie krwi raz w jedną stronę, raz w drugą możliwe jest dzięki naprzemiennie aktywności dwóch skrajnie położonych ośrodków rozruchowych (w tym miejscu przyjmują tylko, że taki ośrodek to grupa komórek, która samoistnie inicjuje skurcze włókien mięśniowych serca). Krew zawiera różne krwinki, część z nich jest barwna (są pomarańczowe i zielone). Brak jednak w nich hemoglobiny i prawdopodobnie barwniki spełniają tu inne funkcje (zawierają wanad i niob — ich rola nie jest znana);

3. W przednim odcinku jelita — gardzieli, znajdują się liczne szpary skrzelowe. W ten sposób powstaje **kosz skrzelowy**, spełniający funkcje oddechowe (podobny został dokładniej opisany u lancetnika). Na brzusznej stronie kosza skrzelowego leży endostyl. Zwróć uwagę, że wymienione w tym punkcie cechy nie odróżniają ostonic od pozostałych strunowców!;

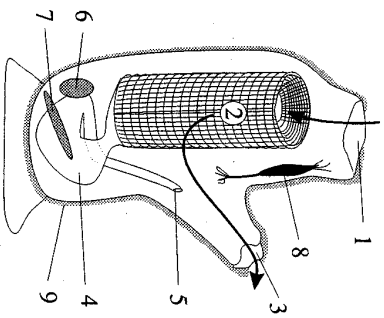
4. Cewka nerwowa w większości gatunków ulega redukcji. U osobników dorosłych zostaje z niej tylko pojedynczy **zwoj mózgowy** (z przedniej części cewki). Brak rozwiniętych narządów zmysłowych związanych jest z mało aktywnym trybem życia;

5. **Brak układu wydalniczego** — dość „niemrawny” metabolizm tych zwierząt nie tworzy problemów dużych ilości szkodliwych produktów przemiany materii. Część z nich dyfunduje więc do otaczającej wody, reszta zaś jest wchłaniana przez specjalne komórki żerne i odkładana w ustroju;

6. **Ostonice są obojnakami**. Gonady leżą w jamie ciała i nie mają przewodów wyprowadzających. Zapłodnienie jest zewnętrzne, z jaj rozwijają się wolno żyjące larwy (rozwoj złożony). Wyjątek stanowią ogonice — dorosłe osobniki tej grupy tak bardzo przypominają larwy zachw i sprzągli, że biolodzy uważają je za **formy neoteniczne**. U zachw i części sprzągli występuje rozród wegetatywny przez pączkowanie. Jest to cecha bardzo prymitywna (pod tym względem przypominają, np. koralowce), prowadząca do powstawania kilkunetrowych kolonii.

Neotenia — ogólnie rzecz biorąc jest to osiągnięcie zdolności do rozrodu przez formy zachowujące cechy młodociane. Podręcznikowo mówi się zaś, że jest to wykształcenie zdolności do rozrodu przez formy larwalne;

7. Wszystkie gatunki są **filtratorami**. Wśród ostonic jedynie ogonice są zwierzętami wolno żyjącymi, zachowującymi przez całe życie ogon i strunę grzbietową. Zachwy prowadzą osiadły tryb życia (występują samotnie bądź kolonijnie). Dorosłe sprzągle nie mają struny i ogona — jednak ich beczkowe ciało porusza się wolno w toni wodnej.



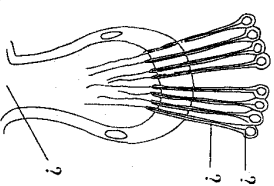
Ryc. 96.
Ogólny schemat budowy anatomicznej zachwy (1 — otwór wlotowy, 2 — kosz skrzelowy, 3 — otwór wylotowy, 4 — jelito środkowe, 5 — otwór odbytowy, 6 — gonada, 7 — serce, 8 — zwoj nerwowy, 9 — tunika). Strzałki pokazują kierunek przepływu wody.

Znaczenie ostonic

Ostonice wolno pływające stanowią pokarm dla niektórych gatunków ryb. Poza tym nie mają istotniejszego wpływu na ekosystemy.

Pytania i polecenia kontrolne:

1. Dla jakiej grupy zwierząt używamy terminu „strunowce niższe“?
2. Omów budowę morfologiczną lancetnika.
3. Zestaw w tabeli cechy lancetnika zbliżające go do bezkręgowców (lewa kolumna) i kręgowców (prawa).
4. Omów budowę struny grzbietowej.
5. Jaka cecha budowy umożliwia lancetnikowi sprawne wyginanie ciała na boki? Na jakiej zasadzie oparta jest praca układu ruchu tego zwierzęcia?
6. Omów mechanizm wymiany gazowej u lancetnika.
7. Omów sposób pobierania pokarmu przez lancetnika. W jakiej części przewodu pokarmowego zachodzi jego trawienie i wchłanianie?
8. Czy narządy lancetnika wykazują budowę metameryczną? Jeżeli tak, to jakie?
9. Omów mechanizm usuwania zbędnych metabolitów u lancetnika. Jaki rodzaj związków azotowych wydalą to zwierzę?
- *10. Schemat przedstawia pęczek solenocytów. Narysuj podobny i opisz prawidłowo jego elementy oznaczając znakami zapytania.



- *11. Porównaj budowę układu wydalniczego lancetnika i bezkręgowców — czy widzisz podobieństwa?
- *12. Przedstaw w postaci uproszczonego schematu budowę układu krążenia lancetnika. Opisz, jak krąży krew w tym układzie.
- *13. Scharakteryzuj ogólnie ostonice.
- *14. Wskaż cechy odróżniające ostonice od innych strunowców.
- *15. Na czym polega zjawisko neotenu? U jakiej grupy „strunowców niższych” występuje?

17. Powstanie kręgowców

KRĘGOWCE POWSTAŁY NAJPIRZĄDOPDOBNIJ JUŻ W KAMBRZE

Teza ta jest dość ryzykowna, ponieważ najstarsze kopalne szczątki, które do tej pory odkryto, datowane są najdalej na sylur. Rzecz jednak w tym, że są one liczne (np. stanowiska w Grenlandii, tożysku Dniepru oraz na Labradorze) i na szczęście bardzo dobrze zachowane. Pozwoliło to na dość precyzyjne poznanie budowy morfologicznej i anatomicznej tych zwierząt. Wniosek zaś jest taki, że sylurskie formy kręgowców były już bardzo zaawansowane w rozwoju. Należy więc oczekiwać, że powstały one w długotrwającym procesie ze znacznie prostszych i starszych przodków. Dodajmy jeszcze, że ewolucja w środowisku wodnym zasadniczo zachodzi wolniej niż na lądzie. Ponadto we wczesnym paleozoiku presja selekcyjna była niewielka, głównie przez brak konkurentów, stąd hipoteza o tak wczesnym rodowodzie kręgowców.

Najlepiej byłoby, gdybyśmy znaleźli kopalne szczątki takich przodków. Niestety, do dzisiaj nie udało się tego dokonać (zastanów się, jakie mogły być tego przyczyny?), dlatego skazani jesteśmy na wnioskowanie w oparciu o dane porównawcze z anatomią i embriologią współczesnych strunowców. Popatrzmy więc na osłonice, bezżuchwcowce oraz kręgowce i poszukajmy odpowiedzi na pytanie: jak przedstawiał się taki „prapradziadek” kręgowców (jeszcze nie kręgowiec!):

1. Powstał w wodach pełnostojących;
2. Był najprawdopodobniej **filtratorem**, odcdzającym pokarm z wody oddechowej;
3. Posiadał dwie części ciała:
 - A) przednią — trzewno-pokarmową (**wisceralną**);
 - B) tylną — napędową (**somatyczną**);
4. Miał sprężysty, wewnętrzny szkielet osiowy, umożliwiający wyginanie ciała na boki — była nim zapewne **struna grzbietowa**, taka jak u współczesnych bezczaszkowców;
5. Ciało tego zwierzęcia było wyraźnie członowane — metameria uwidczniała się w układach: mięśniowym, oddechowym, wydalniczym i rozrodczym;
6. Ośrodkowy układ nerwowy stanowiła **cewka nerwowa**, która w przedniej części ciała gromadziła komórki zmysłowe. Koncentracja wrażeń w przednim odcinku ciała mogła doprowadzić do powstania prymitywnego pięcio- lub trójpęcherzykowego mózgu (por. później Ryc. 101);
7. Mózg był chroniony przez łącznokankową **puszkę mózgową** — archejyr (tu: pierwotór) czaszki;
8. Skóra pokryta była **nabłonkiem wielowarstwowym**, co zwiększało odporność na urazy i ułatwiało gospodarke wodno-mineralną.

W rozwoju zarodkowym przodka kręgowców występowała wolno pływająca, dwubocznie symetryczna larwa. Jeśli „przeszła ona na neotenię”, to pojawiła się możliwość znacznego zwiększenia rozmiarów ciała (cechą form młodocianych jest szybki wzrost masy ciała, ponieważ w tym czasie nie działają czynniki ograniczające, takie jak np. mineralizacja szkieletu). Jak wiadać powstało nam coś w rodzaju „superlancetnika” albo „superlarwy” osłonice, wyposażone w

mózg i czaszkę. Przypuszcza się, że zwierzęta te przeszły do wód słonawych i słodkich. Być może dlatego, że tam właśnie konkurencja pokarmowa i presja drapieżników była mniejsza.

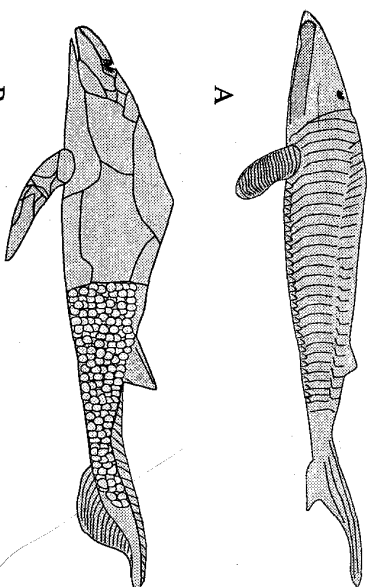
Oznaczało to jednak zasadniczą zmianę warunków środowiskowych, m.in. borykanie się z problemem nadmiaru wody, wnioskującej z hipotonicznego środowiska i wymywania ważnych dla życia jonów (por. Ryc. 98, przypomnij sobie także zagadnienia związane z pojęciami dyfuzji, osmozy i stężenia roztworów). W takiej sytuacji rozwiązania mogły być dwa:

- A) oddzielenie od środowiska przez pogrubianie powłok ciała — stąd ciężki skórnny pancerz w przedniej części ciała;
- B) usprawnienie gospodarki wodno-mineralnej — temu zadaniu mogły sprostać jedynie wyspecjalizowane narządy osmoregulacyjne — **nerki**.

Neuchronne w tej sytuacji zwiększenie rozmiarów ciała wymuszało, m.in. rozwój mięskulatury i szkieletu wewnętrzznego. W szkielecie osiowym oznaczało to powolne zastępowanie struny grzbietowej przez kręgosłup. Rozwiązanie takie daje większą odporność mechaniczną, przy zachowaniu możliwości wyginania ciała na boki. Być może już wówczas usprawnieniu uległy narządy zmysłów i powstał pięcioczęściowy mózg. Innym skutkiem wzrostu masy ciała było na pewno zwiększenie zapotrzebowania tlenowego prakręgowców. Sprostać temu mogły dobrze rozwinięte skrzela wewnętrzne i sprawny, zamknięty układ krążenia, w którym funkcjonowała centralna pompa, czyli serce.

Nie wiadomo dokładnie, czy proces powstania pierwszych kręgowców tak właśnie wyglądał, ale przedstawiony scenariusz jest dość prawdopodobny.

NAJSTARSZYMI ZNANYMI KRĘGOWCAMI SĄ BEZZŁUCHWOWCE PANCERNE

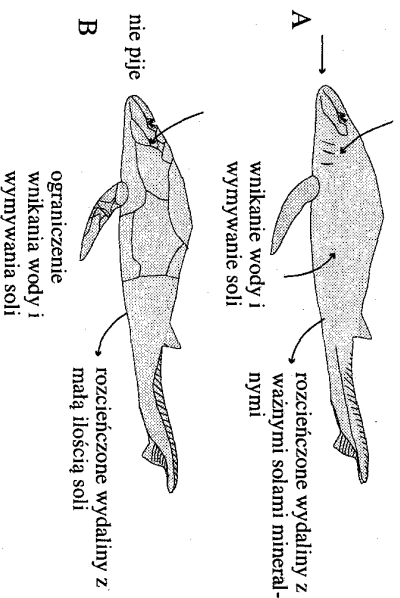


Ryc. 97.

Rekonstrukcje sylwetek: bezżuchwcowca pancernego (A) i ryby pancernej (B). Zwróć uwagę na niewielkie różnice w pokroju ciała.

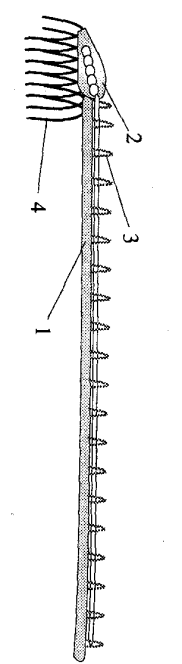
Pierwsze bezżuchwcowce posiadały na głowie ciężki pancerz kostny, stąd przymiotnik pancerne (*Ostracodermi*, por. Ryc. 97 A). Typowym przedstawicielem jest sylurski *Kieraspis*. Zwierzę to przypominało kształtem grzbietobrzusznie spłaszczoną rybę. Pancerz kostny pełnił u tych zwierząt kilka funkcji: zabezpieczał przed urazami mechanicznymi, wspierał szkielet osiowy, chronił przed wrogami i wreszcie pozwalał na regulowanie gospodarki wodno-mineralnej (przypominam, że większość paleontologów uważa, że kręgowce powstały w wodach słodkich lub słonawych). Ich nerki nie były jeszcze zbyt sprawne — o ile w ogóle pierwsze kręgowce je miały. Jak już wiesz w środowisku hipotonicznym zwierzętom tym groziło wnikanie nadmiernych ilości wody i wypłukiwanie jonów (por. Ryc. 98). Wytworzenie mineralizowanego, nieprzepuszczalnego dla wody, pancerza byłoby więc na początek niezłym rozwiązaniem. Jednakże długotrwala ewolucja w wodach słodkich spowodowała zapewne, że stężenie

soku komórkowego zwierząt uległo obniżeniu. Wówczas powrót do środowiska morskiego (te-
raz już hipertonicznego) wymagał wytworzenia sprawnych układów filtracyjnych, pomagających
zwalczać różnicę w stężeniu soli, zwykle kosztem sporych nakładów energii. Początek mogły
dać kanaliki otwierające się do jamy ciała, z której pobierały nadmiar wody wraz z jonami i
innymi związkami drobnocząsteczkowymi. Nabłonek ścian tych kanalików umożliwiał **resorpcję**
(zwrotne wchłanianie) substancji potrzebnych, np. glukozy, aminokwasów i niezbędnych jonów.
W ten sposób zwierzę usuwało nadmiar wody i, niejako po drodze, szkodliwe produkty przema-
ny materii. Rozwój, zwiększenie liczby i koncentracja kanalików w oddzielnych miejscach do-
prowadziły do powstania parazytych **pranerek**.



Ryc. 98. Zasadnicze problemy związane z gospodarcią wodno-mineralną pierwszych kręgowców w środowisku hipertonicznym (A) i ich rozwiązanie przez wprowadzenie pan-cerza skórniego (B).

Co ciekawsze, rozmiary komórek kręgowców są znacznie pokrzyżniejsze niż u bezczaszkowców i ośtonic. Jest to także argument na rzecz słodkowodnego rodowodu kręgowców. Ołóż większe komórki mają relatywnie mniejszą powierzchnię błony komórkowej — łatwiej więc byłoby im utrzymać całego ciała. Zwróć uwagę, że ośtonice i bezczaszkowce to drobne zwierzątka, wyraźnie mniejsze niż kręgowce.



Ryc. 99. Model konstrukcji szkieletu pierwotnego kręgowca (1) — struna grzbietowa, 2 — łuki nerwowe kręgow., 3 — łuki nerwowe kręgow., 4 — łuki skrzepowe.

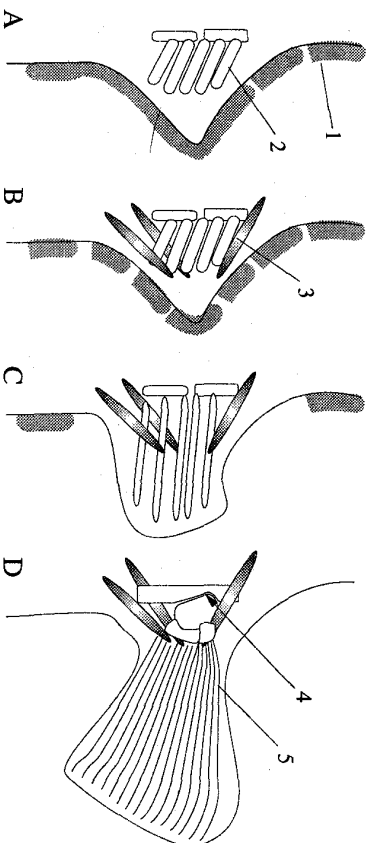
Najbardziej spektakularną cechą pierwszych kręgowców był jednak **brak szczęk** — otwór gębowy był stałe otwarty (wspierała go pierwsza para łuków skrzelowych; por. Ryc. 99). Pozostałe łuki stanowiły azurową osłonę dla przedniego odcinka układu pokarmowego (chroniły też skrzelia).

Do tej pory nie poruszyłem problemu lokomocji tak dużych zwierząt, a przecież ciężki pancerz pierwszych kręgowców ograniczał ich możliwości ruchowe. Elementy napędu musiały więc rozwinąć się w tylnej części ciała i faktycznie kopalne bezczachowce posiadały niesymetryczną **pletwę ogonową**. Poza nią u najstarszych przedstawicieli nie znaleziono żadnych innych kończyn. Jednak u niektórych późniejszych form stwierdzono obecność parazytych, pletwowałych przydatków w okolicy, gdzie u ryb znajdują się pletwy piersiowe. Nie wiadomo jednak na pewno, czy były to narzędzia homologiczne z pletwami parazytycznymi. Jednocześnie już najstarsze ryby z

podgronady *Placodermii* miały kończyny parazyty. Ich budowa była bardzo prymitywna — nie miały one połączeń stawowych i spełniały funkcję nieruchomych stateczników poziomych.
Powstałe naturalnie pytanie — skąd w ogóle wzięły się kończyny parazyty? Najbardziej prawdopodobną odpowiedź przedstawili panowie Mivart i Thacher. Według nich

WSZYSTKIE RODZAJE PLETW POWSTAŁY Z FAŁDÓW SKÓRNYCH PRZODKÓW KRĘGOWCÓW

Teoria fałdów bocznych zakłada, że przodkowie kręgowców mieli ektodermalne fałdy nabłonkowe (por. Ryc. 100). Miałyby one przypominać „pletwy” lancenika — grzbietową, ogonową i brzuszne. Takie „wyrostki” posiadały wewnętrzne, usztywniające elementy łącznotkankowe oraz wzmocnienia skórniego pancerza. Początkowo były nieruchome i pełniły raczej funkcje stateczników. Jeśli do takich fałdów wnikabyby pęczki włókien mięśniowych poprzecznie prążkowanych, to kończyny te mogłyby uzyskać ograniczoną ruchomość (w ten sposób zawiązują się pletwy w zarodkach żarłaczy). Dalsza ewolucja szła w kierunku redukcji skostnień skórnych, rozwoju łącznotkankowego ruszowania wewnętrznego (głównie promieni pletw), miękkiej powłoki skórnej i muskulatury. Krytycznym momentem było zapewne powstanie połączeń stawowych w fałdach bocznych umożliwiających wióslowaty ruch **pletw parazytych**.



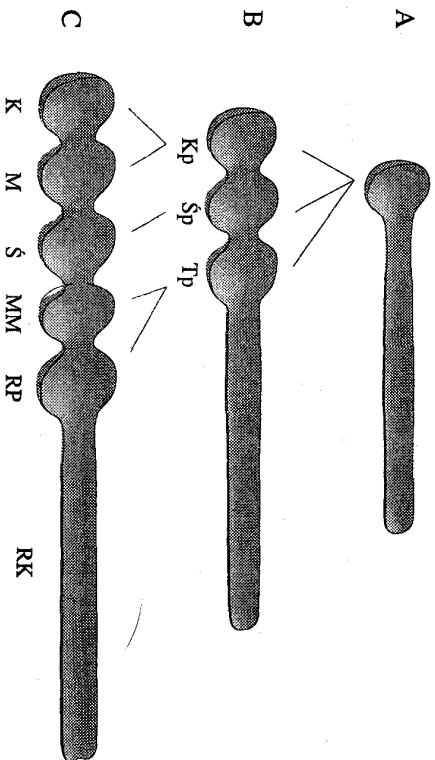
Ryc. 100. Model przejścia od fałdu bocznego (A) do pletwy parazytycznej typu wióslowatego (D). Studia postę-dnie ilustrują wnikanie włókien mięśniowych (B) i urtwie pancerza (C) (1 — elementy pancerza skórniego, 2 — pęczki szkieletu wewnętrznego, 3 — mięśnie szkieletowe, 4 — staw, 5 — promienie pletwy).

WAŻNYM OSIĄGNIĘCIEM PIERWSZYCH KRĘGOWCÓW BYŁ PIĘCIOCZĘŚCIOWY MOZG

Nie wiemy z całą pewnością, jak zbudowany był mózg najstarszych kręgowców, wiadomo jednak, że musiał być dość skomplikowany. Przyjmujemy, że od początku składał się z **pięciu pęczków mózgowych**, odpowiedzialnych za odmienne funkcje. Specjalizacja różnych regionów mózgu pozwalała rozwijać szybkość i złożoność reakcji. Taki pięcioczęściowy, zasadniczy plan budowy zachował się u wszystkich znanych kręgowców tyle, że z modyfikacjami (zmianami), czasem dość istotnymi. Pierwotnie części te pełniły następujące funkcje ośrodków:

- 1. **Kresomózgowie** (przodomózgowie, przodomózdze) — odbioru i analizy wrażeń węchowych;

2. **Międymózgowie** — kontroli neurohormonalnej. Ponadto w nim zlokalizowane zostały ośrodki popędowe, sterujące zachowaniami (np. ośrodki głodu, sytości, agresji);
3. **Śródmózgowie** — analizy wzrokowej;
4. **Tyłomózgowie wtórne** (ogólnie: mózdzek) — koordynowania ruchów zwierzęcia;
5. **Rdzeń przedłużony** (zamózgowie) — kontrolowania elementarnych funkcji życiowych (np. przemian metabolicznych w mięśniach, ruchów jelit i stopnia zwężenia naczyń krwionośnych). Jest to najstarsza część mózgu.



Ryc. 101. Schemat rozwoju ontogenetycznego mózgu kręgowca — studia: A — pojedynczego pecherzyka, B — trzech, C — pięciu pecherzyków (Kp — kresomózgowie pierwotne, Sp — śródmózgowie pierwotne, Tp — tyłomózgowie pierwotne, K — kresomózgowie, M — śródmózgowie, S — śródmózgowie, MM — mózdzek, RP — rdzeń przedłużony), RK — rdzeń kręgowy.

Z pozostałej części cewki nerwowej wykształcił się **rdzeń kręgowy**, umożliwiający szybkie przekazywanie impulsów z i do mózgu. Mózg + rdzeń kręgowy = **Ośrodkowy Układ Nerwowy (OUN)**.

Pięcioczęściowość mózgowia przodków kręgowców jest założeniem dyskusyjnym w świetle badań embriologicznych. Oś, początkowo w przedniej części cewki nerwowej zarodka kręgowca zakłada się pojedynczy pecherzyk pierwotny (por. Ryc. 101). Następnie dzieli się on na trzy części: kresomózgowie pierwotne, śródmózgowie pierwotne i tyłomózgowie pierwotne. Potem kresomózgowie pierwotne dzieli się jeszcze na kresomózgowie wtórne i międzymózgowie, a tyłomózgowie pierwotne na mózdzek i rdzeń przedłużony. Śródmózgowie już się nie dzieli.

Najprymitywniejsze bezzuchowce i ryby funkcjonowały obok siebie niemal od początków swojego istnienia. Stąd trudno wyrokować o ewolucyjnych powiązaniach tych zwierząt. Przyjmijmy jedynie w uproszczeniu, że obie grupy powstały z przodków pozabawionych żuchwy. Część z nich wcześniej wytworzyła szczęki (por. pochodzenie ryb), reszta rozwijała pierwotne cechy konstrukcyjne — były to **bezzuchowce pancerne** (ogólnie: *Ostracodermi*).

Istnieją dość istotne podobieństwa w ewolucji bezzuchowców i ryb. Przede wszystkim w obu grupach doszło do utraty ciężkiego pancerza skórno-kościowego i zwiększenia sprawności ruchowej. Bezzuchowce mają jednak wyraźnie schyłkowy charakter. Współcześnie reprezentowane

są przez nieliczne gatunki o przydatnym trybie życia, które tworzą niewielką gromadę **kręgowstych**, wywodzącą się bezpośrednio z bezzuchowców pancernych. Dzielimy ją na dwa rzędy: pierwszy stanowią mnogokształtne — przedstawicielami jest **minog** (por. ROZDZ. 18). Drugi tworzą **śluzice** — specyficzne kręgowce o wielu uproszczeniach w budowie. Dziś żyje ich niespełna 20 gatunków, żyjących się gniazdnymi rybami i bezkręgowcami. Mają bardzo uproszczone oczy, schowane głęboko pod skórą, a ich płyny ustrojowe są izotoniczne z wodą morską! Nazwa śluzice bierze się stąd, że podrażnione lub przestraszone wydzielają duże ilości śluzu.

UWAGA: Przyczyny porażki (?) bezzuchowców opisano w ROZDZ. 19.

Na koniec przypomnijmy hipotetyczne powiązania ewolucyjne w obrębie kręgowców skrzelodysznych:

hipotetyczny bezzuchowy przodek → **bezzuchowce pancerne** → **kręgowste**

→ **ryby pancerne**

Pytania i polecenia kontrolne:

1. Jakie cechy charakterystyczne przypuszczalnie hipotetycznego przodka kręgowca?
2. Omów gospodarkę wodno-mineralną pierwszych kręgowców żyjących w środowisku hipotonicznym.
3. Jakich zmian w budowie i fizjologii kręgowców wynagad ich powrót do środowiska hipertonicznego?
4. Wykaz związek zmian ewolucyjnych prakręgowców ze środowiskiem i trybem ich życia.
5. Jak powstały płetwy kręgowców?
6. Przedstaw schematycznie ogólny plan budowy mózgu kręgowców. Jakie funkcje ośrodków pełniły pierwotnie te części?
- *7. Wskaż, które cechy pierwotnych kręgowców miały charakter wybitnie progresywny.

18. Charakterystyka bezżuchowców

Dział: Bezżuchowce (*Agnatha*)

Gromada: Bezżuchowce pancerne (*Ostracodermi*) +

Gromada: Kregonuste (*Cyclostomata*)

Przedstawicielem współczesnych bezżuchowców jest minóg (*Lampetra*) i na jego przykładzie będziemy zapoznawać się z całą grupą.

Budowa morfologiczna

Ciało minoga jest „węgorzowate”, tzn. nagie, wydłużone i walcowate (por. Ryc. 102). Gałtunki siodłowodne osiągają wielkość kilkudziesięciu centymetrów, morski gatunek przekracza metr długości. Płetwy są tylko nieparzyste (ogonowa i grzbietowa). W przedniej części ciała widać przylgę z wieńcem czuków. Ciąca ona stale otwarty otwór gębowy. Przylga umożliwia przysysanie się do ciała ofiary (np. ryby). Po bokach ciała widać siedem par otworów skrzelowych zewnętrznych. Na wierzchu głowy widoczny jest nieparzysty otwór węchowy. Oczy ukryte są pod półprzezroczystą skórą.

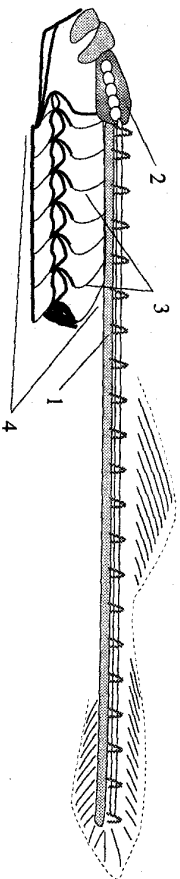


Ryc. 102. Szywetka minoga — zwróć uwagę na istotne elementy budowy (1 — otwór węchowy, 2 — przylga, 3 — oko, 4 — otwory skrzelowe zewnętrzne, 5 — płetwa grzbietowa, 6 — płetwa ogonowa).

Szkielet

Szkielet bezżuchowców jest chrzęstny i ma dość prostą budowę.

1. Szkielet osiowy — tworzy go **struna grzbietowa**, na której rozwijają się bionaste **zawiązki trzonów kręgowych** (tzw. bionaste stadium kręgosłupa; por. dalej). Nad cewką nerwową



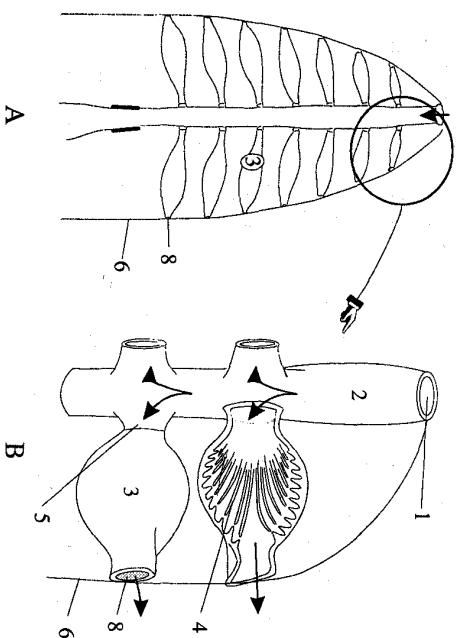
Ryc. 103. Szkielet minoga (1 — struna grzbietowa z tkankami nerwowymi, 2 — puszcza mózgowa, 3 — luki skrzelowe, 4 — „trzewioczaszka”). Widac też położenie pęcherzyków mózgowych i rdzenia kręgowego. Rycina animowana komputerowo przez ucznia.

zamykają się chrzęstne tkanki nerwowe, które są dobrze wykształcone (dłatego niektórzy badacze sądzą, że tuki są starsze niż trzony kręgow). W przedniej części ciała znajduje się mała, niekompletna, chrzęstna puszcza mózgowa — **zawiązka czaszki** (por. Ryc. 103).

2. Szkielet trzewny budowany jest przez chrzęstne **tuki skrzelowe** (zasadniczo 8 par). Tworzą one coś w rodzaju kratownicy (por. Ryc. 103) nazywanej po prostu trzewioczaszką. To ostatnie sformułowanie jest trochę na wyrost, ale górne partie łuków mogą przystać do mózgowczaszki, więc ... przy odrobinie wyobraźni można to tak nazwać. Między łukami znajduje się siedem par szczelin skrzelowych.

Układ oddechowy

U bezżuchowców szpary skrzelowe brzuszej części gardzieli tworzą workowate uwypuklenia, które przebiegają się na zewnątrz po bokach ciała. Uwypuklenia te (listwy skrzelowe), mają silnie pofalowaną i unaczynioną powierzchnię — tworzą więc **workowate skrzelia** (por. Ryc. 104). Minóg posiada 7 par takich skrzel. Tworzą one dość dużą powierzchnię wymiany gazowej, jednak tego rodzaju system nie byłby w stanie zapewnić odpowiedniej ilości tlenu przy bardzo aktywnym trybie życia. Zwróć też uwagę na bardzo ciekawy sposób oddzielenia dróg pokarmowych i oddechowych w gardzieli (por. Ryc. 104 C).

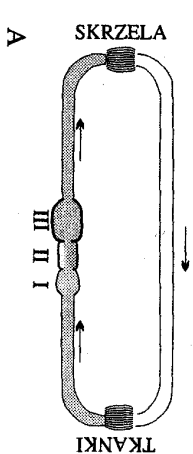


Ryc. 104. Skrzela workowate minoga — cudość (A), fragment systemu (B) i schemat przekroju podłużnego przez przednią część ciała (C). Widoczna jest pofalowana powierzchnia skrzelu, strzałki wskazują kierunek ruchu wody (1 — otwór gębowy, 2 — jama gębowa, 3 — skrzel, 4 — listwy skrzelowe, 5 — otwór skrzelowy wewnętrzny, 6 — powierzchnia ciała, 7 — przylga, 8 — otwór skrzelowy zewnętrzny, 9 — prześk, 10 — przegroda pozioma).

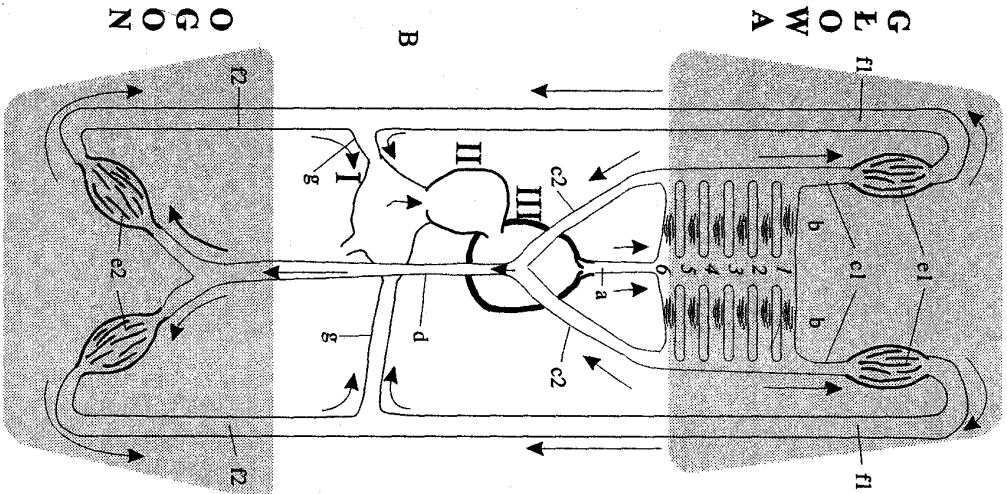
Układ krążenia

Bezżuchowce mają jeden, zamknięty obieg krwi (por. Ryc. 105). Nowością jest trzyczęściowe, jednoprzepływowe serce typu żylnego. Składa się ono z: **zatoki żyłnej**, **przedstonka** i **komory**. Nie jest unerwione i rytm jego pracy wyznacząją skłapienia specjalnej tkanki,

tw. węzłowej. Budują je zmodyfikowane włókna mięśniowe — tzw. włókna Purkiniego. Ich ciekawą cechą jest zdolność do rytmicznego, samostanowego kurczenia się, które zmusza cały mięsień sercowy do pracy (por. ROZDZ. 5.3.2).



Odtlenowana krew z serca tłoczona jest tętnicą skrzelową, która rozgałęzia się na 6—7 par łuków naczyniowych, wchodzących do skrzelii i rozpadających się na naczynia włosowate. Na powierzchni fałdów skrzelowych zachodzi wymiana gazowa. Utlonowana krew zbierana jest w korzeniach aorty i stanąwszy odprowadzana do wszystkich komórek ciała. Odtlenowana krew wraca żyłami do cienkościennej zatoki żyłnej. Z niej wpada do przedsionka, którego skurcz tłoczy ją do komory. Na grzbiecie przegrodzonej części serca znajdują się fałdy błony śluzowej, czyli zastawki. Ich rola to zapobieganie cofaniu się krwi. Jeśli dokończysz do tego obecność we krwi wysepjalizowanych krwinek — erytrocytów — wpetlinowych hemoglobina oraz bezbarwnych leukocytów, otrzymasz system o dużej wydajności.



Ryc. 105. Układ krążenia bezzuchwocowca (A — schemat ogólny; B — budowa szczegółowa; I — ząbota, II — przedsionek, III — komora; a — tętnica skrzelowa, b — naczynia łuków skrzelowych, c1 — korzenie przednie aorty, c2 — korzenie tylnie aorty, d — aorta grzbietowa, e1 i e2 — naczynia włosowate ściany ciała, f1 — żyły główne przednie, f2 — żyły główne tylnie, g — przewody Cawiera; 1 do 6 — numery kolejnych par łuków naczyniowych).

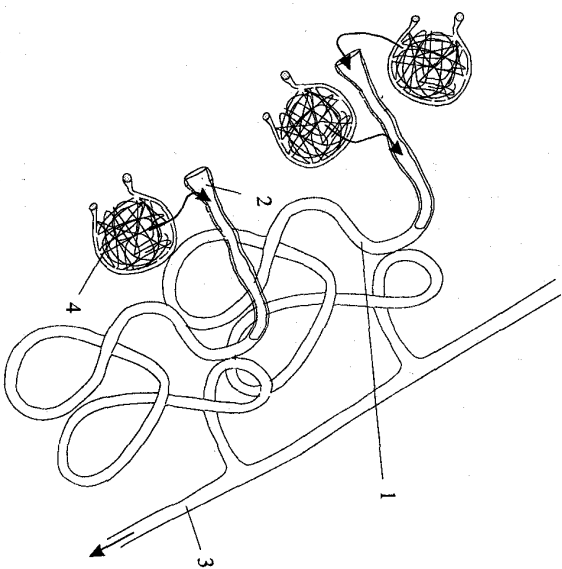
Konstrukcja układu krążenia bezzuchwocowców jest bardzo podobna do tej, którą poznaliśmy u lancetnika. Różnica polega na tym, że u bezzuchwocowców pojawiło się serce i czynnych jest 6 lub 7 łuków naczyniowych.

Obecność barwników oddechowych zwiększa pojemność tlenową krwi (praktycznie: transportuje ona więcej tlenu). Bezkręgowce mają różne barwniki, prawie zawsze rozpuszczone w osoczu (por. odpowiednie roz-

działy wyżej). Kręgowce posiadają barwną krew, zawsze zawierającą tylko hemoglobinę „zatkniętą” w krwinkach. Jest to zdecydowanie lepsze rozwiązanie (zastanów się, dlaczego?).

Układ wydalniczy i rozrodczy

Narząd wydalniczy dorosłych bezzuchwocowców stanowią parzyste prąrenki (ściślej — śródnercza, ale to poznasz na studiach). Są to klinowate, wydłużone twory, ciągnące się w jamie ciała wzdłuż jelita. Podstawową jednostką czynnościowo-strukturalną prąrenki są nefrony, czyli kanaliki wydalnicze (por. Ryc. 106). Są ze sobą ściśle splecione, a ich ślepe, nieukrwione końce weiskają się pomiędzy naczynia włosowate. Z nererek wychodzą moczowody pierwotne (przewody Wolffa), które wyprowadzają rozcieńczony mocz na zewnątrz.



Ryc. 106. Schemat organizacji prąrenki dorosłego minoga (1 — kanalik nefronu, 2 — ślepe zakończenie kanalik, 3 — moczowód pierwotny, 4 — kłębuszek naczyniowy; strzałki pokazują kierunek przepływu moczu).

BEZZUCHWOCOWCE SĄ ROZDZIELNOPEŁCIOWE

Ich gonady umieszczone są w jamie ciała. Bezzuchwocowce nie posiadają przewodów wyprowadzających komórki rozrodcze — wydostają się one bezpośrednio do jamy ciała i stanąwszy przez otwory brzuszne na zewnątrz. Zapłodnienie jest więc zewnętrzne. Po tarle dorosłe osobniki giną, z jaj rozwijają się larwy ślepiące (amocetes). Jak sama nazwa wskazuje są ślepe. Z kolei ich przewod pokarmowy i szczeliny skrzelowe są dobrze rozwinięte. Na dnie gardzieli funkcjonuje jeszcze endostyl, który później ulega przekształceniu w tarczycę (tak więc ten gruczoł dokrewny jest homologiczny z endostylem!). W czasie przeobrażenia następuje przejście z filtrowania wody oddechowej na rozbojniczy tryb życia (por. niżej).

Układ nerwowy i narządy zmysłów

MOZGOWIE KRĘGOSTYCH WYKAZUJE SZEREG CECH PRYMITYWNYCH

Generalnie, mózgi bezzuchwocowców jest niewielki, a poszczególne części ułożone są linijowo jedna za drugą (por. Ryc. 103 i 107). Słabo zaznacza się podział na lewą i prawą stronę mózgu (dotyczy to także ilości połączeń). Tym niemniej jego plan budowy jest taki jak u wszystkich kręgowców. Poszczególne części przedstawiają się następująco:

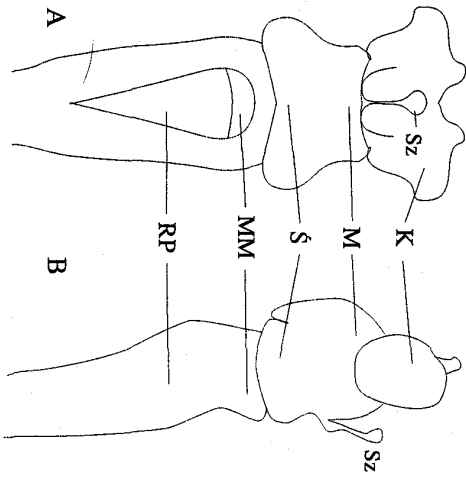
A) **Kresomózgowie** stanowi relatywnie jedną z największych części mózgu. Nie jest jednak wyraźnie podzielone na część lewą i prawą. Opuszki węchowe są duże, trudno tu jednak mówić o półkulach mózgowych. W kresomózgowiu znajdują się niewielkie jądra nerwowe i zawiązki kory dawnej. Te pierwsze są zwartymi skupieniami ciał komórek nerwowych leżącymi pod powierzchnią mózgu, natomiast kora nerwowa powstaje wówczas, gdy ciała neuronów skupiają się na powierzchni mózgu. W przypadku kory dawnej stopień koncentracji neuronów i ich specjalizacja są niewielkie.

B) **Międzymózgowie** jest małe, funkcjonuje już jednak zarówno szyjczyka, jak i przysadka;

C) **Śródmózgowie** jest słabo rozwinięte, co ma związek z niewielką rolą narządu wzroku;

D) **Mózdzek** ma postać małego fałdu ustawionego prostopadle do dłuższej osi mózgowia. Jest to związane z niewielkimi umiejscowieniami ruchowymi tej grupy kręgowców;

E) **Rdzeń przedłużony** jest największą częścią mózgowia (ponad 50% masy). Nie dziwi to, ponieważ w nim zlokalizowane są ośrodki elementarnych funkcji życiowych oraz czucia skórnoego. Z mózgowia bezzuchwowców wychodzi **10 par nerwów czaszkowych**.



Ryc. 107.

Budowa mózgowia minoga z góry (A) i z boku (B).
K — kresomózgowie, M — międzymózgowie z szyjczyką (Sz), S — śródmózgowie, MM — mózdzek, RP — rdzeń przedłużony.

NARZĄDY ZMYŚŁÓW WYKAZUJĄ SZEREG CECH PIERWOTNYCH

1. **Wzrok** — gałka oczna rozwinięta jest „normalnie”. Jednak ukrycie oczu pod skórą, kulisia soczewka i słabe mechanizmy akomodacji powodują, że minog jest niewątpliwym krótkowidzem;

2. **Węch** — zmysł ten jest bardzo ważny dla bezzuchwowców. Podstawę systemu stanowi parzysty narząd węchowy. Jednak prowadzi do niego tylko jeden otwór węchowy (u zuchwowców zawsze występują dwa!);

3. U współczesnych występuje dość prymitywny **narząd linii nabocznej**, umożliwiający odbieranie ruchów wody (został opisany dokładniej u ryb).

WSPÓŁCZESNE BEZZUCHWOWCE MAJĄ NIEWIELKIE ZNACZENIE

Dotyczy to zarówno roli w ekosystemach, jak i w gospodarce człowieka. Tym niemniej:

- lokalnie minogi rzeczne są polowane, a ich mięso jest wysoko cenione przez niektórych smakoszy;
- rozbójniczy tryb życia minogów, które przysysają się do ryb, może czasem sprawiać kłopoty w stawach hodowlanych;

c) są dobrymi bioindykatorami (biologicznymi wskaźnikami, por. później ROZDZ. 29) stanu czystości wód.
Nie zapominaj też, że to właśnie wśród bezzuchwowców upatruje się przodków wszystkich kręgowców.

W Polsce występują trzy gatunki minogów: **rzeczny** (*Lampetra fluviatilis*), spływający po przeobrażeniu do Baltyku, **strumieniowy** (*L. planeri*), o osiadłym trybie życia oraz minog **morski** (*Pteromyzon marinus*) żyjący po obu stronach Atlantyku.

PODSUMOWANIE

Jak już wiesz, bezzuchwowie zalicza się do najprymitywniejszych kręgowców. Grupa ta reprezentowana jest dzisiaj przez kręgonuste, charakteryzujące się:

- Brakiem szczęk**. Ogólnie mówi się, że nie mają zuchwy. Ich otwór gębowy jest stale otwarty i otoczony tzw. przylgą;
- Brakiem płetw parzystych**;
- Szkieletem osiowym tworzonym przez strunę grzbietową, na której rozwijają się **zawiązki kręgow**;
- Pięcioczęściowym mózgiem** otoczonym niekompletną, chrzęstną puszką mózgową;
- Systemem oddechowym tworzonym przez **skrzela typu workowatego**;
- Dość prymitywnymi narządami zmysłów. Do parzystego narządu węchowego prowadzi tylko jeden (inaczej nieparzysty) otwór węchowy. Z kolei w uchu wewnętrznym znajdują się dwa przewody półkoliste;
- Okrągłymi erytrocytami (tak jak u ssaków), ale posiadającymi jądra i liczne inne organelle komórkowe.

Pytania i polecenia kontrolne:

- Narysuj sylwetkę minoga i zaznacz najbardziej charakterystyczne elementy jego budowy;
- Omów budowę szkieletu osiowego minoga;
- Przedstaw mechanizm wymiany gazowej u minoga. Jakiego typu narząd wymiany gazowej posiada — omów jego budowę;
- Jakiego typu serce posiada minog? Obecność jakich elementów warunkuje jego automatyzm?
- Jaki gruczoł wydzielania wewnętrznego jest homologiczny z endostylem?
- Jakie narządy zmysłów rozwinęły się u minoga?
- Na wykonanym samodzielnie schemacie pranerki zaznacz kłębuszek naczyńiowy i kierunek przepływu moczu;
- W postaci uproszczonego schematu przedstaw budowę układu krążenia minoga. Zaznacz kierunek przepływu krwi;
- Wskazaj podobieństwa i różnice w budowie układu krwionośnego minoga i lancetnika.
- Spróbuj odpowiedzieć na pytanie, dlaczego bezzuchwowie uważa się za przodków wszystkich kręgowców?

19. Powstanie żuchwoców

NAJSTARSZE RYBY POLAWEY SIĘ JUŻ W SYLURZE

- Wiesz już, że pierwsze ryby najprawdopodobniej pojawiły się równocześnie lub nieco później, niż bezżuchwocowe (niektórzy badacze uważają jednak, że nastąpiło to dopiero w dewonie). Dzisiaj te ostatnie mają charakter reliktowy, natomiast ryby są najliczniejszą grupą sturnowców, liczącą ok. 23 000 gatunków. Co właściwie zdecydowało o takim sukcesie? Ojóż ryby: nich osadzone były pierwsze zęby;
1. Przekształcił pierwszy łuk skrzelowy w chwytny, nożycowy układ ruchomych szczęk. Na nich osadzone były pierwsze zęby;
 2. Rozwinięły parzyste płetwy typu wiosłowego;
 3. Wykształciły nieco inny typ powierzchni oddechowej — mianowicie tzw. skrzelka tukowate o większej powierzchni czynnej;
 4. Wykazały tendencję do redukcji ciężkiego pancerza skórnego. W jego miejsce weszły łuski, najczęściej zachodzące na siebie dachówkowato i tworzące warstwę ochronną, nie ograniczającą ruchów ciała;
 5. Usprawniły narządy zmysłów.

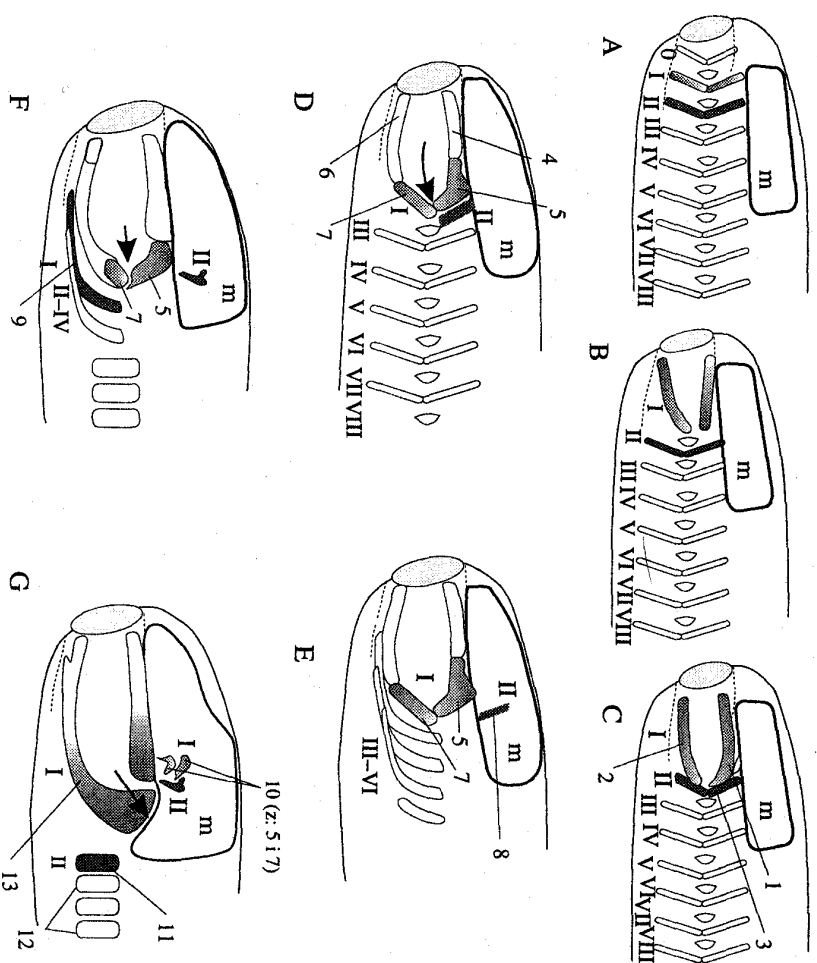
Istnieje hipoteza, że ryby wyparły mniej sprawne bezżuchwocowe. Jeśli to prawda, mieliśmy tu do czynienia z zasadą konkurencyjnego wypierania (w takiej skali spotykaną bardzo rzadko). Do najstarszych ryb zaliczamy **pancerne** (*Placodermi*) i **faldoplewne** (*Acanthodi*). Te ostatnie były wyjątknie słodkowodne, cechowała je spora liczba płetw parzystych. Np. u *Eucanthodius* było ich 5 par o bardzo prymitywnej budowie (oprócz piersiowych i brzusznych). Zaanwansowane w rozwoju ryby pancerne miały już tylko dwie pary płetw parzystych (tak jak współczesne).

Wróćmy jednak do aparatu szczękowego. Ojóż u przodków ryb doszło do rewolucyjnego przełomu:

PIERWSZY ŁUK SKRZELOWY PRZEKSZTAŁCIŁ SIĘ W RUCHOME SZCZĘKĘ

Najprawdopodobniej to ważne wydarzenie przebiegło tak: przodkowie ryb byli filtratorami, czyli zwierzłami odcędzającymi pokarm z przepływającej wody. Początkowo ruch wody był napędzany trzęskami nabłonka gardzieli. Wzmocnienie muskulatury okolicy skrzelowej stworzyło nowe możliwości. Skurcz mięśni, a następnie szybki rozkurcz powodował, że chrzęstne łuki skrzelowe gwałtownie powracały do pierwotnego kształtu. W ten sposób w jamie gębowej powstawało podciśnienie — woda wraz z pokarmem była silnie zasysana do jamy gębowej. Jeśli łuki skrzelowe ulegały skostnieniu, to musiały dzielić się na części (górną i dolną), które zestawione były ze sobą stawowo (w przeciwnym wypadku sprężystość odcinka oddechowego zanikłaby; por. Ryc. 108 A). Sprawniejszy niż u konkurentów mechanizm zasysania wody i pokarmu promował zwierzęta o silniejszych łukach (szczególnie przednich) i muskulaturze. Między innymi pozwalał im wciągać większe ofiary — istniała więc możliwość przejścia na drapieżnictwo. Przerost pierwszego łuku skrzelowego doprowadził do zalamania się tego elementu w miejscu połączenia górnej i dolnej części. W ten sposób powstały prymitywne szczęki (por. Ryc. 108 B). Rozbudowa obu części pierwszej pary łuków oraz zrastanie się prawej i lewej strony każdego z nich doprowadziły do powstania pierwszych szczęk z prawdziwego zdarzenia. U takich zwierząt

II-gi łuk nadal spełniał tylko funkcje łuku skrzelowego. Sytuacja tego rodzaju występowała u niektórych ryb faldoplewnych (por. Ryc. 108 B). Zaletą tego rozwiązania było m.in. to, że szybkie rozwieranie szczęk wytworzało znacznie silniejsze podciśnienie, pokarm był więc łatwiej zasysany. Na niektórych filmach przyrodniczych widać gwałtowne ruchy szczęk ryby, która atakuje ofiarę. Nie jest to dowód drapieżności, ale wcześniej opisany mechanizm usprawniający pobieranie pokarmu.

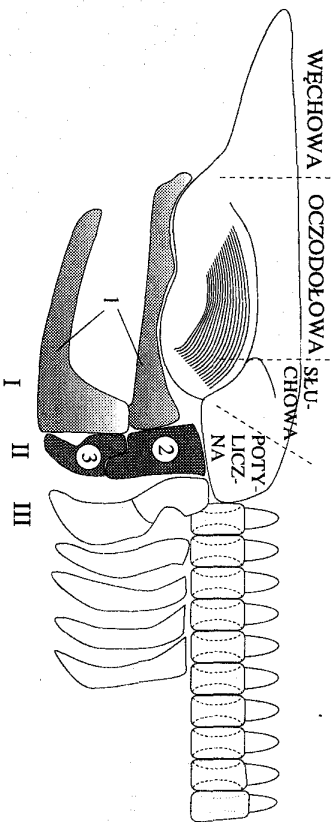


Ryc. 108. Ewolucja szkieletu trzewnego okolicy głowowej kręgowców: A — pierwsze bezżuchwocowe, B — stadium przejściowe faldoplewnych, C — chrzęstnoszkieletowe, D — trzonoplewne, E — płazy, F — gady i ptaki, G — ssaki (0 — łuk tzw. premaxylodurny, 1 — pierwszy łuk skrzelowy, 2 — drugi łuk skrzelowy, III-VIII — dalsze łuki skrzelowe; m — mięsień, 3 — chrząstka podniebiono-kwadratowa, 4 — chrząstka żuchwowa Meckela, 5 — chrząstka gnykowo-żuchwowa, 6 — kość szczękowa, 7 — kość kwadratowa, 8 — kość stawowa, 9 — strzemiączko, 10 — szkielet języka, 11 — kość gnykowa, 12 — chrząstki chwawicy, 13 — kość żuchwowa) Z rycin tej bądź też korzystaj kilkakrotnie — por. tekst.

ĆWICZ. Przy pomocy kubka spróbuj „upolować” drobne zwierzę wodne (np. ciemnika). Zobaczysz, że nie jest to tak proste, gdyż prąd wody pchanej przez kubek będzie odznaczał zwierzątko i pomagał mu w ucieczce. Pomyśl, jaki przyrząd trzeba byłoby skonstruować, żeby rozwiązać pojawiające się problemy.

U ryb bardziej zaawansowanych w rozwoju pojawiły się jeszcze inne usprawnienia:
DRUGI LUK SKRZELOWY TWORZY ZAWIESZENIE SZCZĘK

U chrzęstnoszkieletowych, kosmoszkieletowych, dwudusznych i trzonopletwowych II-gi luk tworzy stawowe zawieszenie szczęki górnej — przekształca się w chrząstkę (albo kość) gnykowo-żuchwową (por. Ryc. 108 C). Sposób ryb współczesnych tego typu czaszki mają m.in. spodo-uste. U tych zwierząt górne ramię pierwsze łuku (od teraz **żuchwowego**) tworzy chrząstkę podniebiono-kwadratową. Dolne zaś chrząstkę żuchwową (**chrząstkę Meckela**). Na obu szczękach osadzone są **zęby** powstałe z łusek plakoidalnych (por. charakterystyka ryb). II-gi luk (od teraz **gnykowy**) leży za pierwszą szczeliną skrzelową. Jego górne ramię tworzy chrząstkę gnykowo-żuchwową, łączącą się z mózgowczaszką i dającą zawieszenie szczęk. Dolna część tworzy chrząstkę gnykową, która u ryb najęściej zrasta się z III-cim łukiem skrzelowym. Dodajmy jeszcze, że połączenie chrząstki podniebiono-kwadratowej z mózgowczaszką jest dość luźne. Czaszki takie nazywa się **hyostylicznymi** (ma je także większość kostnopromienistych). U wielu spodoustych pomiędzy I-szym łukiem a mózgowczaszką pozostaje drożny kanał, uchodzący na zewnątrz jako tzw. tryskawka (przyjrzyj się uważnie Ryc. 108 C oraz Ryc. 109).



Ryc. 109. Czaszka rekina odzwierciedlająca pierwotny model tej części szkieletu osiowego u żuchwowców. Widoczne są dwie nożycowo zestawione szczęki (1) i chrząstka gnykowo-żuchwowa (2) — z górnego ramienia II-go łuku skrzelowego, chrząstka gnykowa (3) — z dolnego ramienia II-go łuku oraz dwuwkłęście kręgi kręgosłupa. Mózgowczaszka podzielona jest na wyróżne części: węchową, oczodołową, słuchową i potyliczną.

Ryby trzonopletwe i dwuduszne rozwijają „wariant” spodoustych poprzez kostnienie oraz dodawanie do czaszki kolejnych elementów. U nich dochodzi także do zmniejszenia ruchomości szczęki górnej, która zaczyna przynastać do mózgowczaszki (jest to **autostylia**).

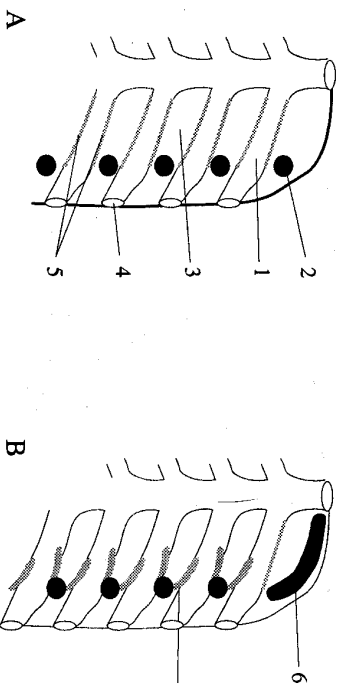
UWAGA: W tej chwili nie analizuj dalszych części Ryc. 108. Odnoszą się one do kolejnych rozdziałów. Jeśli jednak chcesz, poczytaj sobie o czasie trzonopletwowych (por. ROZDZ. 21).

SZPARY SKRZELOWE RYB NIE TWORZĄ WORKOWATYCH WÓPKLEN

W związku z tym nie rozwijała się szklana workowate. Te części ciała, które oddzielają od siebie szpary nazywane są przegrodami skrzelowymi (por. Ryc. 110). Były one silnie ukrwione i ich nabłonki spełniały rolę oddechową u pierwszych ryb. U tych zwierząt łuki skrzelowe stano-

wiły tylko azurowy szkielet, chroniący system oddechowy (tak jak u dzisiejszych kręgosłuch). Dalszy rozwój systemu oddechowego polegał na ściśnieniu przegród skrzelowych, których fragmenty przynastały do łuków skrzelowych. Pełne skrzela (*holobranchium*) powstało przez przyrostnicie fragmentów dwóch przegród, należących do dwóch szpar (leżącej przed oraz za łukiem). Rozwój i podział części oddechowej na listki skrzelowe doprowadził do powstania **skrzeli łukowatych** (por. też Ryc. 117). U ryb kosmoszkieletowych funkcjonują tylko cztery pary skrzeli zamkniętych we wspólnej jamie skrzelowej chronionej wieczkiem skrzelowym.

U części ryb pojawił się narząd powietrzny umożliwiający oddychanie powietrzem atmosferycznym. Zostanie on dokładniej omówiony w ROZDZ. 21.



Ryc. 110. Schemat części prawej strony systemu skrzelowego ryby pancernej (A) i spodoustej (B) (1 — szczelina skrzelowa, 2 — łuk skrzelowy, 3 — przegroda skrzelowa, 4 — szpara skrzelowa, 5 — nabłonek oddechowy, 6 — szczeka, 7 — blaszka skrzelowa).

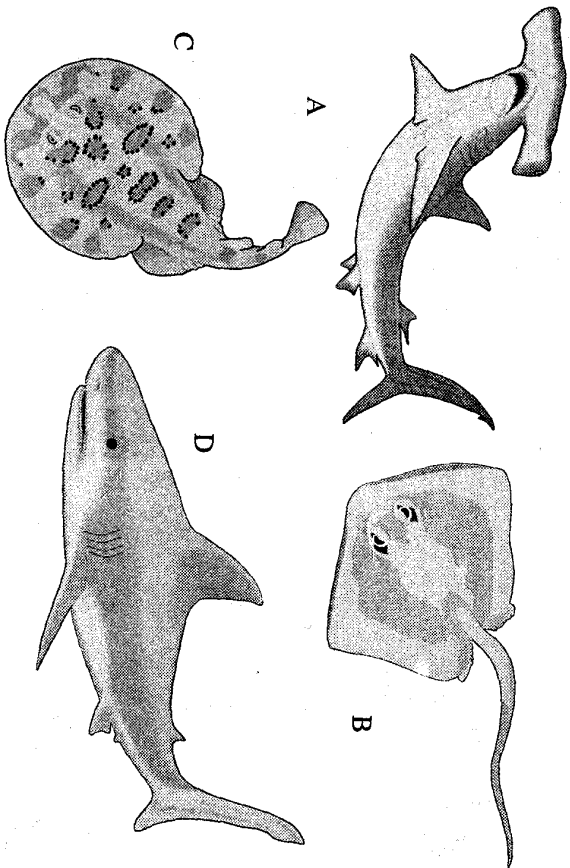
Redukcja ciężkiego pancerza skórno-ryb oznaczała wzrost możliwości pływackich. To-warzyszył temu rozwój muskulatury i szkieletu. Zasadnicze zmiany zachodziły m.in. w szkielecie osiowym — struna grzbietowa była zastępowana stopniowo przez rozwijające się **dwuwkłęście trzonu kręgow**. Stopień zachowania struny zależy dzisiaj od rodzaju grupy. Nawet wśród najwyższej uorganizowanych jej resztki zachowują się między kręgami.

Rozrost masy ciała i zwiększenie predkości pływania wymagało usprawnienia mózgu i narządów zmysłów, stąd u ryb mózgowie jest większe i lepiej podzielone niż u bezżuchwowców. Istotne zmiany nastąpiły także w narządach zmysłów. Oczy są większe i przesunięte na powierzchnię głowy. Do pażyskiego narządu węchowego u ryb prowadzą już dwa otwory węchowe, z kolei w uchu wewnętrznym błędnik posiada trzy kanały półkoliste i zyskuje sztywną oprawę (chrząstną lub kostną).

PRAWDOPODOBNIENIE Z RYB PANCERNYCH WYODRĘBIŁY SIĘ DWA PNIE ROZWOJOWE

Pierwszy stanowią ryby o szkielecie całkowicie chrzęstnym, czyli **chrzęstnoszkieletowe** (*Chondrichyes*, chrzęściste), znane już od dewonu. Współcześnie reprezentowane są przez **spodo-uste** (*Elastobranchii*), które mają otwór gębowy przesunięty na spód głowy. Cechują je: hyostyliczna czaszka, brak wieczka skrzelowego i pęcherza pławowego. Mają też specjalny fald spiralny w jelicie środkowym, zwiększający powierzchnię wchłaniania, niestymulacyjne płetwy ogonowe i dobrze rozwinięte węchomózgowie. Dzisiaj znanych jest ponad 700 gatunków, z których ok.

100 jest jajożyworodnych. Przykłady ryb spodoustych: **rekinek psi, żarłacz błękitny, płaszczki, drętwy** (por. też Ryc. 111 A).



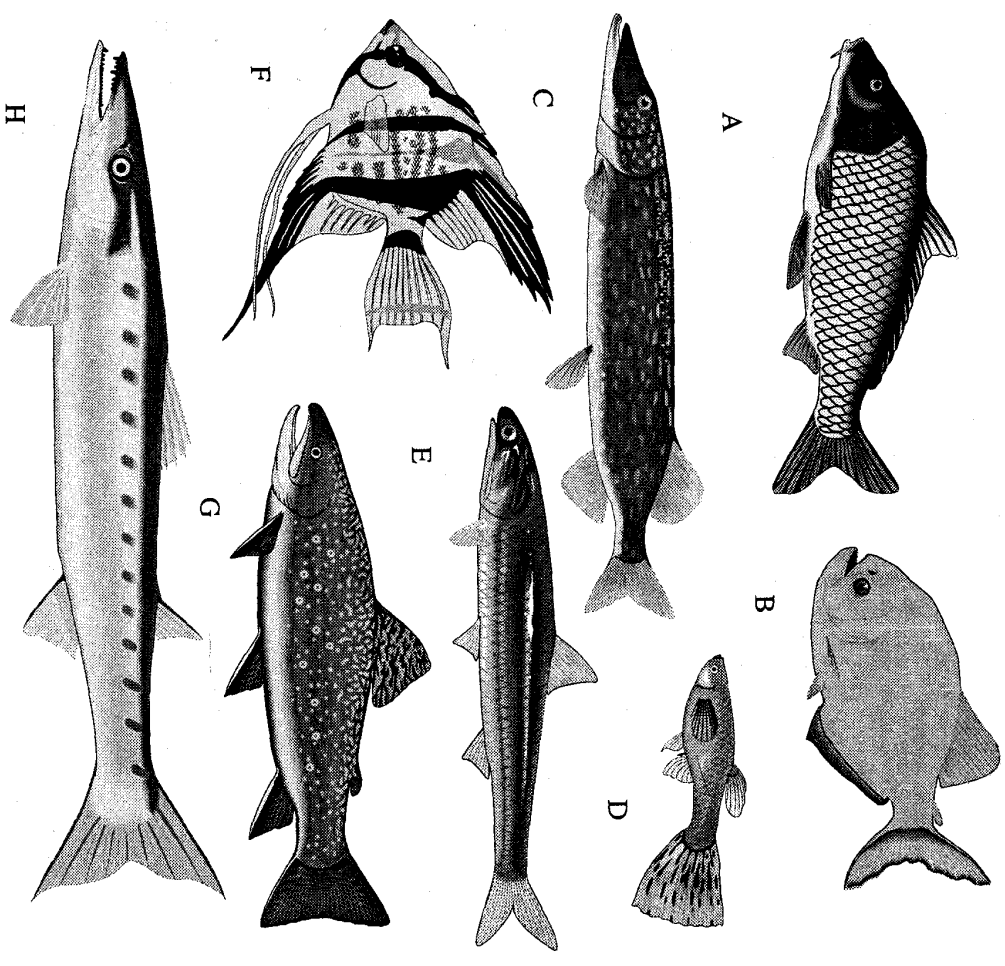
Ryc. 111 A. Sylwetki ryb spodoustych — rekin-młot (A), płaszczka (B), drętwa (C) i żarłacz błękitny (D).

Drugą grupę gatunków tworzą ryby **kościste** (*Osteichthyes*). Jej pierwszymi przedstawicielami były **fatdopłetwe** (*Acanthodii*) — już opisywane. Prawdopodobnie ryby te w dewonie przeszły silną radiację adaptacyjną i podzieliły się na:

Dwudyszne (*Dipnoi*) — grupę prymitywnych ryb, które mają dobrze zachowaną strunę i symetryczne płetwy ogonowe. Posiadają one czynny narząd powietrzny, a ich rozwój zarodkowy przypomina embriogenezę płazów. Nie były jednak przodkami kregowców lądowych. Wskazuje na to budowa szkieletu, a szczególnie płetw. Obecnie jest to grupa reliktowa, której przedstawiciele są endemitami. Należą do nich: **prąplętwońiec** z rzek Afryki środkowej, **płazek** z dorzecza Orinoko i Amazonki oraz australijski **rogoząb**;

Trzonopłetwe (*Crossopterygii*) — pojawiły się w dewonie. Prawie całkowicie wymarły pod koniec jury. Do dzisiaj przetrwał tylko jeden (!) gatunek — słynna **latimeria** (*Latimeria chalumnae*, por. Ryc. 123). Wyłowiono ją w Oceanie Indyjskim, u wybrzeży Wysp Komorskich dopiero w 1938 r. Wiśród ryb trzonopłetwych upatruje się przodków płazów. Ryby te miały „odpowiednią” budowę czaszki i, co ważne, trzonkowe płetwy. Ponadto miały czynny narząd powietrzny, nozdrza wewnętrzne i dość dużą mózgozaszkę. Przykład: *Eusthenopteron*. Latimeria jest natomiast przedstawicielem bocznej linii rozwojowej — nazwijmy ją „rybią” (ma narząd powietrzny przetośnięty tkanką tłuszczową, mały mózg i płetwy z dobrze rozwiniętymi promieniami);

Kostnopromieniste (*Actinopterygii*) — liczą ponad 20 000 gatunków i dzisiaj tworzą trzon całej gromady ryb. Cechy wspólne tej grupy to: kostne promienie płetw, skostniały w różnym stopniu szkielet oraz narząd węchu przesunięty na wierzch głowy.



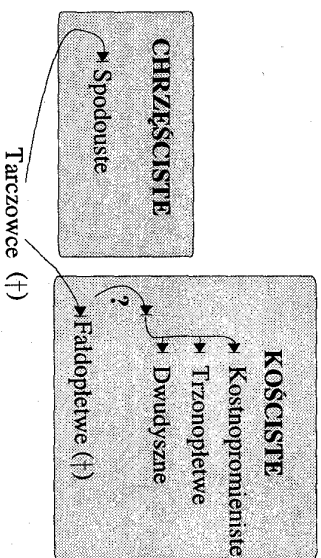
Ryc. 111 B. Sylwetki niektórych ryb kostnopromienistych — karp (A), pirania (B), szczupak (C), gupik (D), sandela (E), skalar (F), troć (G) i barakuda (H).

Zdecydowana większość ryb kostnopromienistych ma szkielet całkowicie skostniały, zredukowany stożek tętniczy w sercu, a ich płetwy ogonowe są zewnętrznie symetryczne. Same kostnoszkieletowe dzieli się na 14 rzędów. „Zakowanie” po kolei każdego z nich to zajęcie godne pochwały, ale zastawmy je zapaleńcom (przyszłym ichtiologom?). Tutaj

wymienimy tylko kilka przykładow: **łosoś, węgorz, śledź, karp, szczupak**, ryby głębinowe, **sum, żabnica, dorsz, belona, pirania, ciernik** itd. (por. Ryc. 111 B).

CWICZ. Określ, jakie siedliska mogą zajmować ryby i jakie przystosowaniami w budowie powiniły w związku z tym wykazywać — wypisz je wraz z przykładaniami (skorzystaj np. z „Encyklopedii ryb morskich” S. Rukowskiego i „Życia morza” K. Demela wydanych przez Wydawnictwo Morskie).

UWAGA. 1. Często używa się określenia ryby kostnoszkieletowe. W rzeczywistości jest to nadzrząd w podgromadzie kostnopromieniowych. Ponieważ pozostałe, czyli kostnoluskie (np. jesiotry) i przejściowe (np. niszczarka i męklawka) to raptem kilka dziesiąt gatunków, możemy sobie pozwolić na takie uproszczenie.
2. Według jednej z nowszych hipotez dwudyszne, trzonopłetwe i płazy meandrowe wywodzą się od wspólnych, prymitywnych przodków.



Ryc. 112. Uproszczona systematyka ryb (grędy pominięto celowo). Znak zapytania oznacza poważne wątpliwości co do pochodzenia grupy.

Pytania i polecenia kontrolne:

1. Jaka zmiana w budowie szkieletu umożliwiła zuchwowcom sprawniejsze pobieranie pokarmu i możliwość przejścia na drapieżnictwo?
2. Jaką czaszkę nazywamy hyostyliczną?
3. Przedstaw uproszczony schemat systemu skrzelowego ryby pancernej.
4. Jakże dwa pnie rozwojowe wyodrębniły się z ryby pancernych?
5. Jakże zmiany w budowie ryba zwiększyły ich ogólną sprawność w środowisku wodnym?
6. Wskaż różnice w budowie ucha wewnętrznego minoga i ryby.
- *7. Dlaczego wśród ryb trzonopłetwych upatruje się przodka płazów? Czy są na to dowody?
- *8. Porównaj budowę ryb chrzęstno- i kostnoszkieletowych. Wymień po kilku przedstawicielach obu grup.
- *9. Dlaczego ryba dwudysznych nie możemy uznać za przodków kręgowców lądowych?
- *10. Wyjaśnij pojęcie endemit. Wymień znane Ci gatunki endemiczne ryb dwudysznych.

20. Charakterystyka ryb

Dział: Zuchwocce

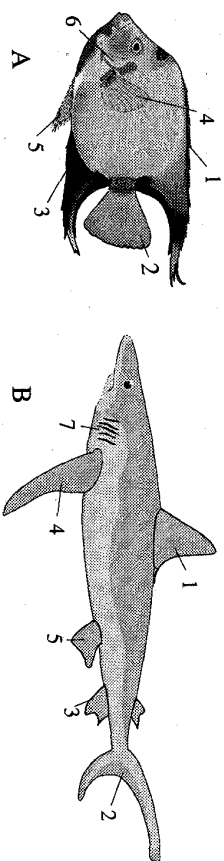
Gromada: Ryby (Pisces)

Ryby to najliczniejsza grupa kręgowców, która opanowała całe środowisko wodne. Wyraźnie też dzieli się na dwa pnie rozwojowe, których trzony tworzą **spodouste** i **kostnoszkieletowe**. Śląd części różnice, które powinienes zapisać w tabeli i zapanięć!

Budowa morfologiczna

CIAŁO RYBY DZIELI SIĘ NA GŁOWĘ, TUŁÓW I OGON

Jest to podział umowny, ale mający wiele cech użytkowych. Szyja nie jest wyodrębniona! Sylwetka przeciętnej ryby spełnia wymogi hydrodynamiki i jest lekko bocznie spłaszczona (por. Ryc. 113). Przy nieruchomej głowie zapewnia to maksymalną szybkość i sterowność w środowisku wodnym. Pamiętaj jednak, że radiacja ryb doprowadziła do powstania gatunków o bardzo zmienionych kształtach, np. kuliste najęzki, spłaszczone flądry czy pękaty samogłów. Różnorodność jest tutaj bardzo duża, obowiązuje jednak pewna zasada — gatunki szybko pływające mają kształt „typowy”. Ryby mogą być barwniejsze niż papugi, ale ogólnie rzecz biorąc ich ubarwienie ma charakter maskujący (z jasniejszym spodem ciała i ciemniejszym grzbieniem).



Ryc. 113. Kształty pospolitych ryb: *wolno pływającej* — chironika królewskiego (A) i *szybko pływającej* — żurłacza błękitnego (B) (1 — głowa grzbietowa, 2 — płetwa ogonowa, 3 — płetwa odbykowa, 4 — płetwa piersiowa, 5 — płetwa brzuszna, 6 — wieczko skrzelowe, 7 — szpary skrzelowe).

RYBY POSIADAJĄ PŁETWY TYPU WIOŚLOWATEGO

Sprawna lokomocja wymaga oczywiście odpowiedniego systemu napędowego. W wodzie służą do tego płetwy. Ryby mają:

1. **Płetwy nieparzyste** — umieszczone w osi podłużnej ciała. Zalicza się do nich **płetwę ogonową** (podstawowy organ napędowy), **grzbietową** (coś w rodzaju stabilizatora pionowego) i **płetwę odbykową**;
2. **Płetwy parzyste**, które dzieli się na:
 - A) **płetwisłowe** — znajdujące się prawie zawsze tuż za głową.
 - B) **brzuszne** — położone na brzuchu, często jednak podsunięte do przodu. U gatunków z zapłodnieniem wewnętrznym płetwy te czasem spełniają rolę narządu kopulacyjnego.

Kształt, wielkość, a nawet liczba płetw to cechy gatunkowe, które odzwierciedlają „charakter” właściwości.

Powłoka ciała

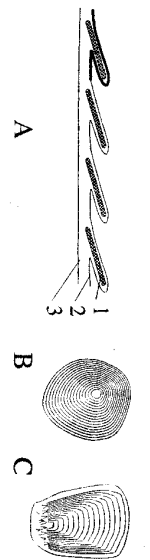
Ciało ryby pokryte jest skórą. Jej wierzchnią warstwę tworzy naskórek wielowarstwowy nierogowaczący. Pochodzą z niego liczne gruczoły jednokomórkowe, wydzielające śluz, który zmniejsza tarcie w gęstym ośrodku (woda ma przecieź ponad 700 razy większą gęstość niż powietrze). Ponadto składnikami śluzu są substancje o działaniu immunologicznym, przeciwdziałające różnego rodzaju infekcjom. Śluz chroni też częściowo rany przed zakażeniami. Niektóre ryby, np. skrzydłaki, raje mają ponadto gruczoły jadowe. Pod nabłonkiem leży łącznotkankowa skóra właściwa. Jej wytworem są dachówkowato ułożone łuski pokrywające całe ciało. Jedynie u niektórych przydatnych gatunków, takich jak węgorz i piskorz dochodzi do częściowej lub całkowitej utraty łusek.

Materiałem budulcowym łusek są składniki organiczne i mineralne. Ciało niektórych najstarszych ryb (oprócz tarcz kostnych) pokrywały niewielkie płytki kosne opatrzone wzgórkami zębiny (jest to substancja pokrewna kości). Od zewnątrz powleczone były warstwą polyskującej, twardej ganoiny. Takie prymitywne łuski nazywa się lepidomorfiami. Niektórzy autorzy twierdzą, że kostny pancerz skłony pierwszych bezżuchwoców i ryb powstał ze zrastania się wielu takich płytek kostnych. U spoduśnych z lepidomorfii rozwinęły się łuski plakoidalne (np. u rekinów i żartaczy). Taka łuska zbudowana jest z płytki i sterzącego z niej ząbka, który wystaje ponad naskórek i haczykowato wygina się do tyłu.

Z pierwotnych łusek z dużym udziałem ganoiny, poprzez redukcję warstw powłokowych, rozwinęły się łuski elastyczne. Wyglądają one jak giętkie płytki osadzone pod ostrym kątem w kieszonekach skóry właściwej, łuski te pokryte są od zewnątrz nabłonkiem, a ponadto zachodzą na siebie dachówkowato. Zbudowane są z organicznej substancji, która ulega częściowo mineralizacji. W ten sposób powstaje lekka zbroja, która nie krępuje ruchów. Wyróżnia się dwa rodzaje łusek elastycznych (por. Ryc. 114):

- A) okrągławe (cykloidalne) — współcześnie zachowały się u ryb słodkowodnych o delikatnych płetwach oraz u dorszowatych i śledziowatych;
- B) zgrzeblowate (krenoidalne) — jest to najpowszechniejszy dzisiaj typ łusek — występują np. u okonia. Łuski tego rodzaju posiadają na tylnym brzegu ząbki, dzięki czemu lepiej trzymają się w skórze.

Budowa, ułożenie i barwa łusek są ważnymi cechami systematycznymi.

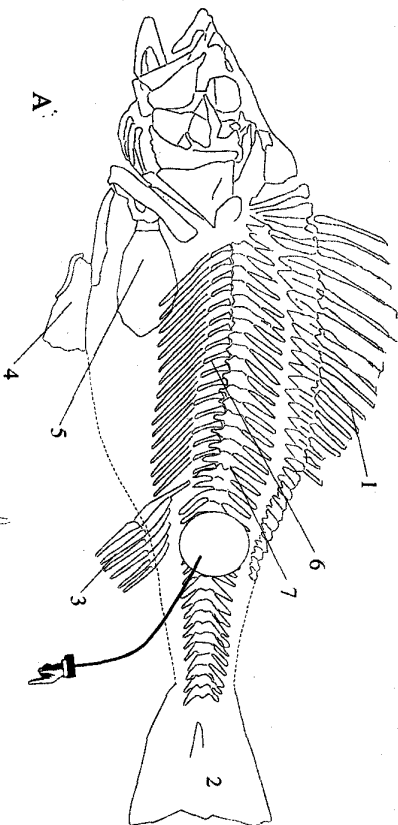


Ryc. 114. Łuski ryb kostnopromieniowych: ułożenie w skórze (A) i rodzaje łusek elastycznych: okrągława (B), zgrzeblowata (C). 1 — łuska, 2 — nabłonek, 3 — skóra właściwa.

Szkielet

Wyróżnia się w nim: czaszkę i kręgosłup oraz tzw. rusztowanie płetw. Od strony histologicznej szkielet ryby może być chrząstwy (por. spoduśne) lub kostny (zdecydowana większość pozostałych ryb).

szkielet ryb



Ryc. 115. Szkielet ryby kostnoszkieletowej: budowa ogólna (A), powiększenie czaszki (B) oraz kręgi (C). a — 2 okolicy tułwowej (widoczne jest rozwarcie łuków naczyńnicowych), b — 2 okolicy ogonowej (widoczne jest zrosnięcie łuków naczyńnicowych), c₁ — widok kręgów z boku, c₂ — przekroju przez kręgi. Oznaczenia: 1 — promienie płetwy grzbietowej; 2 — płetwa ogonowa, 3 — płetwa odbytowa, 4 — płetwa brzuszna, 5 — płetwa piersiowa, 6 — żebra i ości, 7 — kręgosłup, 8 — k. ciemniowa, 9 — k. czolowa, 10 — k. szczękowa, 11 — k. zębowa, 12 — k. stawowa, 13 — k. kwadratowa, 14 — łuki skrzelowe, 15 — kości wieczka, 16 — k. przedszczękowa, 17 — k. krucza, 18 — łopatka, 19 — k. skoblowa, 20 — trzon kręgu, 21 — łuk nerwowy, 22 — łuk naczyńnicowy, 23 — kanał rdzeniowy, 24 — fragment rdzenia kręgowego, 25 — struna grzbietowa.

1. Szkielet osiowy tworzy oczywiście czaszka i kręgosłup.

- A) szaszka — w porównaniu z bezżuchwocami ma rozbudowaną konstrukcję i funkcje. Występują w niej elementy pochodzenia wewnętrznego, a także skórnoego. Mózgoczaszka

jest niewielka i dokładnie osłania mózg (por. Ryc. 115). W trzewioczaszce zwraca uwagę duża liczba elementów budulcowych. Jak już wiesz

RYBY WYKSZTAŁCILEY CHWYTNY APARAT SZCZĘKOWY

Tak więc dwa pierwsze łuki skrzelowe uległy znacznej przebudowie. Przedstawiono ją już w poprzednim rozdziale mimo to przypomnijmy krótko, że:

I-szy łuk — żuchwowy

— u chrzęstnoszkieletowych tworzy chrząstkę podniebno-kwadratową (szczeka górna) i chrząstkę żuchwową, szczeka dolna (chrząstka Mackeja). Szczeka górna jest dość luźno zestawiona z mózgowczaszką (tylostylia). Osadzone na obu szczekach zęby nie są zróżnicowane (homodontyzm), a powstały z przekształconych łusek plakoidalnych; — u kosmoszkieletowych tworzy kość kwadratową (w szczecie górnej) oraz stawową (w szczecie dolnej). Do wymienionych elementów dochodzą dodatkowe, liczne skostnienie pochodzenia skórniego i wewnętrzne (por. 115 B). Jest ich dużo i u różnych gatunków rozwijają się w odmiennym stopniu; najważniejszymi są: kość szczękowa i kość żuchwowa.

II-gi łuk — gnykowy

— tworzy „zawieszenie” dla szczęk, dzięki czemu mogą one pracować nożykowo. W przypadku ryb jest to chrząstka lub kość gnykowo-żuchwowa.

B) kregosłup — **z**budowany jest z **kregów dwuwłóknistych** (amficericznych, por. Ryc. 115 C). Powstają one z łącznotkankowego materiału oślonki struny grzbietowej. Rozwój prowadzi do wykształcenia chrzęstnych zawiązków trzonów kregów, które stopniowo wypierają strunę. Na chrzęstnym stadium rozwoju kregosłupa zatrzymują się ryby chrzęstnoszkieletowe. Chrząstka, jak wiadomo, nie jest materiałem tak wytrzymałym mechanicznie jak kość. Między innymi dlatego u spodoustych występuje silna mineralizacja (przez wapnienie) tkanki chrzęstnej i wyraźne pogrubienie łuków nerwowych. U ryb kosmoszkieletowych chrząstka ulega skostnieniu (jest to tzw. stadium kostne kregosłupa, charakterystyczne dla części ryb i wszystkich czworonogów). Pomędzy kręgami zachowuje się jednak struna grzbietowa. Gdyby udało się ją wypreparować, to przypominałaby sznurak paciorków (por. Ryc. 115 c₂). Liczba kregów jest cechą gatunkową — widać jednak, że jest ich sporo — przeciętnie kilkadziesiąt. Rekordzistami są tutaj: węgorze — ok. 200 kregów (u kosmoszkieletowych) i żarłaczki do — 400 kregów (wśród chrzęstnoszkieletowych).

B U ryb występują czasern kregosłupy beztrzonowe (aspondylne), w których rozwijają się tylko łuki nerwowe i naczyńlowe, natomiast struna pozostaje dobrze rozwinięta. Mają je przedstawiciele starych grup: dwuduszných, trzonoplewých i jesiotroszkieletých (pod ten typ budowy podlegają także kregosłupy bezżuchwoców).

2. Szkielet plew

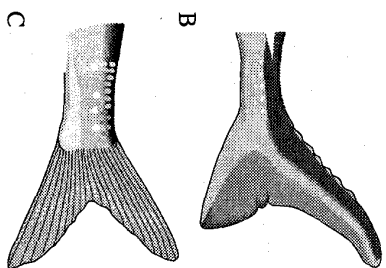
Czasern mówi się o nim: „rusztowanie plew”. Każda plewa, niezależnie od rodzaju, ma szkielet obwodowy, współtworzący część zewnętrzna (wiosłowatą) oraz szkielet podstawowy zanurzony w muskulaturze. Podstawę konstrukcji części zewnętrznej plewy tworzą **promienie plewy** (pterygiotory). Mogą one być rogowe, chrzęstne lub kostne. Na nich rozpięte są fałdy skórne tworzące powierzchnie roboczą. U wielu ryb kosmoszkieletowych promienie zestawiają się stawowo z elementami podławy. Pozwała to na składanie plew (tak jak składa się wachlarz), a więc podnosi ich sprawność.

Najważniejszą plewą nieparzystą jest silnie umięśniona **plewa ogonowa**, stanowiąca połączony aparat ruchu. Zasadniczo kończy na ta jest dwupłatowa, jednak na podstawie różnic w rozwoju poszczególnych elementów, wyróżnia się aż trzy rodzaje plew ogonowych (por. Ryc. 116):

A) symetryczna (dificerkiczna) — jest to prymitywna plewa, w której szkielet oślowy przebiega środkiem aż do jej końca. Dzielni więc plewę na dwa identyczne płaty. Przykład: prąplawowicze;

B) niesymetryczna (heterocerkiczna) — w takiej plewie kregosłup wygina się i biegnie w górnym, większym płacie, aż do końca. Dolny płat jest więc mniejszy i delikatniejszy. Przykład: rekiny, jesiotr zachodni;

C) zewnętrznie symetryczna (homocerkiczna) — zbudowana z dwóch podobnych płatów. W budowie anatomicznej widać jednak, że koniec kregosłupa wygięty jest lekko w górę — stąd symetria widoczna jest tylko od zewnątrz. Wynika to z konstrukcji plew pierwotnych ryb kościstych, która ulegała tylko pewnej optymalizacji. Przykłady: zdecydowana większość ryb kosmoszkieletowych.



Ryc. 116. Rodzaje plew ogonowych ryb: A — symetryczna, B — niesymetryczna, C — zewnętrznie symetryczna.

WSPÓŁCZESNE RYBY MAJĄ DWIE PARY KOŃCZYN PARZYSTYCH

Nie oznacza to jeszcze, że są to kończyny wolne (por. następny rozdział). Tym niemniej ich wiosłowate ruchy zwiększają sprawność motoryczną zwierzęcia. Od ryb bédziesz mógł mówić o tzw. **passach** (pas = obręcz + kończyzna):

A) barkowym — tworzonym przez kończyny przednie (u ryb plewy piersiowe) osadzone na obręczy barkowej. Obręcz kończyzny przedniej składa się z dwóch części pierwotnych: łopatkowej i kruczej. U kosmoszkieletowych doszły do nich wtórne skostnienia pochodzenia skórniego. Najważniejszym z nich jest kość skobłowa, łącząca obręcz barkową z mózgowczaszką (por. Ryc. 115 B). Poza tym u niektórych gatunków ryb kosmoszkieletowych pojawiają się jeszcze obojczyki, wzmacniające połączenie lewej i prawej strony obręczy;

B) miednicowym — tworzonym przez kończyny tylną (u ryb plewę brzuszna) osadzoną na obręczy miednicowej. Ta część szkieletu ryby wykształcona jest słabo. Przede wszystkim obręcz zanurzona jest w mięśniach i nie łączy się z kregosłupem (por. Ryc. 115 A). Tworzą ją dwie płyty łukowato wygięte do tyłu. Do nich przyłączają się promienie plew brzuszných. Brak połączeń obręczy ze szkieletem oślowym nie powinien Cię dziwić — wszak ryba pływa w wodzie, gdzie działa siła wyporu.

UWAGA: U ryb trzonoplewých plewy parzyste są inaczej zbudowane (por. ROZDZ. 21).

Układ mięśniowy

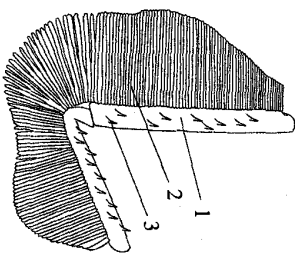
W porównaniu z bezżuchwocami w muskulaturze ryb zachodzą dość istotne zmiany. Mięśnie ruchowe tułowia i ogona wykazują nadal silną **metamerizację** (miomery oddzielone łącznotkankowymi przegrodami). Następuje jednak podział muskulatury oślowej na mięśnie nad-

i podosiowe. Różnice uwidaczniają się też w umiśnieniu głowy. U ryb osobne mięśnie wznacniają łuki skrzelowe. Najistotniejsze jednak jest to, że wyodrębnione są silne mięśnie żuchwowe, a do tego własne mięśnie posiadają płewy parzyste i nieparzyste.

Układ oddechowy

Ryby oddychają skrzelami. Wie o tym każdy, jednak już znacznie mniej osób orientuje się, że kręgowce te mogą mieć różne systemy oddechowe:

1. Łukowate skrzela;
2. Narząd powietrzny;
3. Powierzchnię ciała — dotyczy to jednak bardzo niewielkich gatunków, o zredukowanych łuskach, np. węgorz może w ten sposób pokrywać ok. 50% swego zapotrzebowania na tlen.

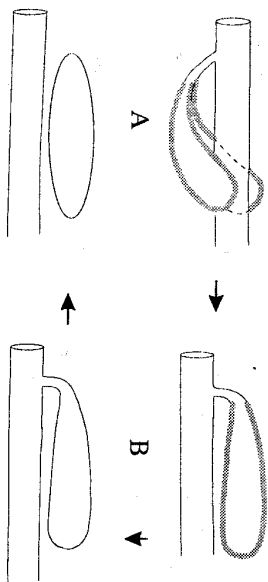


Ryc. 117. Budowa skrzela typu łukowatego (1 — łuk skrzelowy, 2 — blaszka skrzelowa tworząca przez listki skrzelowe, 3 — wyrostki filtracyjne). Przyjrzyj się też Ryc. 115 B.

Rusztowaniem skrzeli są chrząstki lub kostne łuki skrzelowe (por. Ryc. 117). Na każdym z nich wachlarzowo rozpięte są bogato unaczynione listki skrzelowe. Nabłonek pokrywający listki tworzy cienkie fałdy czyli blaszki skrzelowe. To właśnie one stanowią powierzchnię oddechową. Skrzela osadzone są po bokach jamy gardzielowej. U spodoustych woda, która je otwiera, uchodzi odrębnymi szparami skrzelowymi (por. Ryc. 111 A i 113 B). U kostnoskrzelowych, dwudysznych i trzonopłetwych skrzela umieszczone są we wspólnym zagłębieniu jamy skrzelowej i przykryte wieczkiem skrzelowym (por. Ryc. 111 B i 113 A). To ostatnie jest elementem szkieletu zewnętrznego, który chroni skrzela i wspomaga ich przemywanie. Przyjrzyj się pracy wieczka w jakiejś rybie akwarowej — zwróć uwagę, że działa ono jak pompa ssąca, wywarzająca niewielkie podciśnienie. Dzięki temu woda tłoczona przez podnoszące się dno jamy gębowej szybciej przepływa przez jamę skrzelową na zewnątrz. Teraz ryba ponownie otwiera jamę gębową i nabiera porcję wody. Następnie dno jamy gębowej i wieczko unoszą się — cykl oddechowy powtarza się.

CZEŚĆ NAJSTARSZYCH RYB MIAŁA JUŻ NARZĄD POWIETRZNY

Był nim prosty, gąbczasty i ukrwiony **uchyłek przelyku**, służący do oddychania powietrzem atmosferycznym (por. Ryc. 118). Narząd powietrzny uległ w toku ewolucji znacznym zmianom. U dwudysznych i trzonopłetwych pełnił funkcje oddechowe. Współczesne ryby kostnoskrzelowe posiadają **pecherz pławny**, który powstał z narządu powietrznego ryb dewońskich. Przekształcenia szły tu w kierunku zmniejszenia grubości ścian i oddzielenia pecherza od przelyku. Skutkiem tego nastąpiła zmiana funkcji z oddechowej na hydrostatyczną. Pecherz pławny okonowatych są zamknięte, jednak u sporej liczby gatunków, np. łososiowatych, karpiowatych, zachowują jeszcze połączenie z przelykiem. Ciśnienie gazów w pecherzu pławnym może się zmieniać przez co zwiększa lub zmniejsza się wyporność zwierzęcia. Ryba może więc „zawisnąć” na określonej głębokości i utrzymywać ją bez żadnego wysiłku. Inaczej ma się sprawa z rybami spodoustymi — nie mają one bowiem nigdy pecherza pławnego. Ich ciało jest nieco cięższe niż woda i dlatego ma tendencję do opadania na dno (porozmawiaj o tym z nauczycielem fizyki). Przeciwdziała się temu aktywny ruch, który u gatunków pelnomorskich trwa całe życie.



Ryc. 118. Schemat ewolucji narządu powietrznego ryb (A — narząd powietrznego ryb dewońskich z ukrwioną powierzchnią oddechową, B — stadium przejściowe, C — gładkościenny pecherz pławny połączony z przewodem pokarmowym, D — pecherz pławny oddzielony od przelyku).

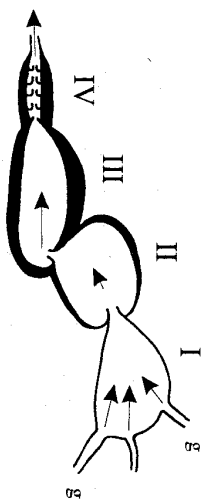
Wróćmy jeszcze do pecherza pławnego — dość duża powierzchnia jego ścian i obecność gazu (np. CO₂) pozwala mu spełniać dodatkową funkcję — słuchową, stąd u niektórych ryb bezpośrednie przyleganie pecherza do błędniczka. U ryb karpiowatych pomiędzy pecherzem a błędniczkiem „wmontowany” jest tańcuch kostek przekazujących drgania — **narząd Webera**.

Układ krążenia

Zasadniczo układ krążenia ryb jest zamknięty, jednoobiegowy z jednoprzepływowym sercem typu żylnego (podobnie jak u bezżuchwoców). Ma on jednak kilka cech szczególnych (por. Ryc. 119 A):

1. Serce jest już unierwione (porównaj to z bezżuchwocami) przez włókna autonomicznego układu nerwowego, które przesyłają impulsy zwalniającego rytm pracy mięśnia sercowego. Ciężką, że w odróżnieniu od innych żuchwoców, ryby nie posiadają unierwienia umożliwiającego przyspieszanie tempa pracy serca;
2. Serce ryb generalnie zbudowane jest z czterech pecherzyków:
 - A) u spodoustych są to: zatoka żylna, przedsionek, mięsista komora i stożek tętnicy (por. Ryc. 119 A);
 - B) u kostnoskrzelowych są to: zatoka żylna, przedsionek, komora i opuszka tętnicza. W rzeczywistości ta ostatnia nie jest częścią serca, a tylko zgrubieniem tętnicy. Świadczy o tym jej budowa histologiczna — opuszkę bowiem tworzą mięśnie gładkie! Serca tych ryb są więc trzyczęściowe.
3. Krew utlenowana w skrzeliach rozprowadzana jest jako **czysto tętnicza** po całym ciele.

System krążenia ryb (szczególnie dobrych pływaków) jest bardzo sprawny (por. Ryc. 119 B). Pod pewnymi względami pracuje nawet wydajniej niż u płazów (większą jest częstość skurczów serca w tej samej temperaturze i względny ciężar tego organu). W sumie jednak masa krwi jest mniejsza, podobnie jak ilość naczyń w mięśniach szkieletowych.

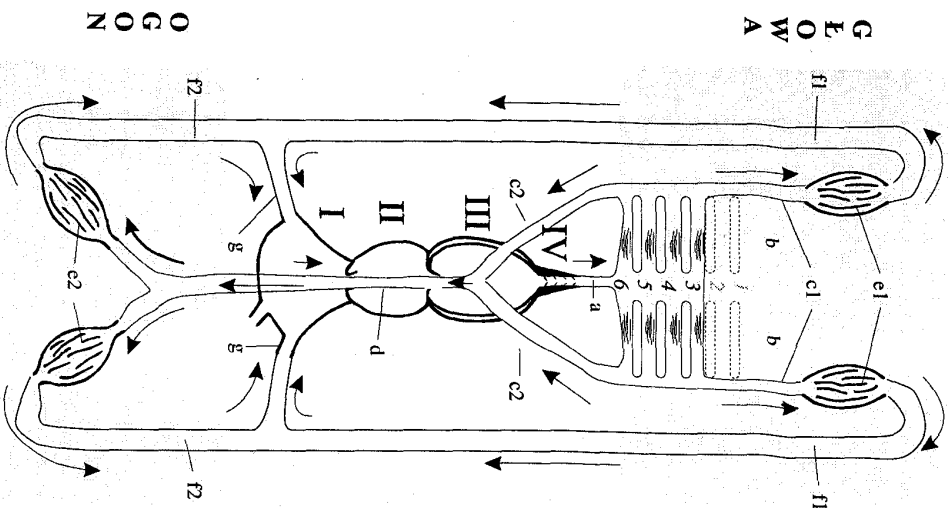


Ryc. 119 A. Ogólny schemat budowy serca ryby spodustej (I — zatoka żylna, II — przedsionek, III — komora, IV — stożek tętnicy; g — przewody Cuvier'a). Strzałki pokazują kierunek przepływu krwi.

Kurczące się rytmicznie serce przetacza krew do przodu, do krótkiej tętnicy skrzelowej (w stożku albo opuszcze tętniczej są zastawki zapobiegające cofaniu się krwi). Odgałęzienia tętnicy skrzelowej — **łuki naczyńne** — przetaczają krew do sieci naczyń włosowatych blaszek skrzelowych. Ułtenowana krew trafia do korzeni aorty i rozprowadzana jest po całym ciele. Wraca żyłami głównymi, łączącymi się w przewody Cuviera oraz żyłą wątrobową. W sumie jest to bardzo podobne do stosunków, które panują u bezżuchwcowców.

Ryc. 119 B.

Ogólny schemat układu krążenia ryby spodustej (I — zatoka żylna, II — przedstonek, III — komora, IV — stożek tętnicy; a — tętnica skrzelowa, b — naczynia łuków skrzelowych, c1 — korzenie przednie aorty, c2 — korzenie tylne aorty, d — aorta grzbietowa, e1 i e2 — naczynia włosowate skłiny ciała, f1 — żyły główne przednie, f2 — żyły główne tylne, g — przewody Cuviera; 1 do 6 — numery par łuków skrzelowych). Zwróć uwagę, że pary łuków I i 2 zaznaczono linią przerywaną — u większości dorosłych ryb pozostają więc łuki par: 3—6.



G
E
L
O
W
A

O
G
G
O
N

Układ wydalniczy i rozrodczy

Ryby muszą aktywnie regulować swój bilans wodno-mineralny. Jak zapewne wiesz, problem ten pojawił się już u pierwszych kręgowców. Współczesne ryby rozwiązują go na kilka sposobów. Podzielmy je więc na:

1. **Morskie** — tutaj spocząć można dwa różne rozwiązania:

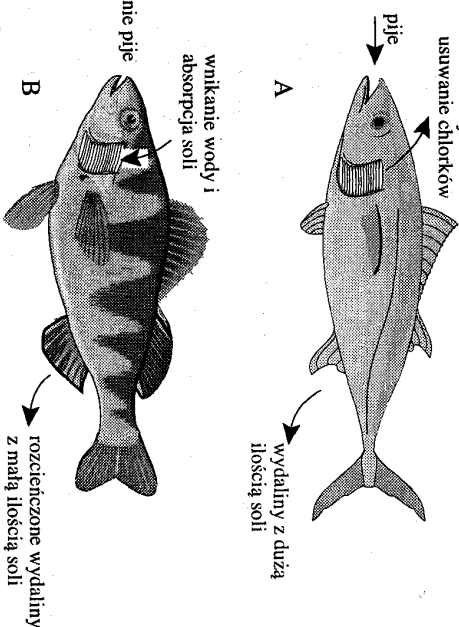
A) spouduste utrzymują we krwi duże stężenie mocznika, stąd ich płyny ustrojowe są lekko hipertoniczne i woda wnika przez nabłonek skrzeli do krwi. W tej sytuacji pranekom pozostaje praktycznie usuwane nadmiaru wody. Ryby te nie piją wody;

B) kostnoszkieletowe stale piją słoną wodę. Większość jonów wraz z wodą dostaje się do krwi z przewodu pokarmowego (część nie jest wcale wchłaniana) a nadmiar chlorków jest wydalany aktywnie przez skrzela (por. Ryc. 120 A). Ponadto same neki wydalają sporo jonów, dlatego mocz i kał tych ryb zawiera ich duże ilości. Jak widać oprócz nerek (ściślej pranek) pomocniczym narzędziem wydalniczym są tu skrzela;

2. **Stodkowodne** — ich płyny tkankowe są hipertoniczne w stosunku do środowiska, dlatego problemem staje się ciągłe wnikanie wody do wnętrza ciała oraz wymywanie ważnych dla

życia jonów. Ryby stodkowodne nie piją wody. Natomiast poprzez nabłonek jamy gębowej i skrzeli pobierają osmotycznie wodę oraz jony: Na⁺, Cl⁻. Tą samą drogą tracą amoniak. Ich mocz jest silnie rozcieńczony

(nie ulega zagęszczeniu w pranekach) — pozwala więc pozbywać się nadmiaru wody (por. Ryc. 120 B). Przy „okazji” tracone są jednak ważne jony, których bilans uzupełniany jest z pokarmu.



Ryc. 120.
Gospodarka wodno-mineralna ryby morskiej — tunczyka (A) i stodkowodnej — okonia (B).

RYBY SĄ ZWIERZĘTAMI ROZDZIELNOPECIOWYMI

Większość gatunków faktycznie jest rozdzielnopciowa. „Ryby nie byłoby jednak rybami”, gdyby nie posiadały pewnych wyjątków — otóż u morskich gatunków z rodziny strzępielowatych trafiają się obojnaki. Okres rozrodu u ryb — **tarto** — odbywa się zwykle w określonych miejscach (fajlskach). Często towarzyszą temu procesowi zmiany w zachowaniu ryb (obyczaje go-dowe). Niestety, nie można było ich tutaj opisać.

Narządy rozrodcze ryb cechuje duża różnorodność — szczególnie żeńskie. Jajniki zwykle są parzyste, taśmowate lub workowate. U wolnione z nich jaja trafiają do jajowodów. U większości gatunków gromadzą się w tylnym odcinku dróg rodnych — stamtąd, jako tzw. **ikra**, wyrzucane są do wody skurczem mięśniówki jajowodów. U takich ryb zapłodnienie jest **zewnątrzne**. Ciekawe rozwiązania pojawiły się u ryb chrzęstnoszkieletowych. Otóż, u niektórych gatunków przedni odcinek jajowodu rozszerzony jest lejkowato, co ułatwia wychwytywanie komórek jajowych. Za lejkem jajowodu znajduje się zgrubienie, w którym może dojść do zapłodnienia, stąd u spoudustych jest ono **wewnętrzne**. W tym miejscu jaja opatrzone są jeszcze białkiem oraz skórząstą osłonką (czyms w rodzaju skorupki) i tak wyposażone trafiają do wody. U spoudustych drogi rodne uchodzą do kloaki, u kostnoszkieletowych mają odrębne otwory wydalnicze. Niektóre ryby wykonują dalekie wędrówki na tarto. Skrajnymi przykładami są gatunki, które w podroży zmieniają środowiska. Przykładowo węgorz amerykański płynie z rzek na tarto aż do Morza Sargassowego (potrzebna tu jest twoja znajomość geografii albo mapa). Wędrówki „z rzek do mórz” określa się jako **katadromiczne**. Odwrotnie lososie — płyną na tarto z mórz w góry rzek, ich wędrówki są więc **anadromiczne**. Powstaje pytanie: skąd ryby wiedzą, dokąd wędrować? Działają wiadomo, że kluczem do zrozumienia tych umiejętności są dwa terminy:

- **węch** — ryby rozpoznają zapach swoich rzek i mórz;
- **imprinting** (wdrnkowywanie) — jest to rodzaj bardzo szybkiego i trwałego uczenia, w wyniku którego zapamiętuje się pewne całościowe informacje istotne dla życia. Na *imprinting* szczególnie podatne są bardzo młode zwierzęta (u ryb narybek).

U ryb jajorodnych ilość jednorazowo złożonych jaj jest bardzo duża (nawet ponad milion). Gatunki jajo-żyworodne mają jaja większe i jest ich znacznie mniej. Zasobność w żółtko zapewniana zarodkom zaopatrzenie w materiały budulcowe i energetyczne. Stąd ich rozwój jest dość niezależny od organizmu matczynego. Nieliczne, np. musiel czy rekin młot ze spodusytnych wytwarzają „łożyska” i rodzą do 20 kilkudziesięciocentymetrowych młodych.

UWAGA: Dokładniejszy opis problemu żyworodności znajdziesz w ROZDZ. 27.

Układ pokarmowy

Przewód pokarmowy ryb ma budowę typową dla przeciętnego kregowca. Oczywiście można zaobserwować adaptacje do różnych typów pokarmów. Uwidocznia to się w kształcie i „wyposażeniu” pyska (u drapieżników zęby często są większe i liczniejsze). Ryby nie wydzielają śliny i nie posiadają umięśnionego języka, nie jest im to zresztą potrzebne. Pokarm przechodzi więc bez obróbki do krótkiego przełyku i dalej do żołądka (u karpiowatych tego ostatniego nie ma). Jelita ryb mięszennych są krótsze (por. to np. ze stawonogami lub ssakami), u roślinojerców tworzą dość liczne pętle. Granica pomiędzy jeltem środkowym i tylnym jest niewyraźna. Dla ryb chrzęstnoszkieletowych, dwudysznych i jesiotrowatych charakterystyczny jest spiralny fałd w jelicie środkowym, zwiększa on powierzchnię trawienia i wchłaniania. Dodajmy jeszcze, że błona śluzowa nie tworzy kosmków jelitowych, jak ma to miejsce, np. u ssaków, stąd ogólna powierzchnia wchłaniania nie jest duża. Należy jednak pamiętać, że ryby są zmiennocieplne, mają więc niewielkie zapotrzebowanie pokarmowe.

Układ nerwowy

MÓZGOWIE RYB OSIĄGA NIEWIELKIE ROZMIARY

Układ nerwowy ryb wykazuje wyższą organizację niż u bezżuchowców, jednak zachowuje jeszcze wiele cech pierwotnych. Przede wszystkim mózg jest bardzo mały, np. u drapieżnego szczupaka stanowi niespełna jedną tysięczną masy ciała (gdymby mózg człowieka miał miarę porcjonalnie taką masę, to ważyłoby mniej niż 70 g). Ponadto wszystkie części mózgowia (jest ich tradycyjnie pięć) ułożone są jedna za drugą (**układ liniowy**), a rozmiary niektórych zależą od dominujących zmysłów. Pozwoliło to, w uproszczeniu, wyróżnić dwa zasadnicze typy rybich mózgów (por. Ryc. 121):

1. Te z rozwiniętym węchomózgowiem i niewielkim śródmózgowiem. Taki typ budowy mózgu cechuje głównie spodusne. Stosunkowo duże kresomózgowie tych ryb podzielone jest na dwie małe połkule, z których wychodzą duże opuszki węchowe;

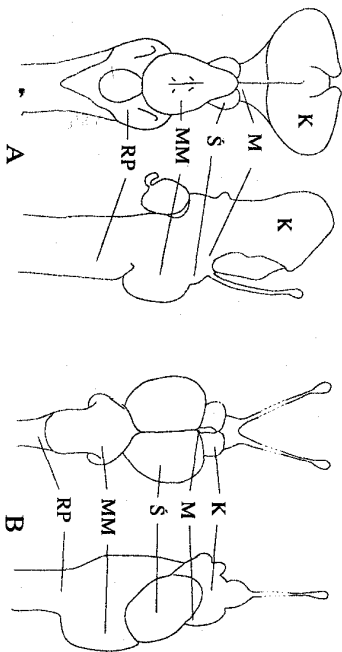
2. Te z rozwiniętym śródmózgowiem — takie mózgi mają planktonożerne i drapieżne ryby kostnoszkieletowe, posługujące się wzrokiem. Nie oznacza to jeszcze, że ich kresomózgowie jest małutkie. Ma jednak wyrażnie mniejsze opuszki węchowe.

Do tego należy jeszcze dodać, że:

- A) W kresomózgowiu ryb można wyróżnić korę dawną, jądra podstawy oraz zawiązki kory starej (ten typ kory wykazuje nieco wyższy stopień specjalizacji neuronów niż kora dawną). Nadrzędne ośrodki asocjacyjne zlokalizowane są w jądrach podstawy i częściowo w śródmózgowiu;
- B) W międzymózgowiu wielu gatunków występuje szyszynka;
- C) Śródmózgowie — już zostało omówione;
- D) Mózdzek ryb jest wykształcony w różnym stopniu — zależy to silnie od środowiska bytowania i lokomocji danego gatunku. Większość ryb jest aktywna ruchowo, stąd powierzchnia ich mózdzku jest niezłe rozwinięta. Najważniejsze jest jednak to, że mózdzek pokrywa

trójwarstwowa kora mózdzku, której możliwości analityczne są większe niż u bezżuchowców.

E) **Rdzeń przedłużony** — jest relatywnie duży, co ma niewątpliwie związek z dobrze rozwiniętym czuciem skórnym. U wszystkich ryb (poza chrzęstnoszkieletowymi) w rdzeniu przedłużonym występują tzw. komórki olbrzymie Mauthnera. Odpowiadają one za przekazywanie szybkich impulsów ruchowych, m.in. do ogona. Ryby spodusne nie potrafią więc gwałtownie przyspieszać, dlatego też rekiny atakują z małą prędkością — wrazenie grozy jednak tylko się potęguje.

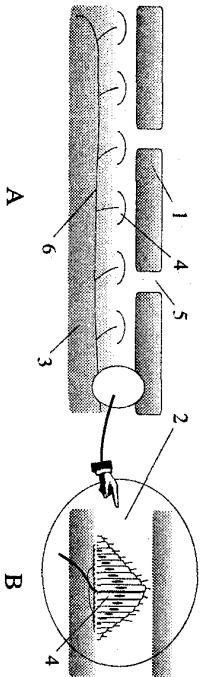


Z mózgu ryb wychodzi 10 par nerwów czaszkowych.

NARZĄDY ZMYŚŁÓW RYB SĄ LEPIEJ ROZWIĘTE NIŻ U BEZZUCHOWCÓW

1. Wzrok — organem wzroku jest oczywście oko o typowej dla kregowca budowie (por. Ryc. 81 C). Ograniczona rola wzroku powoduje, że soczewka jest zawsze niemal kulista — oczy są więc krótkowzroczne. Także akomodacja wykazuje szereg cech pierwotnych. Przede wszystkim odbywa się przez przesuwanie i oddalanie soczewki względem siatkówki. Część ryb odróżnia barwy. Oczy nie są chronione ruchomymi powiekami.

2. Węch — u ryb pojawiają się dwa otwory węchowe prowadzące do dotów węchowych. Te ostatnie wysłane są pofalowanym nabłonkiem węchowym. Jego duża powierzchnia sprawia, że ryby bardzo dobrze odróżniają zapachy (zalicza się je do zwierząt makrosmatycznych).



Ryc. 122. Uproszczonego schematu konstrukcji linii nabocznej — widok ogólny (A), powiększenie ciałka czuciowego (B) (1 — skóra, 2 — kanał linii nabocznej, 3 — tkanka podskórna, 4 — ciało czuciowe, 5 — otwór w skórze, 6 — nerw skórnny).

3. **Linia naboczna** (ściślej — narząd linii nabocznej) — ten szczególny organ służy zasadniczo do odbierania ruchów wody (por. Ryc. 122). Prawdopodobnie u niektórych gatunków może też służyć do analizy ciśnienia hydrostatycznego i czucia chemicznego.

4. Narząd równoważno-słuchowy — istota nowością jest posiadanie trzech kanałów półkolistych. Ustawienie ich we wszystkich podstawowych płaszczczyznach umożliwia precyzyjniejsze określenie położenia głowy w przestrzeni trójwymiarowej.

Niektórzy naukowcy sądzą, że fragmenty błędniczki kregowców ładowych są homologiczne z linia naboczna. Dowodem na to miałyby być podobna budowa ciałek czuciowych linii i nabłonków błędniczki oraz to, że oba systemy reagują na ruch płynu.

ZNACZENIE RYB JEST OGROMNE

W przyrodzie funkcjonują one na wszystkich poziomach troficznych konsumentów i mają duży wpływ na równowagę biocenozy.

Gospodarze znaczenie przedstawiono w punktach:

1. Ryby stanowią bardzo ważne źródło wysokowartościowego białka, stąd połowy od szeregu lat rosną. W wodach przybrzeżnych doprowadziło to do tzw. przekształtowania łowisk i może spowodować wyniszczenie niektórych populacji. Poławiane są zarówno ryby morskie (np. śledź, dorsz) jak i słodkowodne (np. karp, pstrąg). Czasem spory o prawa połowowe wywołują międzynarodowe zatargi, np. konflikt Kanady z Unią Europejską o łowiska halibuta z marca 1995 roku. Niektóre gatunki ryb mają mało ości i dużo mięsa, dlatego próbuje się je rozpowszechniać w różnych krajach. Dla przykładu w Polsce prowadzone są badania nad możliwością wprowadzania wiostonosa amerykańskiego (krewniaka ryb jesiotrowatych). Dodatkową zaletą tej ryby jest to, że jest aktywnym planktonozercą. Należy jednak sprawdzić, czy wiostonos nie będzie konkutował z gatunkami rodzimymi.
2. Wątroba niektórych ryb stanowi poważne źródło witamin.
3. Wędkarstwo — indywiduálne połowy to hobby milionów ludzi, żeby więc chronić ryby wprowadza się regulacje prawne, ograniczające wędkowanie. Zasadniczo są to: wymiary i okresy ochronne odrębnie ustalane dla każdego gatunku. Przykładowo, w Polsce wymiary ochronne dla szczupaka wynoszą 40 cm długości, a dla troci 31 cm. Okresem ochronnym dla szczupaka są dni od 15 marca do 30 kwietnia. **Szczególnie rzadkie gatunki podlegają ochronie gatunkowej.** W Polsce są to m.in. jesiotr zachodni, strzebla przekopowa i kiełb białopłetwy.

PODSUMOWANIE

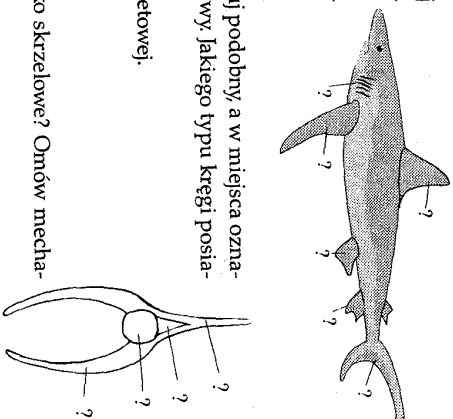
Zestawmy teraz najistotniejsze cechy ryb:

1. Są to **wodne kregowce** o szkieletcie chrzęstnym lub kostnym. Sylwetka zwykle jest hydrodynamiczna i nieco bocznie spłaszczona.
2. Głowa jest zestawiona z tułowiem nieruchomo.
3. Kręgi w kręgosłupie są **dwuwłkleste** (amficeleczne), między trzonami zachowuje się jeszcze struna grzbietowa.
4. Posiadają **pletwy** lokomotoryczne: nieparzyste i parzyste. Te ostatnie mają charakter wioślowały i nazywane są ichtiopterygiami.
5. Wykształciły chwytany **aparatuszczękowy**. Składają się nań ruchome: szczęka górna i żuchwa, każda zbudowana z kilku elementów. Umożliwiają to sprawnie pobieranie pokarmu (szczególnie dzielenie i potykanie). Szczęki powstały z przekształconego I-go łuku skrzelowego, stąd **ryby są pierwszymi żuchwowcami**.
6. Aparatuszczękowy stanowią **skrzela typu łukowatego** — tworzone przez blaszki skrzelowe osadzone na odpowiednich łukach skrzelowych.

7. Występuje **jeden obieg krwi** z sercem typu żylnego (unierwionym);
8. Ciało najczęściej pokryte jest **łuskowym pancierzem**. Brzmi to nieco „przyjęzakaowo”, w rzeczywistości jednak łuski tworzą raczej coś w rodzaju kolczugi. Są to bowiem niewielkie elementy zachodzące na siebie dachówkowo tak, że konstrukcja jest mocna, ale dość lekka i elastyczna;
9. Po bokach ciała niemal zawsze umieszczony jest **narząd linii nabocznej**, odpowiadający za czucie kierunku przepływu wody, ciśnienia, temperatury i zasolenia;
10. Narządy zmysłów są dobrze wykształcone. W uchu wewnętrznym zwracają uwagę **trzy kamary półkolistę**;
11. W kresomózgowiu ryb pojawia się tzw. kora stara — prymitywny „wariant” istoty szarej, prawdopodobnie związany z czuciem węchu;
12. Są rozdzielnicopłciowe — zasadniczo z zapłodnieniem zewnętrznym.

Pytania i polecenia kontrolne:

1. Schemat przedstawia żarłacza błękitnego. Narysuj podobny i podpisz elementy jego budowy oznaczone znakami zapytania.
2. Jakie rodzaje pletwy posiadają ryby? Omów ich lokalizację i funkcję.
3. Jak zbudowana jest i jaką funkcję pełni skóra ryb?
4. Schemat przedstawia krąg tułowiovy ryby. Narysuj podobny, a w miejscu oznaczone znakami zapytania wpisz odpowiednie nazwy. Jakiego typu kręgi posiadają ryby?
5. Omów budowę pasa barkowego ryby kostnoszkieletowej.
6. Jak zbudowany jest szkielet osiowy ryby?
7. Przedstaw schematycznie budowę skrzela ryby.
8. Jaką rolę w wymianie gazowej pełni u ryb wieczko skrzelowe? Omów mechanizm jego działania.
9. Omów mechanizm osmoregulacji u ryb morskich, a następnie słodkowodnych.
10. Omów zjawiska związane z rozrodem u ryb.
11. Jakie jest znaczenie ryb w gospodarce człowieka?
12. Jak zbudowana jest i jaką funkcję pełni linia naboczna u ryb?
13. Jakie cechy budowy i fizjologii ryby są przystosowaniem do życia w wodzie?
14. Wykaż adaptacje ryb do spożywania różnych typów pokarmu.
15. Porównaj gospodarke wodno-mineralną ryb morskich i słodkowodnych.
16. Podaj po jednym przykładzie ryby katadromicznej i anadromicznej. Omów wędrówki ryb na wybranych przykładach.
17. Dlaczego rekin atakuja z małą prędkością?
18. Jak przebiegała ewolucja narządu powietrznego u ryb?
19. Jaki związek z brakiem pecherza pławowego ma tryb życia spodusuistych?
20. Spróbuj samodzielnie wykonać schemat układu krążenia ryby w trakcie boczny (mniej więcej) tak, jak przedstawiono to u lancetnika). Zaznacz kierunki przepływu krwi.



21. Wjście kregowców na ląd

WYJŚCIE KREGOWCÓW NA LĄD NASTĄPIŁO NAJPRAWDOPODOBNIEJ W DEWONIE

To „historyczne” i ważne wydarzenie nie było zjawiskiem, lecz długotrwałym procesem i oznaczało zasadniczą zmianę warunków bytowania. Jeśli ten „szturm” miał się powieść, to zwierzęta te musiały rozwiązać następujące problemy (poniżej wymieniono tylko podstawowe):

1. Oddychanie tlenem zawartym w powietrzu — w tym momencie skrzela są nieprzydatne, a ich delikatna, blaszkowata budowa powoduje, że na powietrzu wysychają i zlepiają się. Rozwiązanie: powierzchnia oddechowa „schowana” we wnętrzu ciała i niezależna od gravitacji — stąd **plucodyszność**;
2. Poruszanie się w warunkach lądowych oznacza pełne podleganie sile gravitacji (to zupełna nowość dla kregowców). Rozwiązanie: wytworzenie systemu lokomocyjnego pozwalającego na wydajne zmniejszenie oporów związanych z tarciem. Konieczne stało się umieszczenie korpusu ponad podłożem i popychanie go do przodu — stąd **czworonożność**;
3. Przeżywanie na lądzie oznacza zekniczenie się z problemem deficytu wody, wynikającego z jej utraty przez powłoki ciała i z powierzchni oddechowych. Rozwiązanie: ograniczenie strat przez utworzenie nieprzenikliwej warstwy izolacyjnej — stąd pokrycie ciała naskórkami rogowaciejącym oraz ukrycie powierzchni oddechowych we wnętrzu tułowia. Dodajmy jednak, że pierwsze rozciąganie u płazów ma charakter połowiczny;
4. Rozród — migracja i w ogóle życie nieosiągniętych gamet w warunkach lądowych nie są możliwe, podobnie jak rozwój zarodkowy. Rozwiązanie tego problemu u **płazów w ogóle nie nastąpiło** — ich procesy rozrodcze pozostają w bardzo silnym związku z wodą.

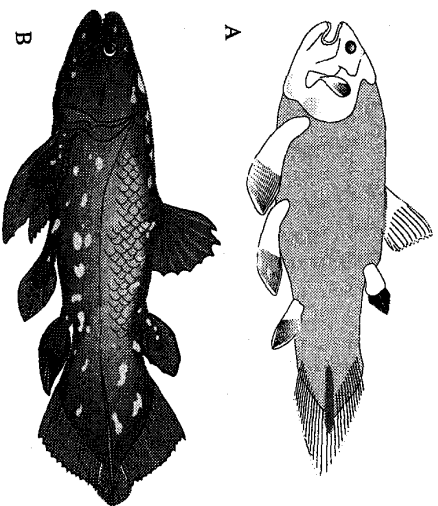
UWAGA: 1. Zwróć uwagę na identyczność problemów, z którymi zetknęły się stawonogi lądowe (por. ROZDZ. 11 i 12).

2. Zapewne wiesz, że kregowce „wprawadzały” kolejne usprawnienia stopniowo. Mam więc nadzieję, że zauważasz tu pewne procesy ewolucyjne.

GRUPĄ WYJŚCIOWĄ DLA KREGOWCÓW LĄDOWYCH BYŁY RYBY TRZONOPLETWE

Współcześnie uważa się, że właśnie w obrębie tej grupy pojawiły się rozwiązania biologiczne pozwalające bytować w lądowych strzałach przybrzeżnych. Początkowo była to tylko odpowiednia budowa płetw oraz narządów oddechowych. Przykładem takich ryb był *Eusθενopteron*, który żył w dewonie obok pierwszych płazów (o nich trochę później).

W obrębie trzonopletowych zarysował się podział na dwie linie rozwojowe: *Actinistia* i *Rhipidistia*. Te pierwsze zamieszkiwały głębsze wody i rozwijały klasyczne (czytaj: wodne) przyrostowania. Potomkiem tej linii rozwojowej jest słynna *Latimeria chalumnae* żywa skamieniałość będąca ostatnim przedstawicielem trzonopletowych. Grupa ta swój rozkwit osiągnęła w paleozoiku i niemal całkowicie wyginęła w środkowym mezozoiku. Do 1938 r. badacze byli przekonani, że trzonopletowe to grupa kopalna, dlatego wyłowienie u wschodnich wybrzeży Afryki z głębokości 400 m pierwszego egzemplarza latimeri wywołało niesamowitą sensację. Gaiunek ten nie reprezentuje jednak linii wodzącej do płazów — jego nieparzysty narząd powietrzny jest całkowicie przerosnięty tkanką tłuszczową. Ryba ta jest drapieżnym, żyworodnym wchowcem o małym mózgu mimo, że osiąga ok. 1,7 m długości i do 80 kg masy (por. Ryc. 123).



Ryc. 123.
Latimeria chalumnae — pokrój ciała umiłowany komputerowo przez ucznia (A) oraz wygląd rzeczywisty (B). Zwróć uwagę na kształt płetw parzystych. Przypominam jednocześnie, że nie jest to żadne ogniwo pośrednie!

Rhipidistia — druga z linii rozwojowych — żyły w strzałach przybrzeżnych w klimacie ciepłym i wilgotnym. Konstrukcja płetw (por. Ryc. 124 A) pozwalała im na dość swobodne ich zginanie w miejscu połączeń stawowych kości ramieniowej. Takie rozwiązanie umożliwiało unoszenie ciała i przenoszenie go do przodu dość płynnymi ruchami. Zwraca uwagę fakt, że silniejsza była płetwa piersiowa (można powiedzieć, iż „napierw był napęd przedni”, co widać także w proporcjach i roli kończyn i pierwszych płazów). Obecność nozdrzy wewnętrznych i układowego narządu powietrznego pozwalała tym rybom dość sprawnie oddychać powietrzem atmosferycznym. W tej grupie widoczne jest także nieznaczne, grzbietobrzusze spłaszczenie ciała (zwiększanie równowagi na lądzie). Cechy te pozwalały tym drapieżnikom polować w dzień na mniejsze ryby w wodach przybrzeżnych, a w nocy, gdy powietrze jest bardziej wilgotne, wychodzić na podmokły brzeg. W ten sposób ryby te mogły chronić się przed innymi drapieżnikami.

Według niektórych biologów chodziło o zdobywanie pokarmu na lądzie. Kłopot w tym, że w dewonie nie było jeszcze prawie niczego, co można byłoby na lądzie zjeść. Np. owady pojawiły się dopiero w sylurze. Być może jednak dobór naturalny preferował osobniki zdolne do polowań na małe ryby uwiecznione w katyżach powstających w czasie odpływu — w ten sposób mogłaby powstać grupa zwierząt wodno-lądowych, zdolnych (w wilgotnym i ciepłym klimacie) do życia na skrajnie dwóch różnych środowisk.

Zdolność ryb do poruszania się po lądzie nie jest unikalną cechą trzonopletowych. Wśród współczesnych ryb to rzadkość, ale np. podkoczek — ryba z rodziny babkowatych, zamieszkujący przybrzeżne wody Jawy — potrafi zamykać szczelnie jamę skrzelową i przy pomocy długich płetw piersiowych polować w strefie odpływów. Podkoczek nie jest co prawda wyściogowcem, ale przestraszony „biegnie” z prędkością myszy!

Przypominam, że według niektórych paleontologów trzonopletowe, dwudysne i meandrowce miały wspólnych przodków. Jeśli tak było, to należałoby zrewidować nasze poglądy na rolę trzonopletowych w ewolucji czworonogów. Na razie jednak musimy poczekać na dalsze odkrycia w tej dziedzinie.

Wniosek: przodków pierwszych płazów meandrowych prawdopodobnie należy szukać wśród przedstawicieli *Rhipidistia*.

Świadczą o tym podobieństwa w budowie, co jeszcze nie oznacza, że grupy te były identyczne. Tak więc w szkielecie osiowym:

A) **czaszka** — wykazuje dość silne cechy progresywne. Ryby z grupy *Rhipidistia* miały dobrane skostniałą puszkę mózgową, w skład której weszły liczne skostnienia skórne (por. czaszka ryb kosmoszkietelowych), np. od przodu kość klinowo-słowa, u dołu wykształciła się kość podstawowa, w której od strony przodu powstało zagłębienie — tzw. siódło tureckie. Jest ono charakterystycznym dla wszystkich czworonogów miejscem, gdzie leży przysadka mózgowa. Z boków mózgowie osłaniały skostnienia kości słuchowych (dodatkowo także błędnik ucha wewnętrzznego). Od tyłu występowały oczyszczki kości potyliczne (o częściowo skórnym pochodzeniu). Na ich powierzchni był **jeden kłykiec potyliczny**. Sytuacja taka występowała także u meandrowców i kotylozaurów — popatrz na drzewo rodowe kręgowców i zastanów się, czy ma to jakies znaczenie?

U podstawy mózgooczaszki znajdował się kanał (sięgał u tych ryb aż do okolicy oczodołowej), w który wchodziła „jak trzonek w topań” struna grzbietowa. Ciekawe, że tego rodzaju prymitywne „rozwiązanie” pojawiło się jedynie u trzonopletwowych i meandrowców (inne kręgowce, nawet jeśli mają strunę grzbietową, to nie wchodzi ona w głąb czaszki).

W trzewioczaszce także występowały podobieństwa (por. Ryc. 108 D i E). U trzonopletwowych i meandrowców w masywnej szczecie górnej, z tylnej części chrząstki podniebieno-kwadratowej, wykształciła się **kość kwadratowa**. Z kolei tylna część zuchwy utworzyła **kość stawowa**. W miejscu zetknięcia się kości kwadratowej i stawowej powstał **staw zuchwowy** — charakterystyczny dla niemal wszystkich zuchwoców (wyjątkiem są ssaki por. ROZDZ. 27). Jeśli dokończysz do tego dość liczne i podobne skostnienia skórne w obu szczękach, to otrzymasz archetyp czaszki kręgowca lądowego.

Przejsięcie do meandrowców wymagało tu jedynie (!?) przyrośnięcia elementów podniebienia do mózgooczaszki. Przypominam, że nazywa to się **autostylią** i jest charakterystyczne dla czworonogów oraz trzonopletwowych. Ponadto u płodów czworonogów w kości skroniowej tworzy się od wewnątrz zagłębienie — tzw. jama bebenkowa. W ten sposób powstaje **ucho środkowe**, do którego wchodzi, tracąca swe pierwotne znaczenie, kośćka gnykowo-zuchwowa (z górnego ramienia II-go łuku skrzelowego!) i tworzy tam pierwszą kostkę słuchową — **strzemiączko**. Zmiana ta umożliwiła pierwszym czworonogom poprawę odbioru fal akustycznych w rzadkim ośrodku (por. ROZDZ. 22).

Wniosek: czaszki pierwotnych płazów silnie nawiązują do ich rybich przodków.

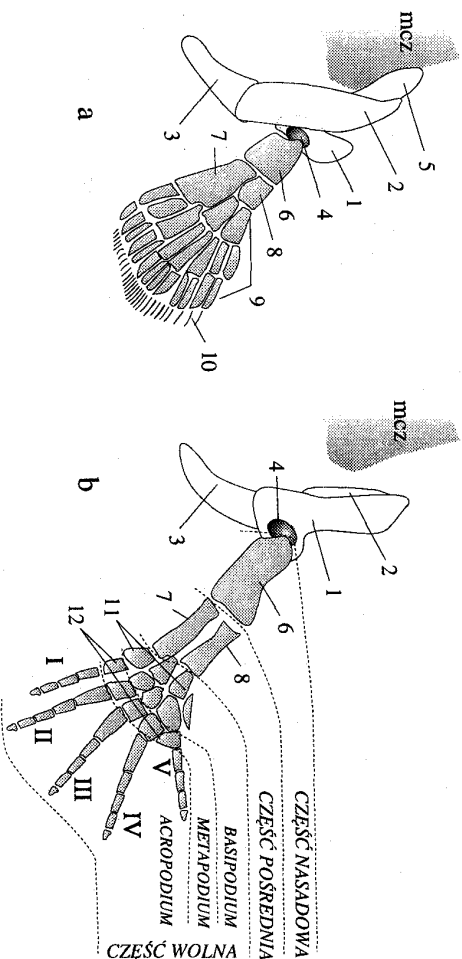
B) **Kregosłup** — u czworonogów musi umożliwić wzrost ciężaru ciała (już choćby dlatego, że na lądzie brak siły wyporu wody!). W związku ze zmianą środowiska życia nastąpiło skomplikowanie funkcji kregosłupa:

- dźwiganie tułowia;
- unoszenie i obracanie głowy;
- umożliwienie bardziej złożonych niż u ryb form ruchu.

Zarówno u *Rhipidistia*, jak i **meandrowców** istotnym składnikiem szkieletu osiowego była struna grzbietowa. Dopiero na niej zakładały się zaczątki trzonów kręgowych z dobrze wyszczelnionymi masywnymi łukami nerwowymi i naczyniowymi. Szczególnie te pierwsze zrastały się w wyrostki koleziste i układały dachówkowo jeden za drugim (por. Ryc. 124 B). Rozwiązanie to zapobiegało tukowatemu wyginaniu się korpusu w dół podczas unoszenia ciała ponad podłoże (przyemsił to, patrząc na jamnika). Jednocześnie u meandrowców funkcjonowała w pełni wykształcona plełwa ogonowa.

W szkielecie pasów:

A) **barkowy** — u *Rhipidistia* w obręczy barkowej znajdujemy klasyczne elementy rybie (por. Ryc. 124 A). Przejsięcie do meandrowców oznaczało redukcję połączenia obręczy z mózgooczaszką i rozbudowę topaki, a co za tym idzie powiększenie i wzmocnienie stawu barkowego (por. Ryc. 124 B).



Ryc. 124 A. Model pasa barkowego trzonopletwowych (a) i meandrowców (b). Rycina uwzględnia schematycznie przejsięcie od płetwy „stawowej” trzonopletwowych do kończyny wolnej meandrowców jako redukcję planu budowy kończyny pięciopalczastej (1 — topakta, 2 — k. skoblowa, 3 — obojczyk, 4 — panewka stawu barkowego, 5 — k. nadskoblowa, 6 — k. ramieniowa, 7 — k. promieniowa, 8 — k. łokciowa, 9 — niezróżnicowane koki dłoni, 10 — promienie płetwy, 11 — kości nadgarstka, 12 — kości śródreżca; 1 do V — palce; mcz — mózgooczaszka). Pozostałe opisy w tekście.

Kończyny, jak widać na Ryc. 124 A i B, były u meandrowców pięciopalczaste i szeroko rozstawione na boki, co dostatec można także u kotylozaurów i płazów współczesnych. Podstawą sprawą było jednak wytworzenie **dźwigni wielozawiasowej** w miejsce jednozawiasowej (takiej jak w plełwach parzyśtych), stąd u wszystkich czworonogów kończyna wolna (*Chetopterygium*) ma następujące odcinki:

- **nasadowy** — w kończynie przedniej jest to ramię z kością ramieniową. W kończynie tylnej to udo z kością udową;
- **pośredni** — odpowiednio przedramię (z kośćmi: łokciową i promieniową) oraz podudzie (z kośćmi: piszczelową i strzałkową);
- **wolny** (zewnątrzny) — zasadniczo dolegający do podłoża i składający się z:
 - **basypodium** — odpowiednio: nadgarstka albo stępu;
 - **metapodium** — odpowiednio: śródreżca (kości śródreżca I—V) albo śródstopia (kości śródstopia I—V);
 - **acropodium** — odpowiednich członów palców I—V.

UWAGA: U wszystkich czworonogów liczne modyfikacje sprawozadają się jedynie do przebudowy wariantu podstawowego (redukcji pewnych elementów, rozrostu innych). Natomiast nigdy nie doszło do wytworzenia zupełnie nowych części.

Wniosek: można zaryzykować stwierdzenie, że prawdopodobnie *ichthyoterygum* i *cheiroterygum* są narzędziami homologicznymi.

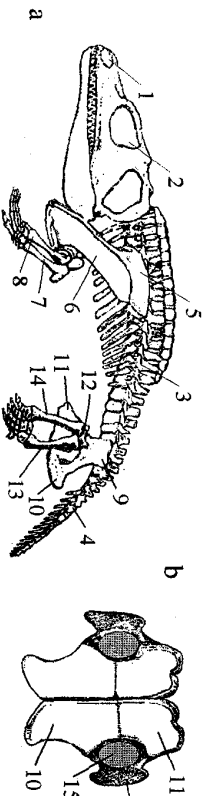
Zwróć jednak uwagę, że przedstawiona powyżej analiza dotyczy tylko płetw ryb tzn. noplewtych i kończyn wolnych. Kłopot w tym, że płetwy parzyste współczesnych ryb chrzęstoskórych i kościomych oraz kopalnych trzonoplewtych pochodzą od płetw prymitywnych ryb dewońskich (por. teoria faldów boczných). W takim układzie wszystkie płetwy parzyste ryb małyby wspólnego „przodka”. Oczywiście zasadniczym elementem płetwy ryby współczesnej są promienie, a nie stawowo zestawione kości. W tym znaczeniu płetwa ryby współczesnej nie jest homologiczna z kończyną wolną czworonogów.

B) miednicowy:

Obwód miednicowy meandrowców odsunięta jest, w porównaniu z rybami, do tyłu i tworzona już przez trzy masywne płyty kostne. U zbiegu tych skosnień powstaje panewka stawu biodrowego, w którą wchodzi głowa kości udowej (por. Ryc. 124 B i 128). Wspomniane kości to:

- **łonowa** — do przodu od stawu biodrowego;
- **biodrowa** — w bok od stawu biodrowego;
- **kulszowa** — do tyłu od stawu biodrowego.

Obwód miednicowy zrasiała się z krótkimi żebrami pojedynczego kręgu krzyżowego. Oznaczało to wzmocnienie obręczy tylnej oraz komplikację budowy i funkcji kręgosłupa. Rozwiązanie tego rodzaju okazało się tak doskonałe, że u wszystkich czworonogów miednica zbudowana jest zawsze z takich samych kości. Różnice polegają w zasadzie tylko na ich odmiennym ukształtowaniu i ułożeniu.



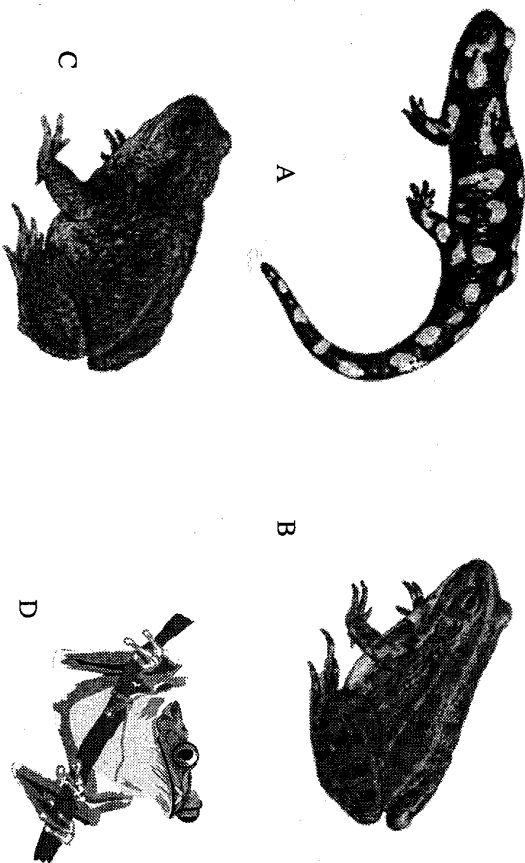
Ryc. 124 B. Kopalny płaz meandrowy *Cacops* (a) i jego miednica widziana z dołu (b) 1 — otwór węchowy, 2 — oczodoł, 3 — kręgi tylniowe, 4 — kręgi ogonowy, 5 — k. skoblowa, 6 — łopatką, 7 — k. łokciowa, 8 — k. promieniowa, 9 — k. biodrowa, 10 — k. kulszowa, 11 — k. łonowa, 12 — k. udowa, 13 — k. strzałkowa, 14 — k. piszczelowa, 15 — staw biodrowy). Zwróć też uwagę na „ciężki” szkielet.

Podobieństwa trzonoplewtych i meandrowców obejmowały także układ oddechowy i pokrycie ciała. **Narząd powietrzny** pojawił się już u niektórych ryb dewońskich (por. wyżej). U trzonoplewtych pracowały oba systemy oddechowe: płuca i tukowate skrzela. **Ichtyostega** posiadała już tylko płuca, ale śladem występowania skrzeli było **szczątkowe wieczko skrzelowe**. Poza tym najstarsze meandrowce miały jeszcze pletwę ogonową oraz łuski. W grupie tej zaznaczała się jednak tendencja do redukcji pancerza łuskowego (poczynając od grzbietu jak u *Ichty-*

ostegi). Uwolniona od nich skóra mogła dodatkowo przejmować funkcję oddechową. Niejako podobnie, utracie łusek towarzyszyło przekształcenie części jednokomórkowych gruczołów służących typu rybiego w **gruczoły wielkomórkowe**, pęcherzykowe. Przypominam, że wielkomórkowe gruczoły skórne są charakterystyczne tylko dla czworonogów.

Obfita produkcja śluzu rozwiązywała już u meandrowców ważne problemy, m.in. wysychania powierzchni ciała. Śluz działał także antyseptycznie.

Ponadto u trzonoplewtych pojawiły się **nozdrza wewnętrzne** (choany), umożliwiające wentylację płuc przy zamkniętym otworze gębowym. Problemem jednak pozostanie, czy ryby te mogły zamykać nozdrza zewnętrzne i odciinek kraniowy, tak jak potrafią to współczesne płazy (por. ROZDZ. 22). Meandrowce jako jedyne kręgowce czworonogie posiadały jeszcze w pełni wyształcone narządy linii nabocznej (nad otworem gębowym). Jednak i u nich musiały nastąpić zmiany w organizacji receptorów, przystosowujące je do środowiska lądowego (np. prawdopodobnie miały ruchome powieki i być może już spłaszczone soczewki w oczach).



Ryc. 125. Sylwetki płazów współczesnych: A — salamandra planistia, B — żaba wodna, C — ropucha szara, D — tropikalna żabka drzewna (A, B, C — gatunki krajowe).

Podsumowując można stwierdzić, że

W DEWONIE POJAWIŁY SIĘ KRĘGOWCE O WODNO-LĄDOWEJ STRATEGII ŻYCIOWEJ

Współczesne płazy są grupą kręgowców liczącą niespełna 2,5 tysiąca gatunków. Całą grupę można podzielić na dwie duże podgrupy (por. Ryc. 125 i 126):

1. *Apsidospondyli* — należy tu trzon całej gromady, stanowią go zaś znane Ci już meandrowce (*Labyrinthodontia*, tylko kopalne, gdyż wymarły w trzaskie). Przedstawiciele tej grupy to np. dewońska *Ichtyostega* i nieco młodszy od niej *Cacops* (por. Ryc. 124 B). Ten pierwszy gatunek należał do najprymitywniejszych płazów i uważa się, że był formą blisko spokrewnioną z rybami trzonoplewty. Do meandrowców należała także *Seymouria baylorensi* — prawdo-

podobne ogniwo pośrednie pomiędzy płazami a gadami (por. ROZDZ. 23). Z *Apsidospondylii* wyodrębniły się:

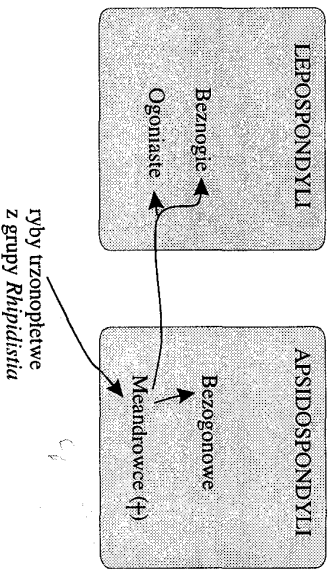
Płazy bezogonowe (rząd *Anura*) znane od górnej jury do dzisiaj, np. **żaby**, **ropuchy** (por. Ryc. 125), **rzekotki** czy **kunaki**.

Nazwa *Apsidospondylii* oznacza, że trzony kręgów u tych zwierząt zawierają się jako chrzęstne opaski wokół struny grzbietowej. W dość podobny sposób powstają także trzony kręgów u owodniowców!

2. *Lepospondylii* — w Karbonie od głównego pnia rozwojowego oddzieliły się płazy, których kręgosłup powstaje bezpośrednio z tzw. otoczki perichordalnej okalającej strunę grzbietową (z pominięciem stadium chrzęstnego). Grupa ta współcześnie reprezentowana jest przez rzędy:

Ogoniaste: *Urodela* (*Caudata*), znane od kredy, np. **traszki** (trytony), **salamandry** (por. Ryc. 125);

Bezogonie: (*Apoda*, w Polsce nie reprezentowane).



Ryc. 126. Uproszczona systematyka płazów.

Na koniec przypominaam prawdopodobny szereg ewolucyjny prowadzący do płazów:

ryby dewońskie → **ryby trzonopłetwe** → **meandrowce**.

Pytania i polecenia kontrolne:

1. Jaki problem musiał rozwiązać płazy w związku z wyjściem na ląd?
 2. Dlaczego ryby trzonopłetwe uważamy za grupę wyjściową kręgowców lądowych?
 3. Wskaż podobieństwa w budowie czaszki pierwotnych płazów i ich rybich przodków
 4. Jaki znaczenie dla życia w środowisku lądowym ma pojawienie się w uchu środkowym strzemiączka?
 5. Jakich zmian w budowie szkieletu wymagało wyjście kręgowców na ląd?
 6. Jak przebiegała ewolucja narządów wymiany gazowej w związku z wyjściem kręgowców na ląd?
 7. Wskaż podobieństwa w budowie *Rhipidistia* i meandrowców.
- *8. W ramach ćwiczeń narysuj samodzielnie dwa schematy kończyny wolnej — oznacz kości zakładając, że pierwszy to kończyna przednia, drugi, że tylna.

22. Charakterystyka płazów

Gromada: **Płazy** (*Amphibia*)

nauka: **herpetologia**

AMPHIBIA OZNACZA ORGANIZMY DWUSRODOWISKOWE

Prawdopodobnie każdy wie, że praktycznie oznacza to zwierzęta wodno-lądowe (od gr. *amphio* — oba, *bios* — życie albo *amphibios* — prowadzący podwójne życie).

Budowa morfologiczna

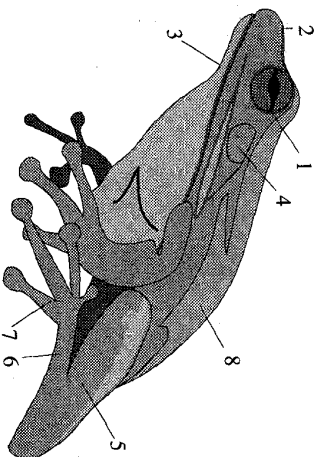
W CIELE PŁAZÓW MOŻNA WYRÓŻNIĆ KILKA ODCINKÓW

Zalicza się do nich głowę, tułów i ogon (u bezogonowych tego ostatniego brak). Zwróć także uwagę, że płazy nie mają szyi. Parzyście kończyny posiadają wszystkie gałki z wyjątkiem beznogich. W przeciwieństwie do meandrowców u płazów współczesnych do „głosu doszedł tylny napęd”. Ich tylnie odnóża są mocniej rozwinięte (szczególnie u bezogonowych). Przypominam, że w kończynach wolnych typu lądowego można wskazać następujące odcinki (por. też Ryc. 127):

ramię	udo
przedramię	podudzie
nadgarstek	stępek
śródręcze	śródstopie
palce dłoni	palce stopy

Pokrycie ciała

Skórę płazów pokrywa cienki naskórek o niewielkim stopniu zrogowacenia. Jak już wiesz, w silnie ukrwionej skórze właściwej występują liczne **wielokomórkowe gruczoły** pecherzykowe. Ich śluzowata wydzielina chroni ciało zwierzęcia przed wysychaniem, a pońadko umożliwia intensywną wymianę gazową. Część gruczołów ma charakter surowiczy i wydalala substancje trujące (jady). Większość płazów ma ich na tyle mało, że nie stanowią zagrożenia dla człowieka. Jednak mniejsze zwierzęta żywiące się płazami muszą uważać, np. ropuchy produkują bufoninę i bufotalinę działającą na serce (podobnie jak roślinne glikozydy, takie jak digitalina). Dawka bufoniny większa niż 1 mg na 1 kg masy ciała dla większości drapieżników jest śmiertelna.



Ryc. 127.

Budowa morfologiczna płaza bezogonowego na przykładzie rzekotki (1 — oko z ruchomymi powiekami, 2 — nozdrza zewnętrzne, 3 — dno jamy gębowej, 4 — rezonator, 5 — udo, 6 — podudzie, 7 — stopa, 8 — tułów).

Poza gruczołami w skórze właściwej znajdują się liczne komórki barwnikowe, np. melano-

nofory z melaniną, dekretnujące barwy brunatne (ciemne) czy lipofony, zawierające żółte lub czerwone barwniki typu ksantofilowego. Stąd np. żółto-czarne barwy salamandry płamistej. Ubarwienie płazów może mieć znaczenie ochronne (tak jest u żab) lub ostrzegawcze.

Kuski odziedziczone po rybach przodkach, które występowały jeszcze u meandrowców, zanikają. Wyjątek stanowi część płazów beznogich, ale i u nich są to jedynie drobniutkie twory łącznotkankowe, mineralizowane węglanem wapnia.

Szkielet

1. Osiowy — składa się nań:

A) czaszka — twór ten powstaje tak jak u ryb, z połączenia trzewio- i mózgowczonej (por. Ryc. 128). Postępem w porównaniu z rybami jest wspomniana już autostylia, powstająca w wyniku zrastania się szczęki górnej z puszką mózgową. Podstawowym elementem budulcowym szczęki dolnej jest kość zębowa, pokrywająca chrząstkę Meckela. Od strony stawu zuchwowego zuchwa nie kostnieje — występuje tam chrząstka stawowa i to ona współtworzy zawieszanie zuchwy (poprzez kość kwadratową przypończoną do mózgowczonej). Dzieje się tak, ponieważ górna część kości gnykowo-zuchwowej przeszła do jamy ucha środkowego, gdzie utworzyła pierwszą kostkę słuchową — **strzeniączko** (*stapes*). Rozwiązanie to umożliwiło lepsze słyszenie w warunkach środowiska lądowego. Jak już wspomniano, w porównaniu z wodą powietrze jest bardzo rzadkim ośrodkiem — stąd energia dźwięku fal akustycznych jest w nim mniejsza. Z kolei kostka ucha środkowego łatwo wpada w drgania i przenosi je na błonę ucha wewnętrznego. Zwierzę może więc odbierać słabsze sygnały w szerszym zakresie częstotliwości i z większej odległości.

U współczesnych płazów bezogonowych czaszka stała się lekka. Jest to możliwe, ponieważ nastąpiła redukcja liczby elementów budulcowych, a te które pozostają, są delikatniejsze. Jednocześnie spłaszczenie grzbietowo-brzusznego czaszki, duże oczodoły mają mózgowczonej doprowadziły do powstania konstrukcji określanej jako **azurowa** (por. Ryc. 128).

Dodajmy, że (poza bezogonowymi) w szczękach płazów występują dość liczne stożkowate zęby. Uzębienie jest niezróżnicowane, co nazywamy homodontyzmem. Kości potyliczne posiadają u płazów (współczesnych) dwa wyrostki — **kłykiec potyliczny**, dzięki czemu czaszka może ruchomo zestawiać się z kręgosłupem (por. niżej):

B) Kręgosłup

W porównaniu z rybami zaszyły tu poważne zmiany — **zwiększyła się** liczba odcinków, a kręgi uległy pewnemu zróżnicowaniu. Liczba kręgów waha się od ok. 100 u przedstawicieli rodzaju *Ampihiuma* do 10 u płazów bezogonowych.

Odcinki kręgosłupa na przykładzie żaby:

a) **szczylny** — reprezentowany jest przez pojedynczy kręg, który nazwano **dźwignaczem** (atlasem). Ma on dwie powierzchnie stawowe, które zestawiają się z kłykcami potylicznymi. Dzięki temu płazy mogą wykonywać ruchy głową w górę i w dół (trywializując, żaba nigdy nie powie nie, nawet gdyby miała skoczyć z mostu);

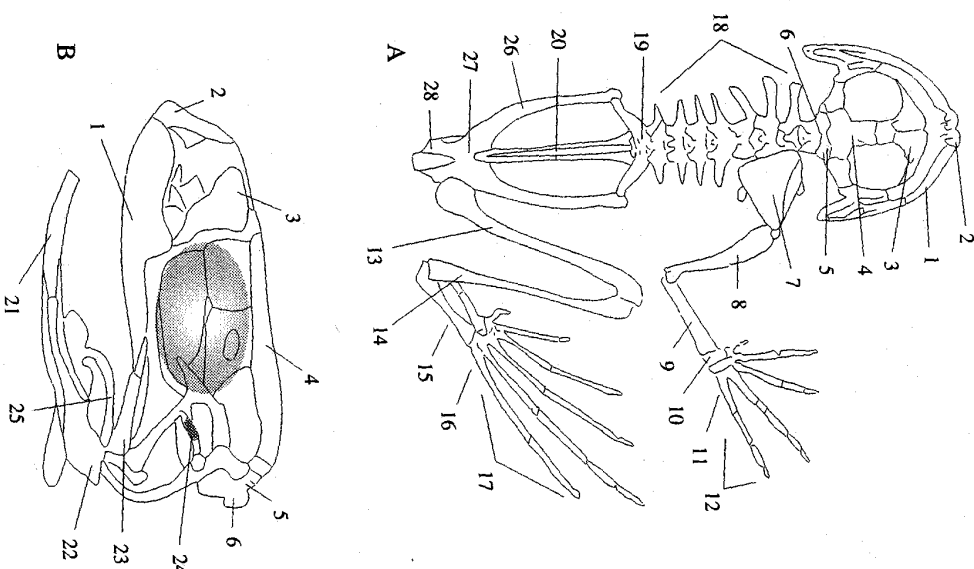
b) **tułowioy** (przedkrzyżowy) — zwykle występuje w nim tylko 7 (rzadko 8 albo 6) kręgów o dobrze wyszczelnionych trzonach. Skrócenie tego odcinka u bezogonowych ma związek ze skróceniem tułowia i skaczącym trybem życia. Wyrostki poprzeczne kręgów zrastają się tu niuruchomo ze zmniejszonymi, uwstecznionymi żebrami, stąd na niektórych rycinach wskazuje się żebra. Praktycznie można powiedzieć, że żebra u płazów, jeśli są, to bardzo krótkie i nigdy nie sięgają do mostka, dlatego u tych zwierząt nie można mówić o istnieniu klatki piersiowej;

c) **krzyżowy** — tworzy go **pojedynczy kręg krzyżowy**, z którym łączą się wydłużone kości biodrowe;

d) **ogonowy** — tworzy go kość ogonowa (*urostyl*), która powstała przez zlanie się kręgów ogonowych. Od tyłu uroszył łączy się z obręczą miednicową.

UWAGA: 1. U części płazów, szczególnie tych prymitywniejszych, pomiędzy kręgami lub w kanale centralnym trzonów zachowuje się struna grzbietowa.

2. Łuki skrzelowe — u larw płazów łuki (III-VI) są rozwinięte. U dorosłych zasadniczo zanikają i ich reszki tworzą szkielet odcinka kraniowego (por. Ryc. 108 E).
3. Najprawdopodobniej dźwignacz płazów nie jest homologiczny z dźwignaczem owodniowców.



Ryc. 128.

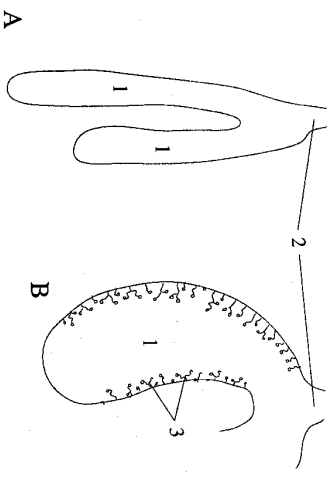
Szkielet żaby: widok ogólny (A) i czaszka (B) (1 — k. szczękowa, 2 — k. przedszczękowa, 3 — k. nosowa, 4 — k. czołowo-ciemieniowa, 5 — k. potyliczna, 6 — kłykiec potyliczny, 7 — łopaka, 8 — k. ramieniowa, 9 — k. przedramiennowa, 10 — nadgarstek, 11 — śródreżce, 12 — kości palców, 13 — k. adłowa, 14 — k. podadłowa, 15 — ściep, 16 — śródstopie, 17 — kości kręgu krzyżowego, 20 — uroszył, 21 — k. kwadratowo-jurzmowa, 24 — strzeniączko, 25 — chrząstka gnykowa, 26 — k. biodrowa, 27 — k. łonowa, 28 — k. kulszowa; w części B oczodoły zostały zaciemnionymi).

Układ mięśniowy**MIEŚNIE PŁAZÓW (SZCZEGÓLNIIE OGONIASTYCH) WYKAZUJĄ JESZCZE WIELE CECH PIĘRWOTNYCH**

Dla nas najistotniejsze jest tylko to, że w odcinku tułowiowym zachowuje się wyraźna segmentacja mięśni. Zmianą o charakterze posępowym jest natomiast siła muskulatura kończyn u bezogonowych, co ma związek z rodzajem lokomocji.

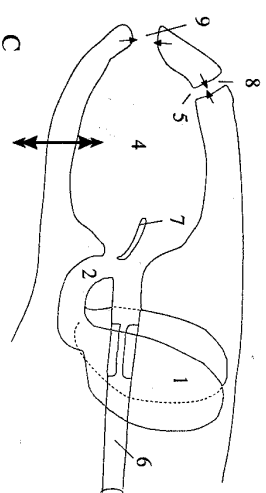
Układ oddechowy**PŁAZY SĄ ZASADNICZO ZWIĘZTAMI PEUCODYSZYNNYMI**

Jak już wcześniej wspomniano, ta grupa zwierząt jako pierwsza spośród kręgowców opuściła środowisko wodne — wymagało to zmiany systemu oddechowego. Te biologiczną rewolucję zapoczątkowało pojawienie się narządu powierzchni płuc: Generalnie **płuca** płazów są parzystymi, cienkościennymi workami (por. Ryc. 129 A). U prymitywniejszych gatunków może dochodzić do całkowitej redukcji wewnętrznego systemu oddechowego. Taka sytuacja występuje u niektórych egzotycznych płazów ogoniastych (nie musisz ich znać). U płazów beznogich funkcjonuje tylko jedno płuco (drugie jest szczątkowe). Ogólnie rzecz biorąc powierzchnia czynna w takich płucach jest niewielka i dość słabo pokrywa zapotrzebowanie tlenowe ustroju.



Ryc. 129.

System oddechowy płazów: płuca prymitywnego płaza ogoniastego (A), płuca żaby (B) oraz schemat organizacji układu oddechowego (C) (1 — płuco, 2 — odcinek kraniowo-tchawiczy, 3 — przegrody pierwotne w płucu, 4 — jamna gębowa, 5 — nozdrza wewnętrzne, 6 — jelito, 7 — fałd kraniowy, 8 — nozdrza zewnętrzne, 9 — otwór gębowy; obustronna strzałka pokazuje podnoszenie i opuszczanie dna jamy gębowej; pozostatek zaś możliwość zamknięcia nozdrzy zewnętrznych i otworu gębowego).



Rozwiązanie tego problemu stało się możliwe w momencie, gdy przodkowo płazów utraciła łuski pokrywające ciało:

UWOLNIONA ODEŃSKOWEGO, A WCZEŚNIEJ KOSTNEGO, PANCERZA SKÓRA MOGŁA PRZEJĄĆ CEŚĆ FUNKCJI ODEDECHOWYCH

W ten sposób u tych zwierząt pojawiła się możliwość oddychania **powierzchnią ciała**, czyli przez skórę. Żeby sprawa była jeszcze bardziej skomplikowana, larwy płazów są skrzelowo-

dyshne. Świadczy to oczywiście o rybm pochodzeniu i „przywiązaniu” do środowiska wodnego. Większość kijanek ma trzy pary skrzeli zewnętrznych, które są pierwotnymi wyrostkami błony śluzowej. O rybm pochodzeniu płazów niech świadczy też fakt, że larwy mają zwykle tuki skrzelowe. U starszych larw skrzela zewnętrzne są obrastane fałdem skórnym i resorbowane. Jednocześnie na łukach skrzelowych wyrastają rozgałęzione wypustki. Są to nowe skrzela — tym razem, tzw. wewnętrzne (uważa się, że nie są homologiczne ze skrzelami rybi). Jednak i one zostają wchłonięte w czasie przeobrażenia. W przypadku płazów ogoniastych niekiedy skrzela zewnętrzne zachowują się przez całe życie — przykładem niech jest słynny **odmieniec jaskiniowy** (*Proteus anguinus*), prymitywny płaz zamieszkujący podziemne wody w grobach byłej Jugosławii. Przypomina trochę węgorza na krótkich nóżkach, jest jajoworodny i ma prawie bezbarwną skórę, a małe oczy ukryte są pod skórą. Gatunek ten jest reliktem i endemitem.

Jeśli podsumujemy informacje o systemach oddechowych płazów, to otrzymamy dość dziwną mieszankę:

1. Skrzelodyszne larwy.**2. Przeobrażone osobniki oddychające płucami i skórą lub skrzelami i skórą.**

Zaletą tych rozwiązań jest duża sprawność oddechowa w wodzie i w mikrośrodowiskach bezpośrednio z nią sąsiadujących. Jednak w warunkach lądowych płucom i skórze grozi niestanne wysychanie. Poza tym oddychanie przez skórę ogranicza rozmiary ciała (przemysł to!), wreszcie silnie ukrwiona powierzchnia ciała nie daje szansy utrzymania równowagi osmotycznej w środowisku hipertonicznym, dlatego płazy nigdy nie oparowały życia w wodach morskich.

Dodajmy jednak, że u grup płucodysznych stopen rozwoju płuc jest różny. Przykładowo u salamander są to wydłużone gładkie worki o niewielkiej powierzchni oddechowej (jest to charakterystyczne dla ogoniastych; por. Ryc. 129 A). Jeśli spojrzysz na sprawę z fizycznego punktu widzenia, dostrzeżesz, że mają one relatywnie bardzo dużą powierzchnię. Oznacza to przy danej objętości małą powierzchnię czynną. Upraszczając — co z tego, że w samym środku płuc znajduje się powietrze zasobne w tlen, jeśli nie dyfunduje ono do krwi. Wymiana gazów odbywa się zawsze tylko w bezpośrednim otoczeniu powierzchni oddechowych. Jedynie u płazów bezogonowych (szczególnie ropuch) zaznacza się tendencja do rozwoju powierzchni płuc (por. Ryc. 129 B). Jest to możliwe, ponieważ błona śluzowa płuc ulega potądowaniu (fałdy nazywane są **przegrodami pierwotnymi**). W ten sposób powstają boczne komory oddechowe, a ogólny stosunek powierzchni do objętości jest korzystniejszy. Inaczej mówiąc, u płazów bezogonowych zmniejsza się przestrzeń martwa płuc.

Konstrukcję i zasady działania takiego systemu oddechowego można przedstawić na przykładzie żaby (por. Ryc. 129 C). Oczywiście zacząć należy od prostych nozdrzy zewnętrznych, które zwierzę może zamknąć, prowadząc do przewodu nosowego. Ten ostatni otwiera się nozdrzami wewnętrznymi do jamy gębowej. Z niej, przez krótki odcinek kraniowo-tchawiczy, powietrze dostaje się do workowatych płuc.

WENTYLACJA PEUC ODBYWA SIĘ DZIĘKI RUCHOM DNA JAMY GĘBOWEJ

Jak już wiesz, płazy nie posiadają klatki piersiowej — skutkiem tego jest niemożność aktywnego zmieniania objętości płuc (porównaj to później z owodniowcami). Rozwiązanie, które pojawiło się między innymi u żaby jest interesujące, choć niezbyt skuteczne. Otóż płazy bezogonowe potrafią obniżać dno jamy gębowej przy zamkniętym otworze gębowym, ale przy otwartych nozdrzach zewnętrznych. Kilkakrotnie podniesienie i opuszczenie dna jamy gębowej powoduje „przewentrowanie” jamy gębowej. Wówczas żaba zamyka nozdrza zewnętrzne i otwiera krtani — w tej sytuacji podniesienie dna jamy gębowej wciąga świeże powietrze do płuc. Tym razem

kilkakrotne ruchy dna jamy gębowej wymieniają powietrze w płucach. Po chwili krtan zostaje ponownie zamknięta, zwierzę otwiera nozdrza zewnętrzne i podnosząc dno jamy gębowej, wypycha zużyte powietrze na zewnątrz. Można mówić, że zamkną się jeden cykl oddechowy (czasem: cykl hiperwentylacyjny).

Układ krążenia

System krążenia u wszystkich larw oraz przeobrażonych form trwałoskrzelnych bardzo mocno przypomina rozwiązania, które występują u ryb. Także tutaj zawija się 6 par tętnic naczyńowych aorty. U płazów płucodysznych pierwsze dwa zamknięte, zostają więc pary: 3—6 (por. Ryc. 136 D).

ODDYCHANIE PŁUCNE WYMAGAŁO WYODREBNIENIA SIĘ MAŁEGO KRWIOBIEGU

W ten sposób dokonała się istotna zmiana o charakterze **aromorfozy** — nastąpiło **rozdzielenie krwioobiegu na mały (krążenie płucne, mały zbiornik) i duży (krążenie wielkie, duży zbiornik)**. Analiza tego problemu została przedstawiona poniżej (por. też Ryc. 130 C).

Dla naszych rozważań kluczowe są pary tętnic: 6 i 4. Wyobraź sobie, że 6-tą parę tętnic oddzielasz od głównego pnia tętniczego (por. Ryc. 130 D). W ten sposób tworzą się dwie tętnice płucne prowadzące krew do płuc. Jednak początkowy odcinek tętnicy, wychodzący z komory, nadal nazywany jest **stożkiem tętniczym** (por. część A i B rycin). Wracająca z płuc utlenowana krew prowadzona jest żyłami płucnymi. Uchodzą one do lewej strefy części przedstonkowej. W związku z tym nastąpił **podział przedstonka na dwa: lewy i prawy** (por. Ryc. 130 B).

System zastawek stożka tętniczego dzieli krew wypływającą z serca na tę, która wchodzi do małego obiegu (do tętnic płucnych) i tę, która wchodzi do głównego pnia tętniczego. Tym ostatnim krew przepływa do 4-ej pary tętnic naczyńowych i dalej na duży obieg (por. Ryc. 130 A i D). Do przodu, w kierunku głowy, odchodzą tętnice głowe (ogólnie: szyjne), będące pozostałością po III-ciej parze tętnic skrzeliowych. Z kolei wygięte do tyłu ramiona IV-tej pary tętnic naczyńowych zbiegają się w aortę grzbietową (porównaj to z rybami!). Pozostaje problem V-tej pary — ołówki te mają tendencję do zanikania. U płazów bezogonowych wręcz ulegają uwstecznieniu, dlatego nie ma ich w częściach A i B omawianej ryciny.

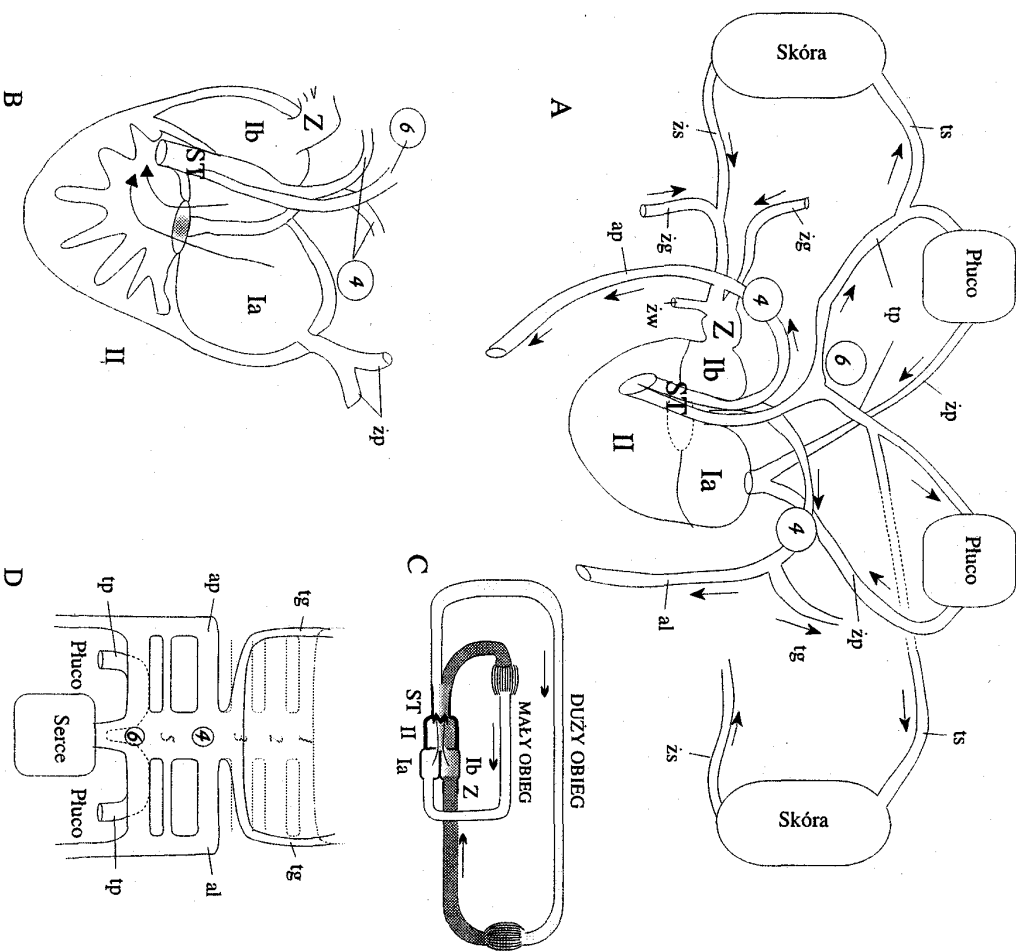
SERCE PŁAZÓW TO JESZCZE NIEDOSKONAŁA POMPA TYPU DWUPRZEPŁYWOWEGO

Serce przeciętnego płaza składa się z (por. Ryc. 130 B):

1. Cienkościennej **zatoki żyłnej** umieszczonej na prawym przedstonku;
2. **Dwóch** gładkościennych **przedstonków**;
3. Pojedynczej, **mięśistej komory**, w świetle której widoczne są blaszki i beczki utrudniające mieszanie się krwi;
4. Krótkiego **stożka tętniczego**, przechodzącego w pięć tętnicy (w wielu analizach ten element serca jest pomijany).

Prześledzimy teraz obieg krwi w systemie krążenia żaby. Dla celów dydaktycznych wykonamy to zadanie „krok po kroku”, **bez uwzględnienia** jednoczesności krążenia w obu obiegach. Za punkt początkowy przyjmijmy płuca — w ich ścianach krew oddaje CO₂ i pobiera O₂ (ulega utlenowaniu, por. kl. III). Z płuc wychodzą dwie żyły płucne (po jednej z każdego płuca). Łączą się one w żyłę płucną wspólną, ta zaś uchodzi do lewego przedstonka. Z niego krew utlenowana wlewa się przez otwór przedstonkowo-komorowy do lewej części gębczastej komory.

Skurcz komory wypycha teraz krew do stożka tętniczego. Jego konstrukcja, a szczególnie obecność **zastawki spiralnej**, zapobiega dostawaniu się krwi odlenowanej do aorty. Krew utlenowana dostaje się więc z lewej części komory do aorty i nią rozprowadzana jest po dużym obiegu. Z niego zaś wraca żyłami głównymi (przednimi i tylnymi) oraz żyłą wątrobową do zatoki żyłnej. Dalej przepływa do prawego przedstonka, a następnie do prawej części komory.



Ryc. 130. Schematy: krwioobiegu płazów płucodysznych (A), budowy serca płaza bezogonowego (B), idealny system dwuobiegu płazów (C) oraz przeobrażeń tętnic naczyńowych (D) (Ia — lewy przedstonek, Ib — prawy przedstonek, II — komora, Z — zatoka żylna, ST — stożek tętniczy, al — lewy tuk aorty, ap — prawy tuk aorty, tg — tętnica głowowa, tp — tętnica płucna, ts — tętnica skórna, żp — żyły płucne łączące się w żyłę wspólną, zg — żyła głowowa, zs — żyła skórna, żw — żyła wątrobowa; w kółkach podano numery par tętnic naczyńowych aorty).

Kolejny skurcz komory tłoczy krew do stożka tętniczego, a dokładniej do tej jego części, która prowadzi ją do pnia płucnego, ten zaś rozdziela się na dwie tętnice płucne, dochodzące do płuc. W ten sposób zasadniczo przeszedłszy pełny obieg krwi.

Na tym jednak nie koniec — unikalnym, „płazim” rozwiązaniem są odgałęzienia tętnicze, odchodzące od każdej tętnicy płucnej do skóry (por. Ryc. 130 A). W ten sposób część krwi ulega utlenowaniu w naczyniach włosowatych powierzchni ciała. Żyły skórne, którymi wraca krew utlenowana w skórze, uchodzą do żył głównych, tuż przed zatoką żylną. Tak więc, w rzeczywistości do prawej części serca dostaje się krew:

- a) z dużego obiegu — odutlenowana,
- b) ze skóry — utlenowana.

Skutek jest taki, że praktycznie w tej części serca znajduje się krew mieszana. Dzięki temu: a) do prawej części komory wlewa się krew mieszana (im bardziej intensywne oddychanie skórne, tym mocniej utlenowana),

b) do lewej części komory wlewa się krew utlenowana z płuc.

Zaletą takiego rozwiązania jest to, że mieszanie się krwi w komorze nie ma aż tak wielkiego znaczenia. Jak widać u płazów zaznaczyła się tendencja do rozdzielenia serca na dwie części, ale ewolucyjną konsekwencją oddychania skórnoego było zmniejszenie presji selekcyjnej na ich całkowity rozdział.

U płazów bezpłucnych przegroda międzyprzedstonkowa jest niecałkowicie rozwinięta (zastanów się, dlaczego tak jest?). Pamiętaj też, że u kręgowców ujścia żył do przedstonków nigdy nie mają zastawek!

Serce jest oczywiście kontrolowane przez układ nerwowy (przyznam, że jest to cecha wszystkich zuchwoców). Tym niemniej posiada ono własne ośrodki rozruchowe (rozruszniki) odziedziczone po rybich przodkach.

WYDALNOŚĆ SYSTEMU KRĄŻENIA ZALEŻY SILNIE OD TEMPERATURY

Jest to oczywiste u zwierząt **zimnoociepnych**. Ogólnie rzecz biorąc ciśnienia wytworzone w komorze sercowej płazów są niskie. U bezogonowych dochodzą maksymalnie do 25 mmHg (porównaj to z ssakami). Liczba skurczów na minutę jest niewielka. Cechy morfologiczne krwi płazów także nie przedstawiają się rewelacyjnie, chociaż trzeba przyznać, że generalnie zwierzęta te mają takie same rodzaje krwinek, jak np. ssaki. Erytrocyty płazów są owalne, jądrowate i bardzo duże (jak na krwinki czworonoje, np. u żaby mierzą ok. 22 na 16 µm, a u prymitywniejszego odmienca aż 58 na 35 µm. Dlatego w 1 mm³ krwi obwodowej jest ich niewiele — przykładowo u żaby 400 000, a u odmienca 40 000 (porównaj to z człowiekiem i zastanów się, dlaczego ma to znaczenie dla wydajności tlenowej krwi). Proces krwinkotwórczy zachodzi głównie w grąsicy i obwodowych częściach wątroby, a w znacznie mniejszym stopniu w szpiku kostnym.

Przed chwilą przeczytałeś dużo uwag na temat prymitywnego układu krążenia i oddychania płazów, nie zapominajmy jednak, że zwierzęta te znakomicie dają sobie radę w swoich środowiskach!

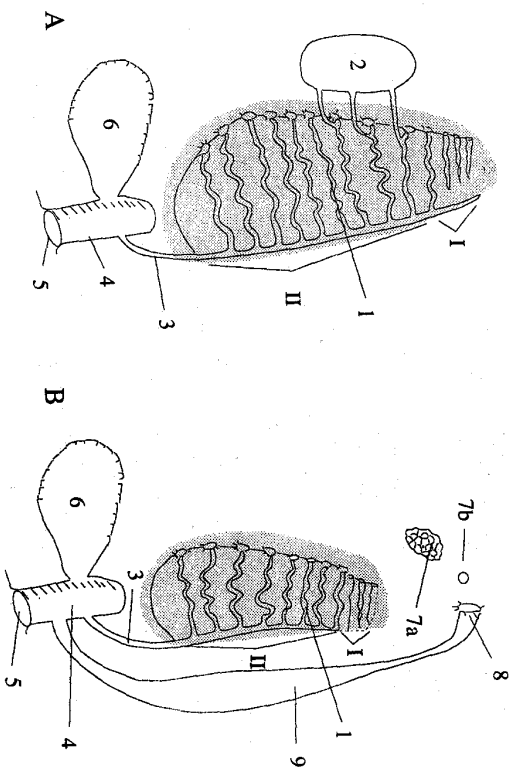
Układ wydalniczy i rozrodczy

Nerki płazów są narządami parzystymi. W przypadku żaby i innych płazów bezogonowych są dość szerokie, taśmowate i jednolite. Wzdłuż nich, na brzegach ciągnie się moczowod pier-

wony (przewód Wolffa). Silnie rozcięziony mocz uchodzi do **steku**, którego uchylek tworzy **pęcherz moczowy** — jego nabłonek może resorbować wodę (płazy nigdy nie piją, lecz chłoną wodę przez skórę). Gromadzenie wody w pęcherzu pozwala na jej późniejszą resorpcję w razie potrzeby. Dlatego niektóre zwierzęta z tej grupy potrafią żyć okresowo nawet w dość suchych warunkach. Np. żaba australijska (*Cyclorana*) ma bardzo duży pęcherz moczowy, w którym gromadzi wodę. Zwierzę to znosi odwodnienia do 50% — może więc żyć nawet na terenach półpustynnych.

NERKĘ DOROSŁYCH PŁAZÓW TWORZY PRANERCZE. ROZWIJAJĄCE SIĘ ZE ŚRODKOWEJ CZĘŚCI MEZODERMY NERKOTWÓRCZEJ

Zaznaczam od razu, że problem jest bardzo złożony i tutaj przedstawiono go w uproszczeniu (por. Ryc. 131). Zakładamy więc, że pojęcie pranercza, gruczolu Wolffa i tytonercza (możesz się z nim zetknąć w podręcznikach uniwersyteckich i na testach) oznacza te same struktury. Poza tym przyjmujemy, że nefrony budujące nerki posiadają lejki otaczające klebuszki naczyniowe — po raz pierwszy powstają więc **cewki Malpighiego** (ciałka nerkowe). Nie jest to co prawda połączenie tak doskonałe jak u wyżej uorganizowanych kręgowców, jednak stanowi istotny krok do przodu w ewolucji układu wydalniczego.



Ryc. 131. Schemat układu wydalniczego i rozrodczego płaza bezogonowego, uwzględniający jedną stronę: A — samiec, B — samica (1 — nefron, 2 — jajnik, 3 — moczowód pierwotny, 4 — stek, 5 — otwór odbytowy, 6 — pęcherz moczowy, 7a — jajnik, 7b — komórka jajowa, 8 — lejek jajowodu, 9 — jajowód; I — szczątkowe przednercze, II — pranercze). Zwróć uwagę, że u samców moczowód pierwotny funkcjonuje jako nasieniowód. Praktycznie ten sam typ organizacji układu wydalniczego występuje u ryb!

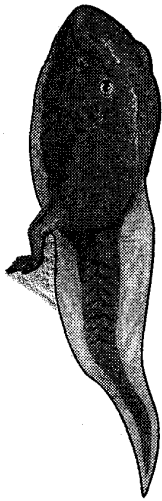
PŁAZY WYDALAJĄ MOCZNIK

Ich skrzelodszyne larwy wydalają **amoniak** (jest to dla nich prostsze i lepsze rozwiązanie). Jednak osobniki dorosłe wytworzą z niego mniej toksyczny, chociaż dobrze rozpuszczalny w

wodzie, **mocznik**. Sprawność układu wydalniczego płazów nie pozwala im na życie w hipertonicznych środowiskach wód morskich. Jedynie jeden gatunek zabu utrzymuje wysokie stężenie moczniaka we krwi i dzięki temu żyje w wodach słonych (jego płyny ustrojowe są izotoniczne z otaczającą wodą).

U WIĘKSZOŚCI PŁAZÓW ZAPŁODNIENIE JEST ZEWNĘTRZNE

Niemal regułą jest w tej grupie zwierząt, że przynajmniej na okres godowy wracają one do zbiorników wodnych. Unasienie i zapłodnienie jest **zewnątrzne** i odbywa się w momencie składania jaj przez samicę do wody. **Jedynie w części** płazów bezognich ma ono charakter wewnętrzy. Tak czy inaczej jest to **jajorodność**. Komórki jajowe płazów są duże, np. jaja bezognowców mają średnicę 1—2 mm. Ilość składanych jaj jest spora (u żab ok. 10 000) ponadto otoczone one są osłonką galaretowatą (w ten sposób powstaje skrzek). W związku z tym zwykle brak jest opieki nad potomstwem. Jaja są w większości przypadków średnio zasobne w żółtko, dlatego w rozwoju pojawia się larwa — kijanka (por. Ryc. 132). Posiada ona skrzela zewnętrzne, szczeliny skrzelowe, częste są przysawki umożliwiające przyczepianie się do podwodnych roślin. Odżywia się początkowo planktonem, np. wrotkami czy drobnyimi pierścienicami. Ponadto wyszłała się ogon. Ze względu na znaczny udział pokarmu roślinnego u kijanek występuje bardzo długie, postępane jelito (stąd ich banieczkowy korpus). Tylnie kończyły zakładają się szybko, natomiast przednie przebijają się dopiero podczas **metamorfozy**. Wówczas też następuje resorpcja skrzeli, zmiany w skórze, polegające na wykształceniu gruczołów wielokomórkowych oraz utrata ogona.



Ryc. 132.
Kijanka — zwróć uwagę na cechy specyficzne.

U PŁAZÓW DOŚĆ SŁABO ZAZNACZA SIĘ DYMORFIZM PŁCIOWY

Wyraźniej jest on widoczny tylko w porze godowej. Przejawia to się w różnicach ubarwienia i w rozwoju różnych zgrubień (np. modzele u nasady pierwszego palca kończyn przednich, gdyż te przytrzymują samicę w czasie kopulacji).

Sterowanie przeobrażeniem odbywa się na drodze hormonalnej. Proces metamorfozy z larwy do osobnika dorosłego jest skomplikowany, dlatego nie został tutaj dokładnie opisany. W tej chwili powinniśmy jedynie wiedzieć, że steruje nim podwzgórze, przysadka mózgowa i tarczycza (więcej informacji na ten temat uzyskasz w kl. III).

U niektórych płazów metamorfoza wcale nie występuje. Po prostu ich larwy osiągną dojrzałość płciową — mówimy wówczas o neoteni. Klasycznym przykładem takiej formy jest skrzelodyszny *Ambystoma mexicanum* (*A. tigrinum*) — nazywany **aksolotlem**. Zwierzę to żyje tylko w dwóch górskich jeziorach Meksyku (czy oznacza to, że jest endemitem?). W warunkach naturalnych niska temperatura wody hamuje przeobrażenie. W laboratoryjnych otrzymano jednak dorosłe postacie oddychające płucami! Niektórzy uczeni skłoniłi się wręcz uważać wszystkie trwałoskrzelne płazy ogoniaste za formy neoteniczne.

Nieliczne płazy można zaliczyć do jajorodnych. Powinieneś to zapamiętać, gdyż do nich należy nasza **salamandra** (*Salamandra salamandra*), rodząca od kilku do kilkudziesięciu larw.

Układ pokarmowy i odżywianie

Pobieranie pokarmu u płazów jest bardzo proste — otóż dorosłe osobniki chwytają pokarm i potykają w całości. Ich menu stanowią pajączki, obleńce, pierścienice, stawonogi i młeczaki, a czasem nawet drobne kregowce. Żeby formikowate lub haczykowate są przyrośnięte do kości (oczywiście ma to miejsce tylko u tych form, które są uzbębne). Do bezrębnych można zaliczyć ropuchy i niektórych przedstawicieli rodziny *Pipidae*. Otwór gębowy prowadzi do jamy gębowo-gardzielowej. Uchodzą do niej także nozdrza wewnętrzne, trąbka Eustachiusza oraz przewody wyprowadzające gruczołów śluzowych. Te dwa ostatnie tworzy pojawiły się po raz pierwszy — ma to związek z lądowym trybem życia — zastanów się, dlaczego? Podniebienia wórnego nie ma, dlatego sklepienie jamy gębowej tworzy podstawa tzw. czaszki pierwotnej (por. Ryc. 129 C). Jako ciekawostkę podam fakt, że do błony śluzowej od góry przylegają gałki oczne — w ten sposób oczy uzupełniają podniebienie! Żeby było jeszcze ciekawiej, w czasie potykanka pokarmu specjalny mięsień wciąga oczy, które popychają kęs pokarmowy. Na dnie jamy gębowej płazy mają język. U bezogonowych jest długi, przyrasia przednią krawędzią do spojenia zuchwy i, wyrzucany z dużą prędkością, pomaga w łapaniu zdobyczy. Z krótkiej gardzieli wychodzi przewytek prowadzący do słabo zaznaczonego morfologicznie żółtka. Dalej pokarm przechodzi do dwunastnicy i dalszej części poskręcane go jelita cienkiego. Jelito cienkie kończy się specjalnym faldem oddzielającym je od jelita prostego — to zaś uchodzi do wspomnianego już seku. Jak widać jest to typowy układ pokarmowy kregowca.

Układ nerwowy i narządy zmysłów

MOZGOWIE PŁAZÓW CECHUJE SIĘ SILNIEJSZYM NIŻ U RYB ROZWOJEM KRESOMÓZGOWIA

Zacznijmy jednak od tego, że ewolucja płazów nie doprowadziła do zmiany ogólnej konstrukcji mózgowia. Zwierzęta te (podobnie jak ryby) nadal mają:

1. Niewielkie mózgowie o bardzo małej masie;

2. Części mózgowia ułożone linowo, jedna za drugą (por. Ryc. 133) i tak:

- A) **kresomózgowie** jest dość mocno wydłużone i podzielone na dwie półkule (jedynie u niektórych bezogonowych półkule zrosnięte są w okolicy wężomózgowia). Ściany tej części mózgu są gładkie i cienkie — jednak zbudowane całkowicie z tkanki nerwowej. Jej neurony tworzą u niektórych gatunków korę mózgową (nie jest to jednak **kora nowa lez stara**). Gwoli uczciwości trzeba powiedzieć, że u części gatunków półkule nieznacznie zakrywają międzymózgowie;

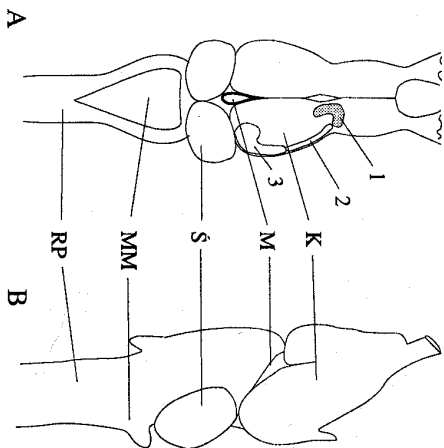
Problem budowy histologicznej kresomózgowia jest bardzo skomplikowany. Dla docieklawych dodam więc, że w skład ścian półkul wchodzi trzy istotne elementy: jądra podstawy mózgowia, kora dawna oraz kora stara na przedniej, przysródkowej części półkul (por. Ryc. 133 A).

B) **międzymózgowie** — jest w pełni wykształcone. U współczesnych płazów, w jego grzbietowej części, widoczna jest szyzyna. Brak natomiast trzeciego oka — ciemiemowego, które stwierdza się u kopalnych płazów.

C) **śródmózgowie** — u płazów bezogonowych jest duże (por. Ryc. 133) i tworzy ośrodk i analogizy wzrokowej oraz prawdopodobnie centrum koordynacyjne całego mózgowia.

B
D) Włóknózwęgię wiotkie jest słabo rozwinięte. Tworzący je mózdzek stanowi cienką, po przecięciu ustawioną „płytkę” leżącą bezpośrednio za śródmózgowiem. Nie powinno to jednak nikogo dziwić, gdyż lokomocja płazów nie należy do najbardziej skomplikowanych. Z punktu widzenia umiejętności pływackich i poruszania się na lądzie (ogólnie: lokomocja skokowa u bezogonowych i kroczna u ogoniastych) płazy nie wykazują ani wielkiej wytrzymałości, ani szybkości, jednak dobrze sobie radzą w obu środowiskach.

E) rdzeń przedłużony — jest dobrze wykształcony i stanowi dość znaczny procent masy mózgowia. Ma to zapewne związek z rozwiniętym czuciowym skórny i płazów oraz obecnością linii nabocznej. Podkreślić jednak należy, że ta ostatnia występuje jedynie u postaci larwalnych oraz tylko niektórych płazów dorosłych w czasie życia w wodzie (np. trzaska, kumak). Ciekawym przypadkiem jest *Xenopus*, który całe życie spędza w wodzie i ma dobrze wykształconą linię naboczną.



Ryc. 133.
Budowa mózgowia żaby — schemat. A — widok z góry, B — widok z boku (K — kresomózgowie, M — międzymózgowie, § — śródmózgowie, MM — mózdzek, RP — rzeń przedłużony; 1 — kora stanu, 2 — kora dwunna, 3 — jądra podstwy). Prawy półkule przecięto dla pokazania budowy wewnętrznej kresomózgowia.

U współczesnych płazów mózgowie opuszcza 10 par nerwów czaszkowych. Niektóre źródła podają w tym miejscu liczbę 11 par. Wynika to z pewnego nieporozumienia. Otóż u współczesnych płazów bezogonowych X-ta para nerwów czaszkowych wchłonięła I-szą parę nerwów rdzeniowych (są one więc tylko odpowiednikiem XI-tej pary nerwów czaszkowych owodniowców).

U PŁAZÓW CZUCIE BODZCÓW ZEWNĘTRZNYCH JEST DOBRZE ROZWIĄNE

Płazy posiadają różnorodne eksteroreceptory (receptory odbierające bodźce zewnętrzne), z których część jest lepiej rozwinięta niż u ryb i świadczy o przystosowaniu do lądowego trybu życia. Najistotniejsze zanalizujemy po kolei:

1. Węch — receptor stanowi tu nabłonek wysięciający parzystą jany węchową, która przez nozdrza wewnętrzne łączy się z jamą gębową. Każda z jam posiada uchylek również wysłany nabłonkiem węchowym — jest to **narząd Jacobsona** (szczególnie dobrze rozwinięty u form lądowych). Ciekawostką jest fakt, że płazy mogą wykorzystywać ten organ do analizy chemicznej bodźców dochodzących ze środowiska zewnętrznego i do analizy chemicznej pokarmu z jany gębowej. Płazy zdolne są do odbierania bodźców chemicznych całą powierzchnią ciała. Mają bowiem w skórze wolne zakończenia nerwowe. Jednak już w tej grupie nabłonek węchowy jany nosowej jest bardzo wrażliwy i to on decyduje o jakości narządu czucia chemicznego.

2. **Wzrok** — receptorem są oczy. Ogólnie rzecz biorąc, większość płazów zaliczyć można do wzrokcoców — zwierząt lokalizujących pokarm drogą optyczną (uif, ale mądrze). Jedynie u niektórych gatunków, np. u odmienca jaskiniowego oczy są szczątkowe i ukryte pod skórą. Wyjście z wody pociągnęło za sobą zmiany w budowie anatomicznej oka. Przede wszystkim soczewka u płazów jest relatywnie mniejsza niż u ryb, ulega także pewnemu spłaszczeniu. Jeśli dołoży się do tego odsunięcie soczewki od siatkówki (wydłużenie ogniskowej, porównaj o tym ze swoim fizykiem) — powstaje oko typu dalekowzrocznego. O tym, że w warunkach lądowych jest to dobre rozwiązanie, nie trzeba chyba nikogo przekonywać. Kłopot stanowi jednak wysychanie powierzchni rogówki i ochrona oka przed zanieczyszczeniami. Rozwiązaniem, które pojawiło się w tej grupie są nuchome powieki i gruczoły łzowe.

3. **Narządy czucia skórne** (por. też wyżej) reprezentowane są przez rozsiane receptory dotyku, zimna, gorąca i bólu;

4. **Narząd smaku** — tworzony jest przez tzw. pączki smakowe (skupienia komórek wrażliwych na bodźce chemiczne) rozmieszczone głównie w jamie gębowej. U żab są one skupione na wypukleniach błony śluzowej, czyli brodawkach smakowych na języku;

5. **Narząd równoważno-słuchowy** — płazy wykazują tu wyraźne zmniejszoną budowę w stosunku do ryb. Otóż z pierwszej szczyliny skrzelowej (nie tuku) tworzy się jama ucha środkowego, zachowująca połączenie z odcinkiem gardzielowym poprzez trąbkę Eustachiusza. Ucho środkowe odgradza od zewnętrznego błona bębenkowa (to także „nowość”). Przypomnijmy, że w uchu środkowym pojawia się pierwsza kostka słuchowa (**strzemiączko** lub w dużym uproszczeniu: kolumienka). Filogenetycznie powstaje ona z II-go tuku skrzelowego. Obecność kostki słuchowej ma istotne znaczenie dla jakości słyszenia w warunkach lądowych, bowiem drgania ośrodka powietrznego mają mniejszą energię niż wody. W tej sytuacji strzemiączko przenosi i wzmacnia drgania błony bębenkowej. W uchu wewnętrznym nie ma już tak istotnych zmian. Widoczne są trzy kanały półkoliste, a cały błędnik ma oczywiście kostną oprawę. Nowością jest tu jednak brodawka słuchowa podstawowa (*pupilla basilaris*), która tworzy się jako niewielki uchylek woreczka (być może jest homologiczna ze ślimakiem w uchu owodniowców).

Występowanie i znaczenie

Grmadę płazów tworzy obecnie ok. 2480 gatunków. Mała odporność na zimno ogranicza ich występowanie, chociaż nasza żaba moczarowa żyje także za kołem podbiegunowym. W krajach o klimacie umiarkowanym chłodnym występują, ale na okres zimy zapadają w stan odrętwienia. Jest to związane ze zwolnieniem tempa metabolizmu i zaprzestaniem pobierania pokarmów. Nie skolonizowały także (z nielicznymi wyjątkami) terenów suchych (nieodporne na brak wody) oraz wód słonych (kłopoty z osmoregulacją).

Meandrowce — pojawiły się w dewonie, maksimum rozwojowe osiągnęły w paleozoiku i trasię (grupa kopalna omówiona wcześniej). Przypominam, że należy je znać ze względu na przejściowe formy: *Lichyostega* i *Seymouria*.

Wiele płazów dobrze wspina się po drzewach dzięki przylgom, które mają na palcach, np. nasza **rzekotka**. Inne potrafią się szybko zagrzebywać — przykładem jest **grzebiuska ziemna**, także występująca w Polsce. Niektóre żaby potrafią nawet wykonywać długie skoki („loty”). Najbardziej znana z tego jest jawańska żaba latająca, używająca jako powierzchni lotnych dużych błon pływanych rozpiętych między palcami. Wiele gatunków, np. liczne ogoniaste, spędza całe życie lub jego większość w wodzie. Dla innych charakterystyczne są wędrówki rozrodcze do

zbiorników wodnych. Samce przybývają tam szybciej i często wabią partnerki charakterystycznymi głosami — rechotaniem, wydawanym dzięki specjalnym rezonatorom w jamie gębowej.

GOSPODARCZE ZNACZENIE PŁAZÓW JEST MAŁE

Jest to niezbyt liczna grupa kręgowców o dość nieporozornych wymiarach, od kilku do 20 cm długości (żabę goliata — mierzącą do 28 cm należy uznać za wyjątek). Co prawda ogoniaste mogą być dłuższe, nawet do 1,5 m, ale wynika to bardziej z długości ogona. Praktyczny skutek tego jest taki, że nie bardzo jest co konsumować (znikoma masa mięsna). Oczywiście znane jest upodobanie Francuzów do żabich udek, sąg nasz eksport żab: wodnej i śmieški. Z kolei Chińczycy i Japończycy lubią mięso salamandy olbrzymiej. Jest to jednak droga potrawa, dostępna dziś tylko dla zamożniejszych.

Znaczenie płazów jest natomiast duże w różnego rodzaju badaniach medycznych i biologicznych. Przykładowo *Xenopus* wykorzystywana jest do precyzyjnych testów ciężowych. Jądra żab są także obiektami licznych eksperymentów embriologicznych.

Ważniejsze jednak jest to, że owadożerne płazy łępią różne szkodniki.

Płazy są dzisiaj grupą mocno zagrożoną. W Polsce żyje 16 gatunków i, z wyjątkiem żab zielonych, wszystkie są prawie chronione. Przykłady (por. też Ryc. 125): **salamandra płamista** (*Salamandra*), **traszka grzebleniasta** (*Triturus*), **traszka górška**, **kumak niżyny** (*Bombina*), **kumak górški**, **huczek ziemny** czyli grzbiusška (*Pelobates*), **ropucha szara** (*Bufo*), **ropucha paskówka**, **rzekotka drzewna** (*Hyla*), **żaba zielona** (*Rana*), **żaba jeziorkowa**, **żaba śmieška**.

PODSUMOWANIE

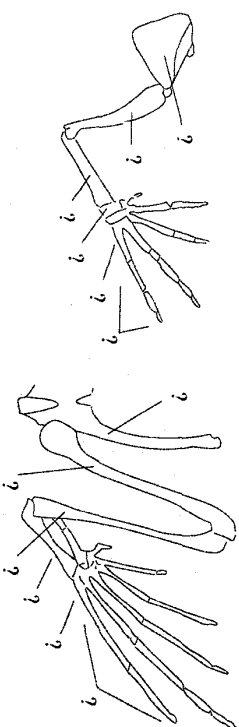
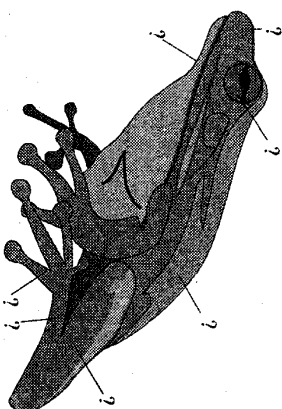
Do istotnych cech współczesnych płazów można zaliczyć:

1. **Czworoonożność** — posiadają dwie pary kończyn wolnych, typu lądowego, rozstawionych szeroko na boki (uwaga na beznożce);
2. Zasadniczo **plucdodyszność**, chociaż formy larwalne posiadają skrzelia;
3. Pokrycie nagiej skóry **cienkim nahlonkiem** rogowaciejącym i śluzem będącym wydzieliną gruczołów wielokomórkowych skóry;
4. **Dwa obiegi krwi** i serce składające się z zatoki żyłnej, dwóch przedsionków, komórki i stożka tętniczego;
5. Ruchome zestawienie czaszki z kregosłupem dzięki dwóm **kłykcjom potylicznym** (u form kopalnych często był tylko jeden);
6. Posiadanie dziesięciu par nerwów czaszkowych, chociaż niektóre kopalnie miały 12 par (ze staw to z owodniowcami!);
7. Rozwijanie się w wodzie embriionów nie osłoniętych błonami płodowymi, dlatego płazy zaliczane są do bezowodniowców — *Anamnia*. Najczęściej w rozwoju występuje skrzelodyszna larwa — kijanka;
8. **Zmiennoceplność** — podobnie jak u wszystkich wcześniej omawianych zwierząt.

UWAGA: Czworoonożność, płucdodyszność i drugi obieg krwi są aromorfozami.

Pytania i polecenia kontrolne:

1. Wyjaśnij, co oznacza łacińska nazwa płazów: *Amphibia*.
2. Schemat przedstawia rzekotkę. Narysuj podobny w mniejsza oznaczone znakami pytania wpis nazwy odpowiednich elementów budowy morfologicznej.
3. Porównaj budowę skóry płaza i ryby. Uzasadnij, że skóra płaza jest organem wielofunkcyjnym.
4. Czyr charakteryzuje się czaszka „ażurowa”?
5. Wymień współcześnie żyjące rzędy płazów podając przynajmniej po jednym reprezentancie każdego z nich.
6. Wykaż cechy pierwotne i progresywne w umięśnieniu płazów.
7. Jak płazy przystosowały się do wymiany gazowej?
8. Jaka zmiana w budowie układu krążenia jest związana z pojawieniem się oddychania płucnego. Spróbuj uzasadnić konieczność tej zmiany.
9. W postaci uproszczonego schematu przedstaw budowę układu krążenia płazów z zaznaczeniem kierunku przepływu krwi. Dłaczego w prawej części serca znajduje się krew mieszana (utlenowana z odłenowaną)?
10. Wskaż różnice w budowie i funkcji układu krążenia ryb i płazów.
11. Jaki rodzaj związków azotowych wydalają płazy (ich formy dorosłe i larwalne)? Jaki ma to związek ze środowiskiem ich życia — odpowiedź uzasadnij?
12. Wykaż związek rozmnażania płazów ze środowiskiem wodnym.
13. Udowodnij, że płazy to zwierzęta dwuśrodowiskowe.
14. Podaj przykład płaza, u którego występuje zjawisko neotentii?
15. Schemat przedstawia szkielet kończyny przedniej i tylnej żaby. Narysuj podobny i podpisz zaznaczone elementy budowy.



*16. Wykaż wyższość rozwoju płazów nad rybami w budowie szkieletu i funkcjonowaniu układu nerwowego i narządów zmysłów.

*17. Wskaż istotne różnice w budowie szkieletu ryb i płazów.

*18. Jaki sposób oddychania płazów — podpowiem, że chodzi tu głównie o sprawność wymiany gazowej i kłopoty z pobieraniem pokarmu.

23. Pochodzenie i radiacja gadów

Gady stanowią pierwszą grupę wśród kregowców czworonoznych, o której z całą pewnością ciąż można powiedzieć, że:

SKUTECZNIE OPANOWAŁA ŚRODOWISKO LĄDOWE

W związku z tym trzeba uznać, że problemy „podjęte” przez płazy i nie do końca przez nie rozwiązane, zostały przez gady rozstrzygnięte. Nie oznacza to jeszcze, że gady są najwyższej uorganizowanymi kregowcami, mimo to rozwinęły ważne, progresywne trendy ewolucyjne:

1. Wybitnie usprawniły gospodarkę wodną, głównie przez zmniejszenie strat wody. Stało się to możliwe po „uszczelnieniu” powłok ciała — ich skóra jest silnie zrogowaciała, pozbawiona gruczołów i często okryta rogowymi (lub kostnymi) tworami. Zmianie uległ także system wydalania — gady usuwają zbędne i szkodliwe produkty przemiany materii głównie w postaci słabo rozpuszczalnego **kwasu moczowego**, stąd przez układ wydalniczy trącą tylko minimalne ilości wody;
2. Uniezależniły rozród od obecności wody w środowisku — rozwiązaniem okazało się:
 - A) zapłodnienie wewnętrzne;
 - B) zaopatrzenie zarodka w odpowiednią ilość materiałów energetycznych i budulcowych. Jaja wszystkich gadów są duże i zawierają znaczne ilości żółtka. W ten sposób umożliwiają się rozwój prosty z ominięciem „klopotliwego” stadium wolno żyjącej larwy;
 - C) doprowadzenie do tego, że zarodek będzie się rozwijał w obrębie własnego, wodnego mikroświata. Chodzi tu o zasadę, iż rozwój embrionalny kregowców musi odbywać się w środowisku wodnym. Jeśli więc nie można zabrać ze sobą zbiornika wodnego, trzeba się postarać wybiegiem — jaja składane na lądzie muszą zawierać wewnętrzną, wodną przestrzeń. W ten sposób nasuwa się problem **blon płodowych** (por. dalej);
 - D) składowanie jaj w miejscach na tyle wilgotnych, aby woda swobodnie migrowała przez półprzepuszczalne powłoki do wnętrza;

3. Usprawniły wymianie gazowe — było to konsekwencją niemal całkowitej redukcji oddychania skórnoego, stąd:

- A) zwiększanie powierzchni oddechowej, czyli płuc;
- B) usprawnienie mechanizmu wentylacji płuc — powstała bowiem **klatka piersiowa** umożliwiająca „michowaty” sposób przewietrzania. Zapewniło to, w połączeniu ze sprawniejszym systemem krążenia, lepsze zaopatrzenie tkanek w tlen, a co za tym idzie szybsze tempo metabolizmu;

4. Wyraźnie ulepszyły system lokomocji — przebudowa szkieletu oraz muskulatury pozwoliły gadom na skuteczne opanowanie dużych obszarów Ziemi.

PRZODKÓW GADÓW NALEŻY SZUKAĆ WŚRÓD MEANDROWCÓW

Nie jest do końca jasne, jak dokonał się rozdział meandrowców na pnie „płazi” i „gadzi”. Tym bardziej, że dywergencja odbyła się na terenach podmokłych w ciepłym klimacie i dlatego pierwsze gady były bardzo podobne do ówczesnych płazów. Przykładem mogą być kłopoty z zaklasyfikowaniem *Seymouria* — dla niektórych paleontologów jest to gadi!

Prawdopodobnie wśród części płazów meandrowych naskórek ściślej rogowaciał, przez co mogły one dłużej przebywać poza środowiskiem wodnym. Do wody wracały tylko w celach rozrodczych, ale tam znosiły jaja coraz bardziej zasobne w żółtko. Później mogły więc zacząć składać je na terenach bardziej oddalonych od wody i bezpieczniejszych.

JEST MOŻLIWE, ŻE PIERWSZE GATUNKI GADÓW POLAWIŁY SIĘ JUŻ W KARBONIE

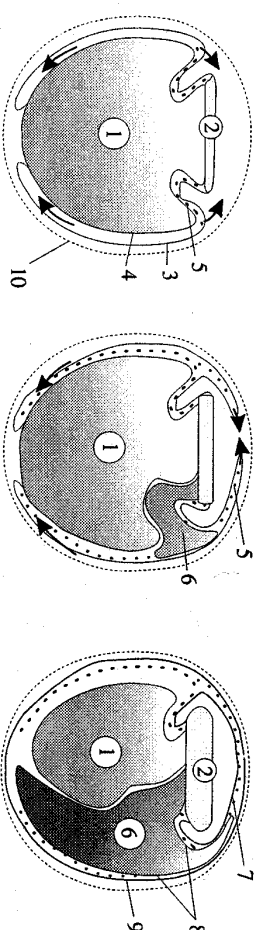
Tym niemniej początki były trudne — jeszcze w permie grupę tę trudno byłoby uznać za dominującą. Początek ogromnej kariery, a ściślej **radiacji adaptacyjnej**, nastąpił w triasie. W jurze grupa ta niepodzielnie panowała już we wszystkich środowiskach. Koniec nastąpił dopiero w kredzie. Być może przyczyną wielkiego wymierania gadów mezozoicznych była katastrofa kosmiczna — zderzenie z niewielkim ciałem niebieskim typu asteroidu. Prawdopodobnie uderzenie to zmieniło położenie równika i, co gorsze dla gadów, spowodowało powstanie swoistej zimy „poeksplozyjnej”. Otóż ogromne ilości pyłu wzniesionego po uderzeniu i pożarach załoniły dostęp promieni słonecznych w skali globalnej. Nastąpiła długa, mroczna i bardzo zimna noc — musiało to oznaczać dla dużych gadów zagładę (przemysł to).

Nie jest to jednak jedyna teoria tłumacząca to zadziwiające zjawisko. Jedną z konkurencyjnych hipotez za przyczynę wymięnięcia uznaje naturalne zmiany klimatyczne i idące za tym przekształcenia szaty roślinnej... Zainteresowanych odsyłam do fascynującej, chociaż kontrowersyjnej, książki „Mieszkańcy światów alternatywnych” M. Ryszkiewicza.

W ROZWOJU ZARODKOWYM GADÓW POLAWIAJĄ SIĘ BŁONY PŁODOWE

Zasadniczo jaja gadów zawsze spełniają minimalne wymagania rozwoju zarodkowego na lądzie (por. Ryc. 134). We wczesnej embriogenezie na powierzchni kuli żółtka tworzy się tzw. **tarca zarodkowa**:

1. Na jej krawędziach podnosi się fałd zarodkowy z komórek ekt- i mezodermalnych. Intensywne namnażanie komórek prowadzi do rozwoju fałdu, jego zaniknięcia się nad zarodkiem i zrosnięcia. W ten sposób powstaje **owodnia (amnion)** — pierwsza błona płodowa. Jej rola polega na otoczeniu zarodka przestrzenią wypełnioną płynem owodniowym. To właśnie ten wodny „mikroświat”, w którym embrion może rozwijać się bez przeszkód.



Ryc. 134. Rozwój błon płodowych gadów. Bardzo podobnie proces ten wygląda u płazów i stekowców, natomiast u ssaków łączyskowych nieznacznie odbiega od przedstawionego schematu — por. ssk. kl I — kula żółtka, 2 — zarodek, 3 — ektoderma, 4 — endoderma, 5 — mezoderma, 6 — omocznia, 7 — błona owodni, 8 — błona moczowa, 9 — błona kosmowa, 10 — osłony jajowej). Strzałki pokazują kierunki obrastania komórek w jajiu.

2. Powierzchniowa warstwa komórek obrasta żółtko i owodnie. Tworzy się w ten sposób druga, zewnętrzna błona płodowa — **kosmówka** (*chorion*). Jej zadaniem jest ogólna osłona zarodka i pośrednictwo w wymianie niektórych substancji (u gadów chodzi głównie o pobieranie wody i O₂ oraz usuwanie CO₂);
3. Pomiedzy kosmówkę a owodnie wciska się rozwijający się fald trzeciej błony płodowej — **omocznia** (*allantois*) zbudowanej z komórek endo- i mezodermalnych. W rozwijającej się przestrzeni omocznia gromadzą się uboczne produkty przemiany materii — głównie wspomniany już kwas moczowy. Omocznia ma zdolność resorpcji wody z wydalini, dzięki czemu zarodek ma minimalne straty płynów;
4. Pecherzyk żółtkowy jest także obrośnięty przez komórki endo- i mezodermalne. Tworzy się **blona woreczka żółtkowego**. Niektórzy naukowcy nazywają ją czwartą błoną płodową (sprawa jest jednak dyskusyjna).

Wszystko to sprawia, że zdolności adaptacyjne tej grupy kręgowców są znacznie większe niż poprzednich. „Wynalazek” błon płodowych okazał się tak dobry, że rozwijały się one zarówno u ptaków, jak i ssaków (zresztą w podobny sposób — jest to jeden z wielu dowodów na rodowość tych szczepów kręgowców). Wszystkie trzy wspomniane przed chwilą gromady tworzą grupę **owodniowców** (*Amniota*) przeciwstawianą **bezowodniowcom** (*Anamniota*), do której należą kręgowce pierwotnie wodne i płazy.

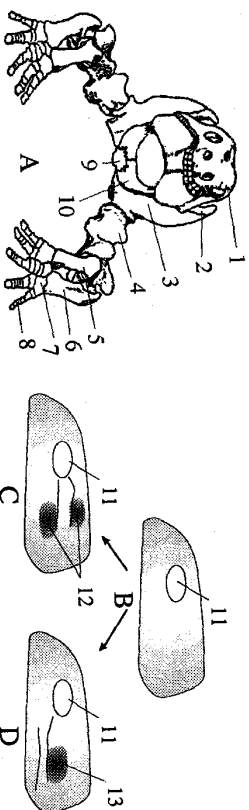
Pierwsze gady osiągały rozmiary ok. 30 cm i nie wykazywały szczególnych przystosowań. Pojawily się, jak już wspomniano, w górnym karbonie i całkowicie wymarły pod koniec triasu. Były to **kotylozaury** — przykładem takiego zwierzęcia jest permiski *Diadectes* (odnaleziony w Nowej Szkocji) wielkości i pokroju jaszczurki (por. Ryc. 135 A). Czaszka kotylozaurów silnie nawiązuje do meandrowców. Mózgoczaszka tych zwierząt była niewielka i wypukła. W jej tylnej części zakładały się cztery kości potyliczne, z których trzy tworzyły pojedynczy kłykiec potyliczny. Być może pomiedzy oczami wykształcała się już błona rozdziłająca. Kotylozaury nie miały podniebienia wrotnego. Od góry i z boków mózgowie tych zwierząt osłaniały dobrze rozwinięte kości tworzące tzw. dach czaszki. Był on pozbawiony zagłębień, które pozwalalyby na wprowadzenie silnego ukladu mięśniowego poruszającego szczęką dołą (por. tekst niżej).

Stopniowa redukcja skostnień pancerza głowy doprowadziła u gadów do powstania tzw. **dołów czaszkowych** (w uproszczeniu: dołów skroniowych). Ich analiza pozwala wyróżnić kilka typów konstrukcyjnych czaszek gadów. Oto najważniejsze z nich:

1. **Anapsydalny** — najbardziej pierwotny, w którym brak jest dołów skroniowych (na Ryc. 135 B widoczny jest tylko oczodoł). Tego rodzaju czaszki miały najstarsze gady paleozoiczne, a ściślej kotylozaury. Współcześnie zachowały się jedynie u żółwi;
2. **Diapsydalny** — z dwoma dołami skroniowymi (por. Ryc. 135 C). Taka czaszka cechuje większość gadów kopalnych i współczesnych (krokodyle, węże, jaszczurki). Dodatek tylko należy, że przeszedł on wiele modyfikacji. Przyprawia to wielu biologów o ból głowy i zaciera obraz stosunków filogenetycznych w tej grupie kręgowców.

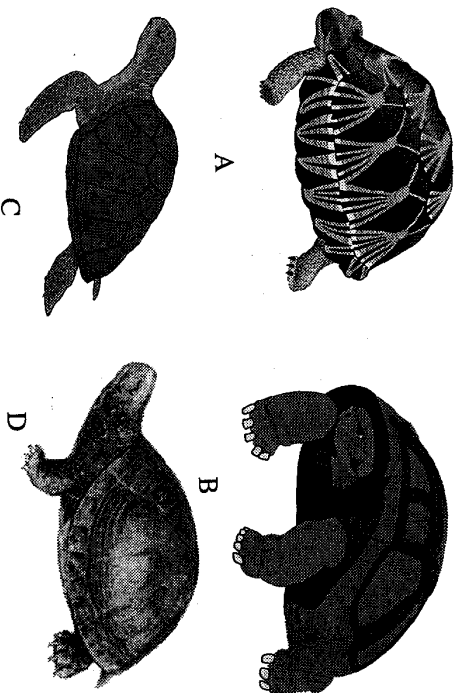
3. **Synapsydalny** — z jednym dołem skroniowym, nie sięgającym kości ciemieniowej, za to stykający się z łukiem jarzmowym (por. Ryc. 135 D). To rozwiązanie pojawiło się w linii rozwojowej prowadzącej ostatecznie do ssaków (pelikozaury, gady ssakosształne). Z takiej czaszki wyprowadzana jest czaszka „ssacza”;

Doły skroniowe są istotnym elementem w tworzeniu systematyki gadów (podziału na podgromady, por. Ryc. 137).



Ryc. 135. Rekonstrukcja szkieletu kotylozaura — widok od przodu (A) oraz schematy typów czaszek: (B) anapsydalny, (C) diapsydalny, (D) synapsydalny (1 — mózgozaszka, 2 — k. skoblowa, 3 — łopata, 4 — k. ramieniowa, 5 — k. promieniowa, 6 — k. łokciowa, 7 — nadgarstek, 8 — palec, 9 — mostek, 10 — obojczyk, 11 — oczodoł, 12 — dwa doły skroniowe, 13 — pojedynczy dół skroniowy). Nie uwzględniono czaszki parapsydalnej.

Kregostup pierwszych gadów posiadał już prawdopodobnie pięć odcinków: szyjny, piersiowy, lędźwiowy, krzyżowy i ogonowy. Kręgi w kregostupie miały trzony głęboko dwuwklęsłe, poprzedzane dość dużym, centralnym otworem dla struny grzbietowej (por. to z rybami trzonowymi i meandrowcami). Wszystkie kręgi miały zebra, przy czym te z odcinka piersiowego łączyły się z mostkiem, tworząc kłakę piersiową. Tego typu prymitywne stosunki w kregostupie zachowały się u niektórych gadów do dzisiaj. Widoczne to jest u słynnej nowozelandzkiej **hatteli** i gekonów, których kregostupy zawierają resztki struny grzbietowej.



Ryc. 136. Sylwetki niektórych żółwi współczesnych: promieniasty z Madagaskaru (A), słonowy z Galapagos (B), morski, ciepłolubny zielony (C) i nasz krajowy błoty (D). Rycina pomija porcję wielkości!

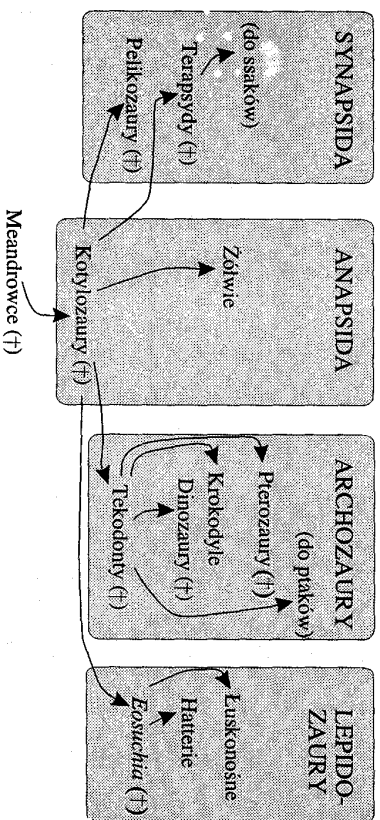
Szkielety kończyny kotylozaurów nie odbiegały w istotny sposób od schematu podstawowego. Stosunki panujące u płazów przypominało też szerokie rozstawienie kończyn na boki (por. Ryc. 135 A). O innych szczegółach budowy anatomicznej tych zwierząt wiemy niewiele.

KOTYLOZAURY I ŻÓŁWIE TWORZĄ PODGROMADĘ ANAPSIDA

Żółwie najprawdopodobniej powstały właśnie z kotylozaurów (por. Ryc. 137). Uczęciwie mówiąc, związki filogenetyczne między tymi grupami są niejasne. Niewątpliwie jednak mają ten sam typ budowy czaszki i dlatego łączymy je w jedną podgromadę: *Anapsida*. Pomimo to już

pierwsze zółwie (z triasu) wykazywały charakterystyczną cechę — pancerz okrywający ciało, składający się z tzw. łarcz. Usztymwienie tułowia spowodowało, że ruchliwość kręgów u zółwi zachowała się tylko w odcinku szyjnym.

Wzór łarcz kostnych i rogowych jest także podstawą systematyki zółwi (por. Ryc. 136). Część zółwi wiotnie opanowała wody słodkie i słone — ich pancerze są lżejsze i smuklejsze. Poza tym dobrze pływiają. Niektóre kopalne gatunki zółwi miały zęby, ale u współczesnych zostały one zastąpione rogowym dziobem. W Polsce żyje dzisiaj tylko **zółw błotny** (por. Ryc. 136), ale jest to gatunek bardzo poważnie zagrożony.



Ryc. 137. Uproszczone drzewo rodowe gadów (*Parapsida* pominięto zupełnie).

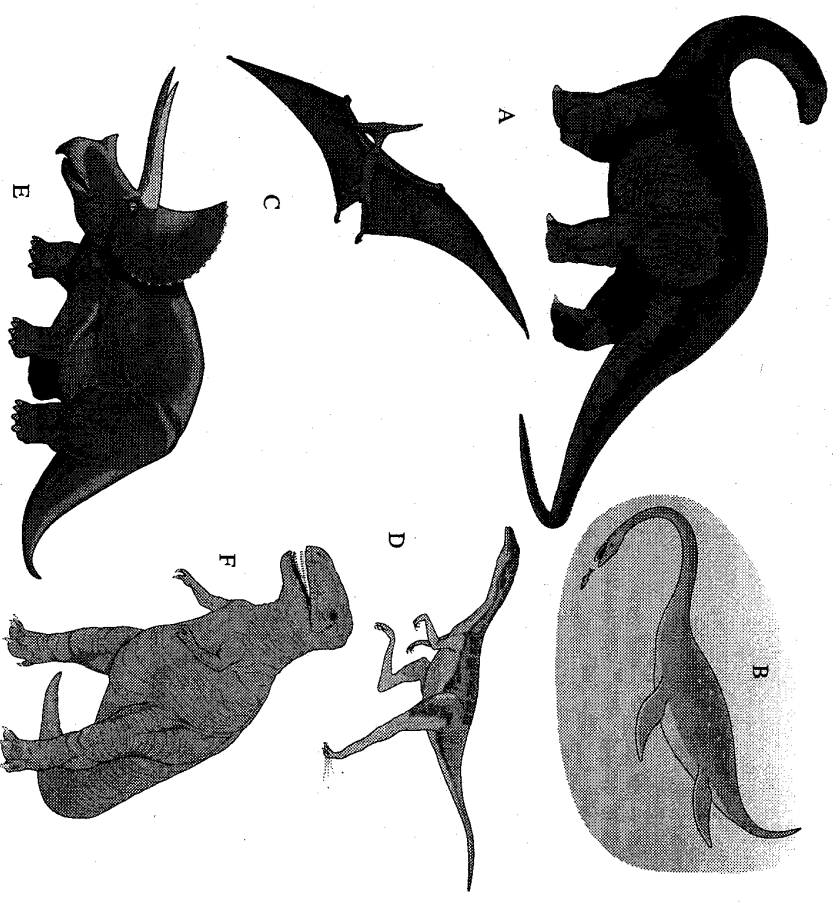
TRZON ROZWOJOWY GADÓW STANOWIŁY ARCHOZAUURY

Pierwszymi archozaurami były niewątpliwie **tekodonty**. Przedstawiciele tego wymarłego szerepu znani są już z triasu. Tekodonty miały diapsydalną czaszkę (por. Ryc. 135 C) z dwoma dołami skroniowymi i mocniejsze niż korylozaury uzębienie. Zęby tekodontów osadzone były w zębodołach, co określamy jako **tekodontyzm** (por. Ryc. 142). Do progresywnych tendencji należy też zaliczyć stopniową redukcję kończyn przednich i rozwój lokomocji dwunożnej. Zmiany te związane były ze wzmocnieniem miednicy i podciąganiem kończyn pod ciało.

Uważamy dzisiaj, że tekodonty stanowiły linię wyjściową dla całej podgromady **archozaurów**, które szeroko rozprzeszczerły się w mezozoiku (por. Ryc. 137). Dzielimy je na: **tekodonty**, **dinozaury**, **pterozaury** (gady latające) i **krokodyły**.

Większość archozaurów, które opanowały lądy w mezozoiku, można zebrać w grupę dinozaurów (por. Ryc. 138). Pojęcie to jest dość „elastyczne”, ponieważ zbiera w jedną całość dwa duże rzędy: *Saurischia* (gady gadziomiednicowe) i *Ornithischia* (gady ptasiomiednicowe). Obie te grupy powstały niezależnie z tekodontów i przechodziły nieco inny rozwój.

ĆWICZ: W niektórych źródłach dinozaury nazywa się zwierzętami prymitywnymi, niewiele sprawniejszymi niż płazy. Spróbuj więc znaleźć argumenty, które popartyby taką oto ryzykowną tezę: dinozaury należałyby wyłączyć z systematyki gadów i utworzyć z nich osobną gromadę. Proponuj podział klasy na dwa obozy — zwolenników i przeciwników tego sformułowania.



Ryc. 138. Dinozaury: brontozaur (A), pterozaur (B), Pteranodon (C), Ornithomimus (D), Triceratops (E) i tyranozaur (F). Przypominam, że podobnie jak na innych rycinach, proporcje wielkości pominięto.

CECHĄ ODRÓŻNIAJĄCĄ WYMENIONE GRUPY JEST BUDOWA MIEDNICY

Te pierwsze (*Saurischia*) miały miednicę określona jako gadzia — z kością łonową skierowaną do przodu i w dół. Wśród wielu przedstawicieli zwracają uwagę **teropody** — w większości dwunożne drapieżniki. To do nich zaliczany jest słynny *Tyrannosaurus*, osiągający 10 m długości, 6 m wysokości, jego lekka czaszka miała długość 180 cm, a zęby ponad 20 cm (por. Ryc. 138). Dlatego też w filmie Spilberga „Park Jurajski” jest postacią bardzo efektowną. Jeśli możesz, obejrzyj ten film w kinie nad dużym ekranie. Zwróć uwagę nie na fabułę, lecz fantastyczne rekonstrukcje budowy i biologii, np. na mięśnie, skórę, mechanikę ruchu. W tym kontekście fakt, że większość z gatunków, które pojawiły się w filmie pochodziła z okresu kredowego ma już mniejsze znaczenie. Jeszcze większym drapieżnikiem, być może największym lądowym mięsożercą, był *Tarbosaurus* osiągający 14 m długości i 8 m wysokości. Jego szczątki odnaleziono przez Polaków na pustyni Gobi zostały przywiezione do kraju. Do gadziomiednicowych zalicza się też

sauropody — monstrualne gady roślinojerne. Ze względu na swoją masę wtórnie przeszły na czworonożność. Dla przykładu *Brontosaurus* mierzył ok. 20 m długości i ważył ponad 30 ton. *Diplodocus* był jeszcze dłuższy, ale lżejszy (tylko 20—22 tony!). Niektórzy paleontolodzy uważają, że te wielkie gady prowadziły wodno-łądowy tryb życia — pozostawały bowiem zwierzone w dość płytkich zbiornikach słodkowodnych, a nad lustrzo wody wystawały tylko ich długie szyje. Kłopot w tym, że jaja musiały (?) być składane na lądzie. Jednak z trudem tylko można wyobrazić sobie jak ważyły 60—80 ton *Brachiosaurus* wychodził majestatycznie z wody.

Pasiornicznicowe miały miednicę określonej jako płaską (por. zresztą ptaki). Ich kość tonowa biegła ± równolegle do kręgosłupa. W tylnym odcinku przysztapała do kości kulszowej, w przednim była wolna, biegła ku przodowi i w górę. Jak się wydaje, *Ornithia* bez wyjątku były roślinojercami. Tutaj także widoczna jest dwunożność, np. 7,5 metrowy *Iguanodon* odkryty w Belgii, w 1822 r. czy tzw. dinozaury kaczodziobe. W Ameryce Północnej i Azji liczne były lekkie, bezzębne i dwunożne dinozaury z rodzaju *Ornithomimus*. Do najbardziej znanych przedstawicieli należy jednak 7-metrowy, wtórnie czworonożny *Stegosaurus*, którego grzbiet okrywały wzniesione tarce kostne, a także *Triceratops* — 7 metrowy (długość) dinozaur rogaty z charakterystycznym kolnierzem kostnym na karku i potrojnymi wyrostkami rogowymi czaszki (por. Ryc. 138).

PTEROZAUURY OPANOWAŁY UMIEJĘTNOŚĆ LATANIA

Były to pierwsze latające zwierzęta o tak znacznych rozmiarach. Gady takie pojawiały się dopiero w jurze i miały dość delikatne szkielety (przynajmniej część kośćca była pneumatyczna). Najliczniej występowały w okolicach nadbrzeżnych, a ich tryb życia oparty był o wytrwały lot ślizgowy na potężnych skrzydłach, czym przypominał współczesne albatrosy. Skrzydła pterozaurów tworzone były przez fałd skóry rozpięty na monstrualnym IV-ym palcu końcowym przedniej (reszta była zredukowana). O tym, że pterozauury słabo latały aktywnie, świadczy mały grzebień na mostku, natomiast na pewno były dobrymi wzrokowcami (porównaj to z ptakami). Najdziwniejsze jest jednak to, że prawdopodobnie były owosione (!?). Ich rozmiary wahały się w szerokiej granicach — od kilkudziesięciu cm rozpiętości skrzydeł do nieco ponad 7 m u bezzębnego pteranodona (największego zwierzęcia, jakie kiedykolwiek latało; por. Ryc. 138).

SPOŚRÓD ARCHOZAUURÓW DO DZISIAJ ŻYJĄ JEDYNIEMIE KROKODYLE

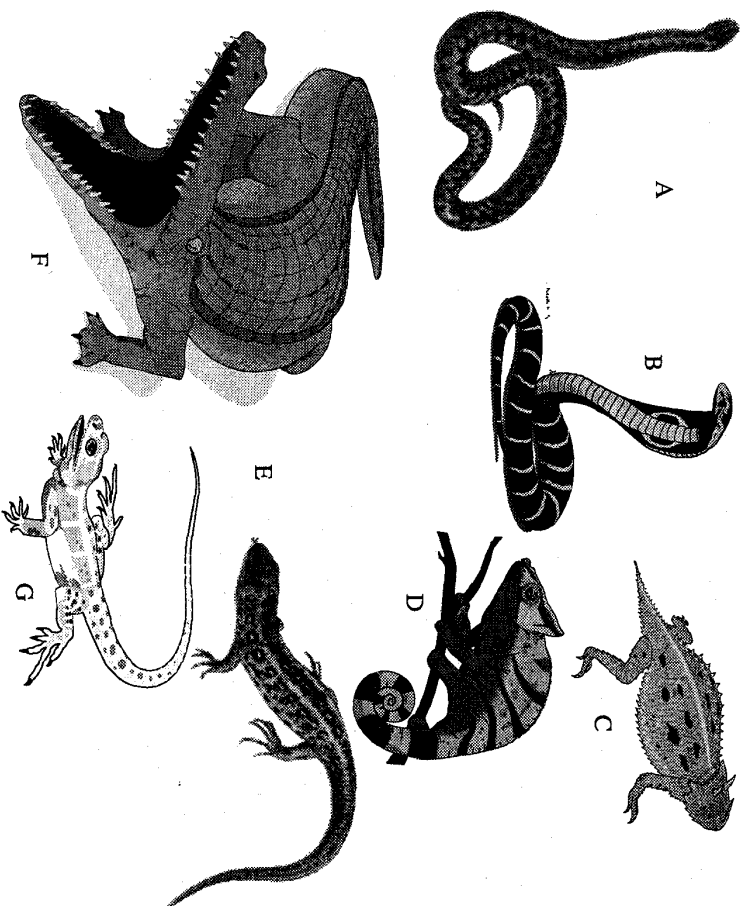
Dzisiaj jest to meliczna grupa gadów o dobrze rozwiniętym podniebieniu wtórnym, posiadająca czterojamiste serce i błoniastą „przeponę”, oddzielającą jamę piersiową od brzusznej. Współczesnie archozauury reprezentowane są tylko przez dwie rodziny: krokodylowate (20 gat.) i gawiałowate (1 gat.). W Polsce nie występują (por. Ryc. 139).

Z KOTYLLOZAUURÓW WYPPROWADZA SIĘ TAKŻE GRUPĘ LEPIDOZAUURÓW

Gady z podgromady *Lepidosauria* cechuje czaszka z dwoma dotarni skroniowymi, czyli diapsydalna (por. ponownie Ryc. 135 C) oraz czworonożność. Do najprymitywniejszych lepidozaurów należą pemskie i trasowe *Eosuchia* — pokrojem przypominające jaszczurki. Z nich wywodzą się ryłcogłowy i łuskonosne.

Ryłcogłowy (hatterie) były liczne w mezozoiku, ale dzisiaj reprezentowane są już tylko przez 1 gatunek — *Hatteria* (*Sphenodon punctatus*). Gatunek ten zamieszkiwał całą Nową Zelandię jeszcze w czasach historycznych, jednak dzisiaj utrzymuje się jedynie na kilkunastu wyspach w jej sąsiedztwie. *Hatteria* (w języku tubylców: tuatara) jest dowodem na wolne tempo ewolucji występujące w niektórych szczeplach — przypomina bowiem swoich przodków sprzed

130 mln. lat. W jej sercu zachowała się jeszcze niewielka zatoka żylna, a między lekko dwuwklęsłymi kręganmi reszki struny grzbietowej. Do prymitywnych cech można też zaliczyć workowate płuca o dość małej powierzchni i obecność trzeciego oka — ciemniowego. Ciekawe jest też, że jak na gada *hatteria* ma niewielkie wymaganie termiczne (optimum: 9° do 11° C). *Hatteria* jest bardzo rzadkim reliktem i endemitem, należy więc do gatunków bezwzględnie chronionych. Osiąga 60 cm długości, żywi się owadami i pisklętami ptaków, żyje do 100 lat.



Ryc. 139. Sylwetki niektórych gadów współczesnych: nasza żmija zygzakowata (A), kobra-najia (B), amerykańska jaszczurka — fymosoma rogata (C), kameleon (D), królowa jaszczurka zwinka (E), aligator (F) i agama (G).

Zdecydowanie najlepiej zachowaną grupą lepidozaurów i gadów w ogóle, są dzisiaj łuskonosne, które dzielimy na dwa duże rzędy:

Jaszczurki (*Sauria*, *Lacertilia*) — liczący ok. 3 000 gatunków (por. Ryc. 139). Do najważniejszych należy zaliczyć: **gekony**, **legwany**, **kameleony**, **jaszczurki właściwe** i **warany**. Zwycię są czworonożne, mają kinetyczną czaszkę i liczne, ruchliwe kręgi w kręgosłupie.

Wężę (*Serpentes*) — liczący ok. 2 600 gatunków. Gady te pochodzą od najprymitywniejszych jaszczurek, które utraciły kończyny i przeszły na „wężowy”, wijący się sposób poruszania. Pomagaly im w tym łuski struszące się w odpowiednich momentach. Wężę mają bardzo kine-

tyczną czaszkę, liczne kręgi (do 430). Zwykle nie posiadają mostka, kończyn (u dusicielei pas biodrowy jest szczątkowy) oraz lewego płuca. Rozkwit tej grupy związany jest z radiacją ssaków w trzeciorzędzie, chociaż pokamieniem węży mogą też być owady, młeczaki a nawet kraby.

Wczesnymi potomkami kotylozaurów były także gady ssakokształtne

Gady ssakokształtne (*Synapsida*) posiadały czaszkę typu synapsydalnego, z jednym dołem skroniowym (por. Ryc. 135 D). Wymarły wcześniej, bo pod koniec triasu, ale tendencje, które pojawiły się w tej grupie, znalazły „zastosowanie” u ssaków. Należą do nich: przechodzenie na heterodontyzm, czworonożność, podciągnięte kończyny pod ciało i „ssacze” ustawienie stawów kolanowego i łokciowego. Ponadto rozwój warg, policzków i języka, a także prawdopodobna statociepność.

Gady ssakokształtne dzieli się na:

Pelkozaurowy — znane już od karbonu. Ich cechą charakterystyczną był grzbietowy fałd skóry, przypominający kształtem żagiel, który mógł służyć do nagrzewania bądź schładzania zwierzęcia;

Terapsydy (*Therapsida*) — były prawdopodobnie bezpośrednimi przodkami ssaków. Zostały scharakteryzowane w ROZDZ. 28.

Gady o czaszce z jednym dołem skroniowym ograniczonym od dołu zalicza się do podgromady *Parapsida*. Była to zróżnicowana grupa o dość wątpliwym pokrewieństwie i dlatego nie ujęto ich na Ryc. 137. Dla nas najważniejsze jest to, że wtórnie przeszły do środowiska wodnego. Dzieli się je na:

Saurapterygi — morskie gady o „beczkowatym” tułowiu, „pagajowatych” płetwach i długiej, smukłej szyi. Najbardziej znane spośród tej grupy były **plejzozaurowy** (por. Ryc. 138);

Ichthozaurowy — związane całkowicie z wodą, żyworodne gady, morfologicznie przypominające rekiny i delfiny (są to ewidentne dowody ewolucji konwergentnej!).

Na koniec podsumujmy prawdopodobną „ścieżkę” ewolucyjną prowadzącą do gadów:

meandrowce → kotylozaurowy → gadokształtne.

Pytania i polecenia kontrolne:

1. W jaki sposób gady usprawniły gospodarkę wodną? Czy było to konieczne — odpowiedź uzasadnij.
2. Jakie zmiany w budowie i fizjologii pozwoliły uniezależnić rozród gadów od obecności wody?
3. Jak przebiegała w ogólnych zarysach radiacja adaptacyjna gadów?
4. Wymień znane Ci typy konstrukcyjne czaszek gadów. Scharakteryzuj jeden z nich.
5. Scharakteryzuj tektoniczny stanowiący trzon rozwojowy gadów.
6. Jakże dwie grupy gadów zaliczamy do dinozaurów? Wykaz istotną różnicę w budowie szkieletu pomiędzy tymi grupami.
7. W materiałach źródłowych znajdź informacje pozwalające Ci na wykazanie wielkiej różnorodności i dużej specyfiki „dinozaurów”.

24. Charakterystyka gadów

Gromada: Gady (*Reptilia*)

nauka: herpetologia

Gady są pierwszymi kręgowcami, które skutecznie opanowały wszystkie zasadnicze typy środowisk życiowych. Do ich poznania będziesz mógł wykorzystać znajomość budowy i czynności życiowych jaszczurek.

Budowa morfologiczna

W CIELE PRZECIĘTNEGO GADA MOŻNA JUŻ WYRÓŻNIĆ ODCINEK SZYJNY

Pomimo, iż morfologicznie odróżnienie szyi od korpusu jest czasem kłopotliwe, to zasadniczo u gadów wyróżnia się następujące części ciała: głowę, szyję, tułów i ogon (por. Ryc. 140). W przypadku węży i bezogich jaszczurek, a także niektórych form kopalnych (np. ichthozaurów) taki podział nie jest możliwy — są to jednak grupy wąsko wyspecjalizowane, które powstały z gatunków „typowych”.



Ryc. 140. Ogólna budowa morfologiczna jaszczurki.

Podobnie rzecz ma się z kończynami — dwie pary kończyn wolnych typu lokomocyjnego, o planie budowy takim samym jak u płazów, to „norma”. Jednak u gadów funkcjonują bardzo różnorodne rozwiązania: od pozabawionych kończyn węży do uskrzydłonych pterozaurów (por. radiacja adaptacyjna i przegląd gadów w ROZDZ. 23).

System lokomocyjny pierwszych gadów bardzo przypominał ten, który funkcjonował u meandrowców. Stopniowo jednak następował wzrost sprawności ruchowej spowodowany głównie wzmocnieniem kośćca i muskulatury. Poza tym zmieniło się ustawienie kończyn względem korpusu. Widać, że u większości gadów są one częściowo podciągnięte pod ciało (por. Ryc. 140).

W przypadku żółwi prymitywne rozstawienie kończyn szeroko na boki zachowało się praktycznie bez zmian. Poza tym u części gatunków wodnych przednie kończyny uległy przekształceniu w płetwy (nazwa ta nie oznacza, że są homologiczne z płetwami ryb!). Ich ruchy, przypominające machanie skrzydłami ptaków, pozwalają na sprawną lokomocję w toni wodnej (por. Ryc. 136). W tych warunkach tylne kończyny są słabsze i spełniają funkcję sterów kierunkowych. W podobny do opisanego sposób poruszały się zapewne także „beczkokształtne” plejzozaurowy (por. Ryc. 138).

Węże i jaszczurki udoskonaliły wiążące ruchy tułowia i ogona (szczególnie widać to u tych pierwszych). U jaszczurek kończyny są rozstawione na boki. Krokodyły mogą na krótkich dystansach biegać na wyprostowanych nogach, w wodzie zaś jako narzędzi lokomocyjnego używają potężnego ogona. Wśród form kopalnych pojawiły się też tendencje do całkowitego podciągania kończyn pod ciało. Tak funkcjonowały, np. dwunożne, mezozoiczne dinozaurowy, które zapewne podziwiałeś w „Parku Jurajskim”. Spielberga (por. także tekst dalej). Nicco odmienna strategia

ruchowa zaznaczyła się u gadów ssakokształtnych. Zwierzęta te rozwijały lokomcję czworonożną, jak np. jaszczurki, ale w przeciwieństwie do nich, podciągnęły kończyny pod ciało i zmieniły w nich ułożenie najważniejszych stawów. Dato to wyraźny wzrost sprawności ruchowej (por. pochodzenie ssaków).

Pokrycie ciała

W porównaniu z płazami nastąpiły tutaj bardzo istotne zmiany. Przede wszystkim wielowarstwowy nabłonek pokrywający skórę rogowacieje i tworzy płytkowate twory, które najczęściej zachodzą na siebie dachówkowato. Przypomina to nieco pancierz jaskrawy, czyli koleżugę (por. to z rybami). Zrogowacenia przyjmują postać tusek albo tarcz. Te pierwsze są szczególnie dobrze widoczne u jaszczurek i węży. Mało kto wie, że głowę jaszczurka, grzbiet krokodyli i panцерz żółwi pokrywają duże tarcze rogowe. Pod nimi leżą łącznotkankowe skostnienia — tarcze kostne. Te dwa elementy, chociaż nie pokrywają się dokładnie, to jednak tworzą bardzo mocną okrywę chroniącą zwierzę przed urazami mechanicznymi.

W przypadku u tusek ich części zanurzone w skórze są miękkie i mogą się przesuwać między sobą, dlatego tuskowa „zbroja” nie ogranicza możliwości ruchowych zwierzęcia, chociaż nie bardzo nadaje się na konstrukcję szkieletową. Nie ma to jednak żadnego znaczenia, gdyż (jak już wiesz) kręgowce mają szkielet wewnętrzny!

Zakładanie się tusek u gadów jest z pewnością interesujące. Otóż zawiązek takiego tworu powstaje w zarodku jako wgłówek (kanki łącznej skóry właściwej, pokryty nabłonkiem. Tak więc część wolna tuszki (to, co widać na zewnątrz) jest pochodzenia naskórkowego, a część zanurzona — łącznotkankowego. W wielu podręcznikach szkolnych napisano, że tuszki gadów są tworami naskórkowymi. Jak widać stwierdzenie to jest pewnym uproszczeniem, ale możemy przy nim pozostać.

Jak każda warstwa zewnętrzna, tak i naskórek gadów narażony jest na niszczenie, dlatego może on odrastać w sposób stopniowy (jak u krokodyli) albo złuszczać się całymi płatami. W tym ostatnim przypadku mówimy o wylince (np. u jaszczurki i węży). W przypadku grzechotników suchłe reszki kolejnych wyliniek gromadzą się na końcu ogona, tworząc grzechotkę. Z kolei u niektórych gatunków żółwi wylinki pozostawiają trwałe ślady na pancerczu, co przypominają słoje przyrostów rocznych w drzewnie). Pozwalają one dość dokładnie określić wiek zwierzęcia. Sterowana hormonalnie częstość wyliniek zależy głównie od wieku osobnika, pory roku i temperatury otoczenia.

CIAŁO WIELU GADÓW JEST JASKRAWO UBARWIONE

Możliwości tutaj jest bardzo wiele. Wśród węży spotyka się formy bardzo, wręcz wyzywająco, kolorowe. Może to być sygnałem posiadania gruczołów jadowych, chociaż niekiedy nie. Inne gatunki doskonale maskują się w swoim środowisku. Szczytem „ekstrawaganckich” możliwości jest znany **kameleon**, który może zmieniać ubarwienie ciała w zależności od rodzaju podłoża i innych bodźców. Barwa służy też czasem do podkreślenia dymorfizmu płciowego, np. bardziej jaskrawe ubarwienie samców naszych, krajowych jaszczurek w porze godowej.

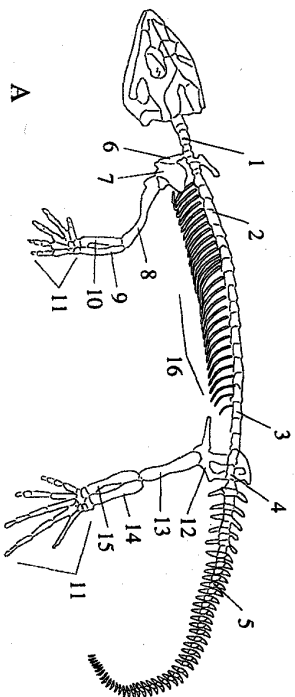
CHARAKTERYSTYCZNY DLA GADÓW JEST BRAK GRUCZOŁÓW W POWŁOKACH CIAŁA

W rzeczywistości gruczoły skórne występują, ale są bardzo nieliczne i dlatego dotykając jaszczurki, nie czuje się wilgoci. Wśród gruczołów nie ma słuzowych, a jedynie: zapachowe, służące do komunikacji międzyosobniczej i (u niektórych) jadowe, spełniające rolę zaczepno-obronną.

Dzięki rogowemu, nieprzepuszczalnemu dla wody naskórkowi oraz prawie zupełnemu zredukowaniu liczby gruczołów skórnych, parowanie przez powłoki ciała u jaszczurek jest około 100 razy mniejsze niż u żab (!). Dodatkową zaletą takiego rozwiązania jest możliwość przebywania w środowiskach hipertonicznych (por. niżej — układ wydalniczy). Dla gospodarci osmotycznej nie jest też obojętne, że większość gadów ma specjalne gruczoły zdolne do wydalenia bardzo siężonych roztworów związków mineralnych, np. morskie gatunki mają gruczoły solne, wydalające solankę. Tego rodzaju gruczoły wielokomórkowe występują w skórze głowy i uchodzą do worka spojówkowego lub do jamy gębowej.

Szkielet

1. Osiwoły (por. Ryc. 141):



Ryc. 141.

Szkielet jaszczurki: wygląd ogólny (A) i powiększenie czaszki (B) (1 — kręgi szyjne, 2 — kręgi piersiowe, 3 — kręgi lędźwiowe, 4 — k. krzyżowa, 5 — kręgi ogonowe, 6 — obójczyk, 7 — łopata, 8 — k. ramieniowa, 9 — k. łokciowa, 10 — k. promienna, 11 — autopodium, 12 — miednica, 13 — k. udowa, 14 — k. piszczelowa, 15 — k. strzałkowa, 16 — żebra, 17 — k. zębowa, 18 — k. szczękowa, 19 — k. międzyszczękowa, 20 — otwór nosowy, 21 — k. nosowa, 22 — k. czołowa, 23 — k. oczodołowa, 24 — k. cienienna, 25 — k. potyliczna, 26 — k. kwadratowa, 27 — kłykiec potyliczny, 28 — k. stawowa).

A) czaszka jest zmieniona w stosunku do płazów. Generalnie u gadów jest wyższa i większa oraz bardziej skostniała. Najstarsi przedstawiciele tej gromady mieli silny i jednolity panцерz bocznej i górnej powierzchni głowy, w którym jedynymi otworami były te dla narządów zmysłów (por. kotylozaury i Ryc. 135). Z czasem kości pokrywające czaszkę uległy redukcji, przez co głowa stawiała się lżejsza przy takiej samej odporności mechanicznej. Doprowadziło to m.in. do powstania wspomnianych już tzw. dołów skroniowych.

O mózgowcaszce wystarczy wiedzieć, że jest niewielka, podobnie jak masa ochranianego przez nią mózgu (por. niżej). U żółwi i krokodyli szczęką góna zrasza się z nią nieruchomo. W ten sposób powstaje czaszka akineyczna, w której jedynym stawem jest zuchwowy. U luskonośnych istnieje dodatkowa możliwość ruchu kości kwadratowej albo wręcz całej szczęki górnej — są to więc czaszki kinetyczne. Przypuszcza się, że wewnętrzna

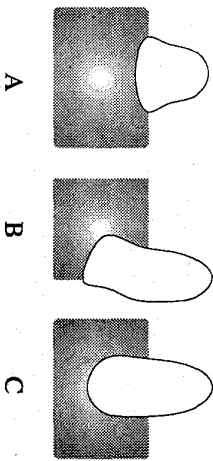
B ruchliwość tej części szkieletu została przez niektóre gady odziedziczona po najprymitywniejszych płazach.

ZUCHWA GADÓW ZBUDOWANA JEST Z LICZNYCH KOŚCI

Jest to dość dziwna i na pewno pierwotna cecha, gdyż nie wznacenia konstrukcji szczęki dolnej. Tym niemniej w żuchwie gadów występuje do 6 (niektóre źródła podają, że do 7) kości. Staw żuchwowy tych czworonogów tworzony jest:

- a) od strony żuchwy — przez **kość stawową**,
- b) od strony mózgozaszki — przez **kość kwadratową**.

Przypomina to stosunki panujące u płazów. Jedynie w szeregu rozwojowym gadów prowadzącym do ssaków, kość zębowa miała tendencje do rozrostu (por. ROZDZ. 28 — ssaki), a pozostałe elementy żuchwy do redukcji.



Ryc. 142. Schemat typów mocowania zębów u gadów. Zęby: akrodontyczny (A), pleurodontyczny (B) i tekdontyczny (C).

UZĘBIENIE GADÓW JEST HOMODONTYCZNE

Zacznijmy jednak od tego, że nie wszystkie gady mają jakiegokolwiek zęby. Przykładowo żółwie posiadają na obu szczękach rogowe okrywy nazywane dziobem. Umożliwia on co prawda efektywne cięcie pokarmu, jednak żucie tutaj zupełnie „odpada”, dlatego żółwie roślinożerne muszą pobierać relatywnie dużo pokarmu (zastanów się, dlaczego?). Zęby węży zupełnie nie nadają się do rozdrabniania pokarmu, sąd ich rola ogranicza się do przytrzymywania ofiary i (lub) wprowadzania jadu. O tym, że węże połykają swoje ofiary w całości, chyba wiesz (podobnie jak o tym, że ich czaszki są wybitnie kinetyczne, co pozwala przekręcić obiekt (ofiary) przekraczające średnicę samego drapieżcy. Krokodyły mają liczne, stożkowe zęby (uzębienie typu homo- i tekdontycznego oraz polifodontycznego). W przypadku jaszczurek uzębienie albo przypomina pokrojowo stosunki panujące u krokodyli, albo przystosowane jest do cięcia i miażdżenia pokarmu (nie można tu jednak mówić o zróżnicowaniu zębów). Zęby gadów są wymieniane całe życie (wspomniany już polifodontyzm), rzadko tylko (np. u starszych osobników hatenii) wymiana ustaje. U dużej części grup kopalnych, ssakokształtnych, tekdontów i ich potomków oraz u krokodyli połączenie zębów z kośćmi szczęk ulega wzmocnieniu. Ten typ uzębienia nazywamy **tekdontycznym** (por. Ryc. 142 C) gdyż zęby występują w zębodołach. U innych, bardziej pierwotnych gadów zęby są słabiej zamocowane. Mogą więc być: **akrodontyczne** — tzn. przystają do górnych powierzchni kości (por. Ryc. 142 A) albo **pleurodontyczne** — tzn. przystają od wewnątrz do boczno-górnych powierzchni kości (por. Ryc. 142 B).

CZASZKA GADÓW KOPALNYCH ZESTAWIAŁA SIĘ Z KRĘGOSŁUPEM JEDNYM KŁYKCIEM POTYLICZNYM

Dotyczy to także wszystkich współczesnych gatunków. Obecność tylko jednego kłykcia pozwala na zwiększenie ruchliwości głowy. Jednak rzeczywiście zdolności ruchowe głowa za-

wdzięcza odcinkowi szyjnemu kręgosłupa. U gadów tworzą go kręgi z których dwa początkowo uległy znacznym modyfikacjom. Pierwszy krąg — nazywany **dźwigaczem (axis)** tworzy tylko pierścień kosiny. Praktycznie składa się on z łuku nerwowego i wyrostków poprzecznych. Natomiast jego trzon zróśli się z trzonem drugiego kręgu — **obrotnika (axis)**, tworząc tzw. ząb obrotnika (wyrostek zębowy). „Palcowaty” ząb obrotnika „wchodzi” w otwór dźwigacza i umożliwia jego obracanie wokół długości osi — pozwala to na kręcenie głowy.

Dodajmy jeszcze, że ogólna liczba kręgów w odcinku szyjnym już u prymitywnych gadów wynosiła 7 (w tym dwa omówione powyżej) i taka liczba cechuje większość współczesnych gatunków. Pozwoliło to na osiągnięcie pełnej ruchomości głowy.

B) kręgosłup i klatka piersiowa. Ogólnie rzecz biorąc

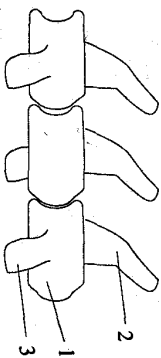
KRĘGOSŁUP GADÓW DZIELI SIĘ NA PIĘĆ ODCINKÓW:

szyjny, piersiowy, lędźwiowy, krzyżowy i ogonowy (por. Ryc. 141). W piersiowym i lędźwiowym kręgi posiadają powierzchnie stawowe dla zeber. Tyle tylko, że w tym pierwszym zebra sięgają mostka, tworząc klatkę piersiową, a w drugim są krótsze, mają ograniczoną ruchomość i oczywiście nie łączą się z mostkiem. Odcinek krzyżowy tworzą kręgi zlewające się w kość krzyżową. U gadów współczesnych są dwa kręgi krzyżowe, u dinozaurów mogło być ich nawet pięć. Jedynie formy najprymitywniejsze, np. *Seymouria* miały 1,5 kręgu w odcinku krzyżowym (należy jednak pamiętać, że zwierzę to było raczej płazem!). Wracając do gatunków „typowych” — skrócone silnie zebra tego odcinka zrastają się z miednicą. W ten sposób powstaje znacznie silniejsze niż u płazów zestawienie pasa biodrowego ze szkieletem osiowym.

Charakterystyczną, chociaż niespecyficzną, cechą gadów jest posiadanie ogona. Kręgi w tym odcinku nie wykazują specjalnych przystosowań. Jedynie w większości jaszczurek i hatenii trzony w ognie rozdzielone są warstwą tkanki łącznej. W sytuacji zagrożenia silny skurcz mięśni ogona może doprowadzić do oderwania jego części (tu: **autotomii**). Jakże ma to znaczenie w obronie przed wrogami, przemyśli sam. Ciekawostką stanowi też fakt, że zwierzęta te mają dostatecznie duże zdolności regeneracyjne, aby odtworzyć utraconą część ogona. Jednak regenerat jest nieco mniejszy i zawiera tylko chrząstki i niewielki pęczek zmięśnia kręgosłupa.

U WIĘKSZOŚCI GADÓW ZMIANY SZŁY W KIERUNKU ZWIĘKSZENIA RUCHLIWOŚCI KRĘGOSŁUPA

Pierwsze gady: kotylozauury i peltkozauury miały trzony kręgów głęboko dwuwklęsłe (amficeleczne, porównaj to ze stosunkami panującymi u ryb trzonopletwowych i prymitywnych płazów). Przez ich środek przebiegał kanał centralny, w którym zachowywała się struna grzbietowa. Resztki struny zachowują się jeszcze u hatenii i gekonów (prymitywnych jaszczurek). U gadów ewolucja szła w kierunku wytworzenia stawów jamowych. Stało się to możliwe po wykształceniu **przodowklęsłości (procelii)**, por. Ryc. 143) u węży i jaszczurek — w ten sposób zwierzęta te mogły esowato wyginać ciało na boki. Pozwala to na sprawną lokomocję. W przypadku jaszczurek jest to bardzo ważne, gdyż płaszczysty zgięcia głównych stawów kończyn są zasadniczo prostopadłe do długiej osi ciała.



Ryc. 143. Schemat konstrukcji kręgów przodowklęsłych. Widoczna jest wklęsła powierzchnia trzonów od przodu i wypukła od tyłu, tworzą one powierzchnię stawu jamowego (1 — trzon kręgu, 2 — łuk nerwowy, 3 — wyrostek poprzeczny).

U krokodyli oraz sporej części form kopalnych kregi mają w odcinku tułowym spłaszczone powierzenie — między nimi uformowały się dyski międzykręgowe. Ogranicza to ruchliwość tego odcinka kregostupa, ale jednocześnie go wzmacnia. Dla krokodyli nie jest to przeszkodą, gdyż w wodzie posługują się ogonem. Dla innych, np. gadów ssakokształtnych, rozwiązanie to także okazało się korzystne (por. pochodzenie ssaków).

Bardzo dużą ruchliwość szyi żółwie zawdzięczają **tyłokłębności** (*opisthocoelia*). Jest to synnacja jakby odwrócona do przodowłębności. Należy jednak pamiętać, że ogólna liczba kręgów jest cechą gatunkową.

2. Szkielet obręczy i kończyn

KOŚCI PASÓW DZISIEJSZYCH GADÓW SĄ RELATYWNIE SMUKLEJSZE NIŻ U ICH PRZODKÓW

Gady dość szybko osiągnęły większą sprawność ruchową niż płazy, m.in. dzięki przebudowie i rozbudowie elementów szkieletu. Jak już wspominałem, oprócz klasycznej, czworonożnej lokomocji opartej o kończyny rozstawione na boki, pojawiła się **dwunożność**. Bardzo dobrze widać to u dinozaurów, które podciągnęły tylne kończyny pod ciało i wykształciły kość skokową. Wymagało to szczególnie wzmocnienia stawu biodrowego i miednicy, a to stało się możliwe dzięki rozrostowi kości obręczy miednicowej. Być może pamiętasz, że u gadziomiednicowych oraz ptasiomiednicowych funkcjonowały dwa różne rozwiązania. Ponadto u form dwunożnych zaznaczyły się tendencje do redukcji kończyn przednich.

Z kolei pterozaury wykształciły zdolność do lotu. Podstawę powierzeni lotnej tworzył monstrualny IV-ty palec, na którym rozpięty był fałd skóry. W ten sposób powstały bardzo duże skrzydła o rozpiętości dochodzącej do 7—8 m. Bardzo korzystny był stosunek masy ciała do powierzchni u tych zwierząt (ok. 2 kg/m², podczas gdy u ptaków zawsze przekracza 4,5 kg/m²). Zwierzęta te przypominały ogromne latawce i jak się wydaje głównie wykonywały loty szybownicowe, wykorzystując prądy konwekcyjne (porozmawiaj o tym z nauczycielem fizyki).

Współczesne gatunki gadów nie osiągają już takich rozmiarów jak mezozoicznymi gigantami, mają też znacznie delikatniejszy szkielet.

Układ mięśniowy

Jego rozwój szedł w stronę zwiększenia masy mięśniowej, m.in. silniejsza niż u płazów jest muskulatura kończyn oraz szereg. Nastąpił też wzrost liczby włókien mięśniowych w poszczególnych mięśniach szkieletowych, a szczególnie tzw. włókien czerwonych. Warto też zwrócić uwagę na nowe mięśnie oddechowe, umożliwiające ruchy klatki piersiowej.

Układ oddechowy

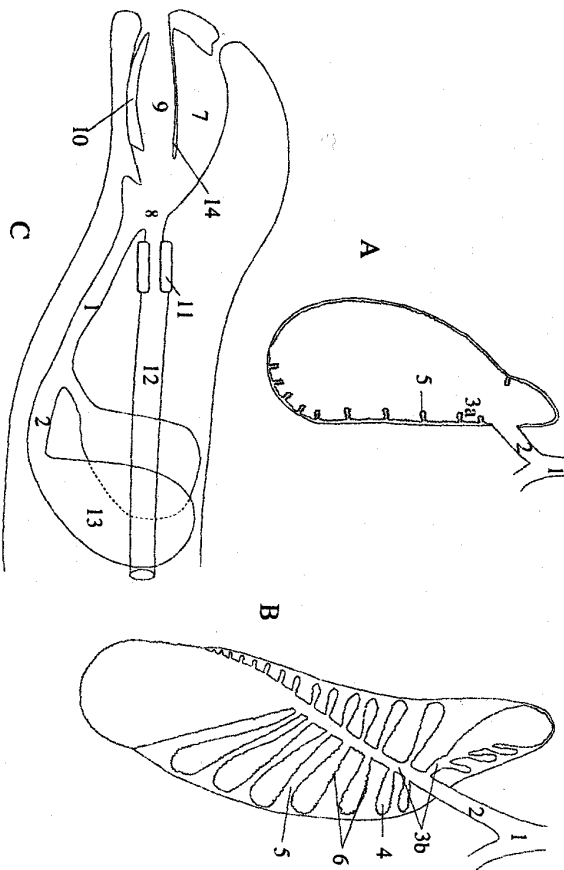
GADY SĄ ZWIERZĘTAMI WYŁĄCZNIE PELUCODYSZNYMI

Jak już wiesz, skóra gadów kompletnie nie nadaje się do wymiany gazowej, stąd dwa wyraźne kierunki usprawniające pracę systemu oddechowego gadów:

- a) powiększenie powierzchni wymiany gazowej,
- b) usprawnienie mechaniki przewietrzania płuc.

Ten pierwszy cel osiąga się przez rozbudowę wewnętrznej architektury płuc. U prymitywnej haterii są one dość podobne do płazich, chociaż dobrze są już widoczne przegrrody pierwotne (por. Ryc. 144). U wyżej uorganizowanych rozwój przegród prowadzi do podzielenia płuc na

komory pęcherzykowe. Powstaje w ten sposób gąbczasty narząd zbudowany z gęsto skupionych przewodów powietrznych i naczyń krwionośnych. W związku z tym płuca gadów nazywamy **gąbczastymi** — mają one dużą powierzchnię wymiany gazowej. Inaczej mówiąc, zmniejszenie ulega przestrzeń martwa. U form zaawansowanych, np. warana do płuc prowadzą oskrzela powstałe z rozgałęzień tchawicy. Krokodyle i gekony posiadają ponadto silne mięsne krani i dzięki temu mogą wydawać dźwięki.



Ryc. 144. Układ oddechowy gadów: A — płuca prymitywnej haterii, B — płuca warana, C — schemat całego ciała (1 — tchawica, 2 — oskrzela płucne, 3a — zawłazek oskrzela pierwotnego, 3b — oskrzela śródplucne, 4 — komora pęcherzykowa, 5 — przegroda pierwotna, 6 — pęcherzykowane zagłębienie powierzchni płuc, 7 — jamy nosowa, 8 — gardło, 9 — jamy gębowe, 10 — język, 11 — mięsień zwieracz przedzłku, 12 — przedzłek, 13 — płuco, 14 — podniebienie).

Realizacja drugiego z wymienionych celów polega na całkowitej zmianie strategii wentylacji płuc, która teraz odbywa się poprzez

RYTMICZNE RUCHY KLATKI PIERSIOWEJ

Warunkiem jest oczywiście posiadanie:

- a) elastycznej klatki zbudowanej z kręgów piersiowych, które zestawiają się stawowo z łukowatymi zębami. Te zaś łączą się chrząstkowatymi z płaską kością mostka. Powstaje mocna, lekka, azurowa konstrukcja obdarzona spora sprężystością;
- b) mięśni międzyżebrowych oraz brzusznych. Ich skurcze pozwalają na zmiany objętości klatki piersiowej, a więc także płuc. Konstrukcja ta działa podobnie jak u człowieka z tym, że gady nie mają przepony (por. jednak krokodyle).

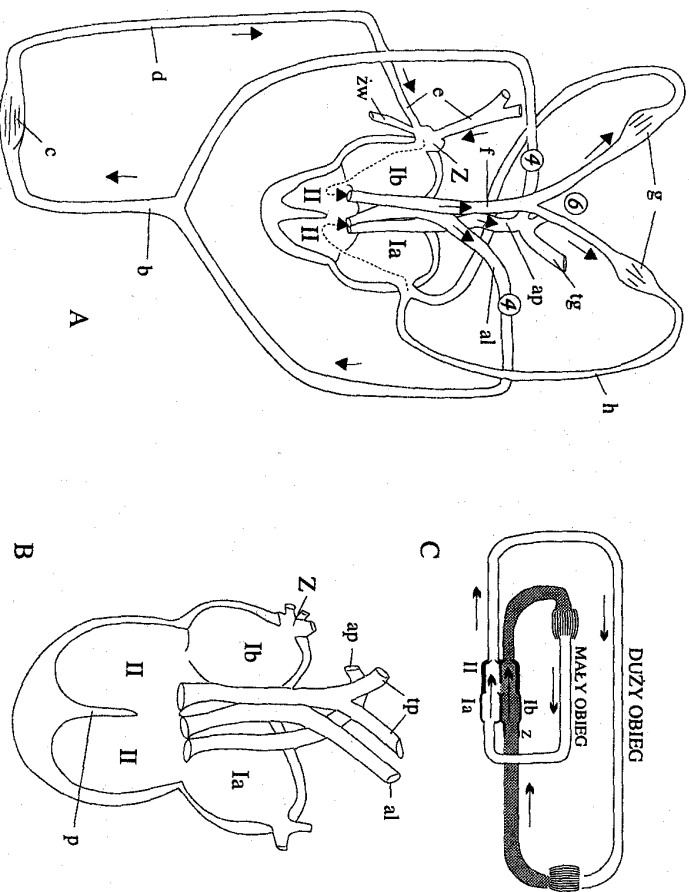
Bezpośrednie zasysanie i wyściskanie powietrza w płucach stanowi znacznie „sprytniejszy” mechanizm niż ten, który wykształciły płazy. Wystarcza to w zupełności na pokrycie zapotrzebowania tlenowego zwierząt o dość wysokim tempie metabolizmu i znaczących rozmiarach ciała (wyobraz sobie tutaj jak biegnie *Tyrannosaurus* — taki jak w „Parku Jurajskim”).

U niektórych żółwi wodnych dodatkową powierzchnię oddechową tworzy też silnie ukrwiona ściana kloaki — można powiedzieć, że zwierzęta te oddychają jelitowo.

Układ krążenia

U GADÓW SERCE DZIELI SIĘ NA CZTERY JAMY: DWA PRZEDSIONKI I DWIE KOMORY

Ta tendencja jest bardzo wyraźna (por. Ryc. 145). Trzeba jednak zaznaczyć, że u większości współczesnych gadów przegroda międzysiekomorowa jest niecałkowita. Jedynie u krokodyli dzieli komorę zupełnie (przyпуска się, że takie rozwiązanie pojawiło się także u dinozaurów i gadów ssakokształtnych). Natomiast zawsze widoczne jest dość znaczne zredukowanie zatoki żyłnej. Oczywiście układ krążenia jest dwuobiegowy, a jego konstrukcja wskazuje wyraźnie na pochodzenie od płazów.



Ryc. 145. Krwioobieg (A) i serce (B) gada oraz schemat ideowy systemu (C). Widoczna jest niecałkowita przegroda międzysiekomorowa (p) oraz losy łuków naczyniowych (cyfry w kółkach) (Ia — lewy przed-sieniek, Ib — prawy przed-sieniek, II — komora, Z — zatoka żylna; al — lewy łuk aorty, ap — prawy łuk aorty; b — aorta grzbietowa, c — naczynia włosowate ściany ciała, d — żyła tylna, e — żyły główne, f — pnie płucny, g — naczynia włosowate płuc, h — żyła płucna, tp — tętnice płucne, tg — tętnica głowowa, żw — żyła wątrobowa). Szary kolor symbolizuje krew odtlenowaną.

Krew utlenowana w naczyniach włosowatych gąbczastych płuc gada wraca do serca dzięki żyłom płucnym, które uchodzą do lewego przedsionka. Z niego krew zasobna w tlen dostaje

się przez lewy otwór przedsionkowo-komorowy do lewej części komory (u krokodyli: lewej komory). Skurcz tej ostatniej wypycha krew do dwóch z trzech naczyń pnia tętniczego, a konkretne do prawej i lewej aorty (tworzących odpowiednio: prawy i lewy łuk aorty). Jak widać, powstają one z 4-tej pary łuków naczyniowych. W zasadzie zawierają krew utlenowaną, rozpróżowaną na duży obieg. Krew wraca do serca żyłami głównymi (przednią i tylną) oraz żyłą wątrobową. Naczynia te uchodzą do zatoki żyłnej, stamtąd do prawego przedsionka i dalej do prawej części komory (u krokodyli: prawej komory). Skurcz komory wita krew odtlenowaną do trzeciego z naczyń pnia tętniczego — mianowicie do pnia płucnego, który rozgałęzia się na dwie tętnice płucne prowadzące do samych płuc.

W warunkach fizjologicznych mieszanie się krwi w komorze zachodzi w niewielkim stopniu (u krokodyli wcale). Świadczy to o większej sprawności serca niż u płazów — może ono wykonywać szybsze, silniejsze i, co najważniejsze, efektywniejsze w skutkach skurcze.

Jeśli już jesteś bardzo dociekliwy, to powinienes wiedzieć, że w rzeczywistości u większości gadów dochodzi do częściowego mieszania się krwi:

1. U krokodyli prawa aorta zbiera krew z prawej komory, a więc nieutlenowaną. Lewa jest znacznie szersza i tłoczy krew utlenowaną z lewej komory. Pomiędzy aortami, przy sercu, na wysokości łuków istnieją połączenia (typu anastomoz) — dlatego ostatecznie dochodzi do mieszania się krwi utlenowanej z odtlenowaną. Skala zjawiska jest jednak niewielka.
2. U pozostałych gadów niewielkie mieszanie w komorze rzeczywistości ma miejsce. Ich aorta prawa jest szersza i tłoczy krew odtlenowaną, lewa zaś jest węższa i tłoczy krew mieszaną. Połączenie obu aort w jedną — grzbietową, prowadzi więc także do mieszania się krwi. Dociekliwi zauważą, że są tu różnice pomiędzy aortami krokodyli i reszty. Wynika to głównie z innego usadowienia przegrody międzysiekomorowej.

KRWINKI CZERWONE GADÓW W PORÓWNIANIU Z PŁAZAMI MAJĄ MNIEJSZE ROZMIARY

Poza tym także są jądraziste, ale liczba organelli komórkowych i długość życia erytrocytów gadzich jest mniejsza. Zyskiem jest oczywiście (w porównaniu z płazami i rybami):

- a) większa liczba erytrocytów w jednostce objętości, a więc także wzrost powierzchni czynnej krwi,
- b) większa sprawność transportowa tych krwinek, co wynika z mniejszych kosztów własnych (przemysł to).

Układ wydalniczy i rozrodczy

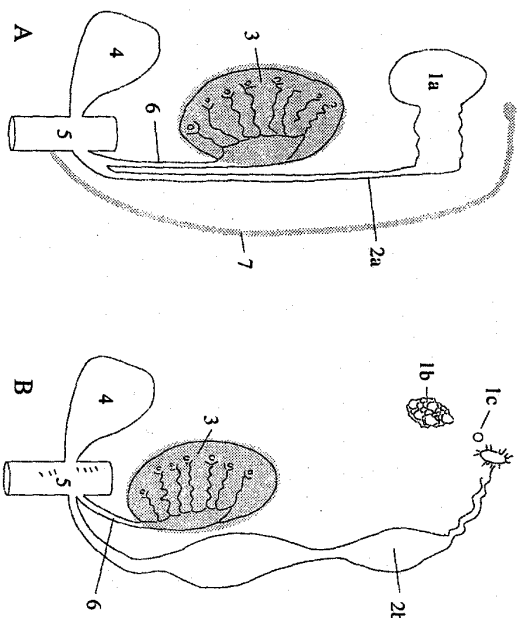
NERKI GADÓW SĄ PARZYSTYMI „FASOLOWATYMI” NARZĄDAMI, PRZYPOMIENAJĄCYMI WYGLĄDEM NERKI SSAKÓW

Wytwarzany w nich mocz dostaje się do **moczowodu wtórnego**, powstającego z uchyłka kloaki (por. Ryc. 146). U żółwi i jaszczurek końcowy odcinek moczowodu rozszerza się w **pecherz moczowy**. Nie mają go węże i krokodyle. Tak czy inaczej nerki gadów nie są zdolne do wywrotzenia moczku hipertonicznego. Ich liczne nefrony nie kontaktują się z jamą ciała, a jedynie przez filtrującą krew w kłębuszkach nerkowych. Mocz jest więc silnie rozcieńczony i w takiej postaci dociera do kloaki. Gdyby na tym poprzestać, to pod znakiem zapytania pozostawałaby cała gospodarka wodna. Rozwiązaniem więc jest silna resorpcja wody przez ściany kloaki. Jednak do brzo rozpuszczalny mocznik wnikałby z powrotem do krwi, dlatego

GADY WYDALAJĄ KWAS MOCZOWY

Zaliczamy je więc do zwierząt o bardzo sprawnym mechanizmach osmoregulacyjnych. Zależy takiego rozwiązania są bardzo poważne. Otóż **kwas moczowy** jest mało toksyczny i słabo rozpuszczalny w wodzie. Resorpcja jonów (głównie sodu) przez ściany pęcherza moczowego i kloaki powoduje, że woda migruje z powrotem do krwiobiegu, a sęczenie kwasu moczowego w moczu roślinie. Po przekroczeniu wartości krytycznej moczanc łatwo wytrąca się z roztworu i mocz przybiera konsystencję dość gęstej pasty. W ten sposób można bezpiecznie wydalac zbędne i szkodliwe produkty przemiany materii, nie tracąc jednocześnie prawie wcale wody. Jedynie gady sfodkowodnie nie muszą oszczędzac wody i dlatego wydalają mocz plynny.

Dodajmy, że wydalanie kwasu moczowego ma sens wówczas, gdy trzeciwiście jest potrzeba znacznego oszczędzania wody. Jego powodu jaszczurki, węże i żółwie lądowe wydalają głównie kwas moczowy (do 90% produktow ubocznych metabolizmu), niewielkie ilości moczunka oraz amoniaku. Natomiast żółwie wodne wydalają dużo moczunka, amoniaku i tylko niewiele kwasu moczowego. Skrajnym przykładem są krokodylie — u tych zwierząt produktem przemian nadwyzki związkow azotowych jest głównie amoniak (moczunk i kwas moczowy stanowią razem ok. 10%).



Ryc. 146. Schemat jednej strony układu wydalniczego i rozrodczego gadow: samca (A) i samicy (B) (1a — jądro, 1b — jajnik, 1c — komorka jajowa, 2a — nasiennikowód, 2b — jajowód, 3 — nerka ostateczna, 4 — pęcherz moczowy, 5 — kloaka, 6 — moczowód wtórny, 7 — szczątkowy moczowód pierwotny).

UWAGA: Pomimo przedstawionego zróżnicowania gady jako grupę zaliczamy do zwierząt wydalających kwas moczowy.

Biorąc pod uwagę materiał z którego się rozwijają oraz ich budowę, nerki gadow nazywa się **ostatecznymi**. Inaczej mówiac, są to nerki typu zanerzca, o bardzo licznych kłębuszkach nerkowych, otoczonych torebkami Bowmana. Ten typ budowy nerki jest najsprawniejszy i występuje u wszystkich owodniowców!

U WSZYSTKICH GADÓW ZAPŁODNIENIE JEST WEWNĘTRZNE

Byli to niewątpliwy sukces pierwszych gadow, który w istotny sposób przyczynił się do opanowania środowiska lądowego. U prymitywnych form samce nie mają narządu kopulacyjnego (np. u haterii). Prącia współczesnych gadow w ogóle ukryte są w kloace i tylko w czasie kopulacji wynicowywane na zewnątrz (jak palec rękawiczki).

Zdecydowana większość gadow składa duże jaja otoczone skórzastymi osłonkami. U części krokodyli, żółwi, jaszczurki i węży osłonki dodatkowe wysycone są węglanem wapnia. Oczywiście z zadaniem osłony jest ochrona rozwijającego się zarodka. Nie odcinają go jednak całkowicie od środowiska, zwykle bowiem pozostaje możliwość wymiany gazowej i pobierania wody. Z tych powodow jaja składane są na lądzie w miejscach dość wilgotnych (najczęściej są zasypywane). Zastanow się, dlaczego jaja nigdy nie rozwijają się w wodzie (podpowiedz: temperatura, osmoza).

Bogate wyposażenie jaj w żółtko pozwala na uproszczenie rozwoju (**brak stadium larwy**). Budowa jaja w istotnym stopniu przuła na mechanikę rozwoju — u wszystkich gadow bruzdowanie ma charakter częściowy i tarczowy (więcej informacji na ten temat uzyskasz w kl. III). Prawidłowy rozwój zarodka zapewniają ponadto **blony płodowe** — ich rola została omówiona wcześniej. Tutaj przypomnijmy tylko, że są to: **owodnia, omocznia i kosmówka**.

Nieliczne spośród współczesnych gadow są jajoworodne — u nich cały rozwój zarodka przebiega w drogach rodnych samicy (ściślej w jajowodach). Najprawdopodobniej jest to adaptacja do bardziej surowych warunkow klimatycznych w strefach chłodnych. Po prostu cięższe samice wygrzewają się w słońcu, podnosząc temperaturę ciała w znacznym stopniu. Pamiętaj bowiem, że skóra gadow jest sucha i gładka. Spośród krajowych gatunkow jajoworodne są: **jaszczurka żyworodka i żmija zygzakowata** (por. Ryc. 139).

Wśród jajoworodnych także znajdują się pewne różnice. Otóż u większości cała „żyworodność“ polega na samodzielnym rozwoju jaja w obrębie własnych błon jajowych. Jedynie u nielicznych gatunkow jaja są małe (ok. 0,5 cm średnicy) i pozabawione osłony. Ich kosmówka wrasta częściowo w błonę słuźową jajowodu przez co praktycznie powstaje łożysko. Nie jest to rozwiązanie tak doskonałe jak u ssaków, ale zdecydowanie lepsze niż „żyworodność“.

Układ pokarmowy i odżywianie

Można powiedzieć, że układ pokarmowy gadow nie odbiega zasadniczo od schematu typowego kręgowca. W tym miejscu przedstawione zostały tylko pewne cechy charakterystyczne:

- jama gębowa — pozabawiona jest warg i policzkow;
- zęby zostały już opisane. Tutaj zwrócimy jedynie uwagę na zęby jadowe węży. Zwyczajnie posiadają one rytnienki, którymi sphywają jad produkowany w gruczołach jadowych. Konstrukcja szczęki górnej pozwala na nozycowe składanie zębów w zamykającym się pysku. Rozwarcie szczęk powoduje ustawienie ich do ukaszania;
- język jest długi, ruchliwy w węży i jaszczurkach. Spełnia u nich rolę narządu czucia, dotyku, smaku i wachu (np. niektóre węże podążają śladem ofiar, wykorzystując ścięzkie zapachową odczytywaną przez rozwójony język);
- gruczoły — do jamy ustnej uchodzą gruczoły ślinowe, a u części węży i jednego rodzaju jaszczurki gruczoły jadowe;
- żółtadek — u krokodyli podzielony jest na części: gruczołową i mięśniową, ponieważ gady te nie potrafią rozdrabniać pokarmu;
- jelito ślepe jest dobrze rozwinięte u gadow roślinożernych;
- kloaka — tu zbiegają się drogi pokarmowe, moczowe i rozrodcze (nie jest to nowość). Ściany steku mają zdolności do zwrotnego wchłaniania wody, przyczyniając się więc do jej oszczędzania (por. wyżej).

Większość gadów jest mięsożerna i tylko niektóre zadowalają się pokarmem roślinnym.

Układ nerwowy i narządy zmysłów

W OUN GADÓW ZACHODZĄ ISTOTNE ZMIANY

Ciekawe jednak, że mózgowie gadów jest w rzeczywistości niewielkie (jego ciężar nigdy nie przekracza 1% masy ciała). U wietolonowych, roślinożernych gadów mezozoicznych bezwzględny ciężar tego organu wynosił tylko kilkaset gramów (!). Trudno więc oczekiwać wybitnych sukcesów „intelektualnych” u tych zwierząt. Jest to sprawa powszechnie znana, ale nie należy zapominać, że w różnych liniach rozwojowych gadów pojawiły się gatunki o większych mózgach, np. *Synapsida* (por. niżej). Charakterystyka poszczególnych części mózgowia współczesnych gadów przedstawia się następująco (por. Ryc. 147):

A) **Kresomózgowie** — jest znacznie silniej wykształcone niż u płazów. Półkule są większe i bardziej wysklepione, a co najważniejsze:

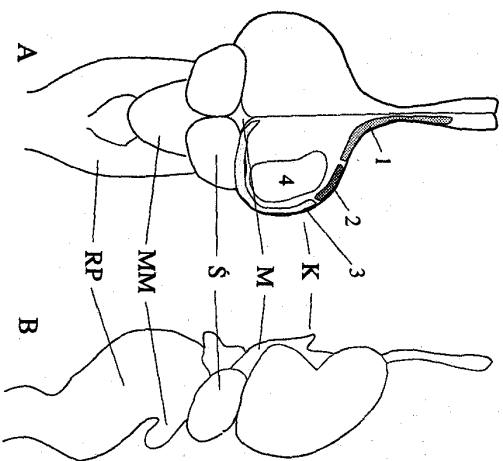
a) kresomózgowie nakrywa międzymózgowie, co prowadzi do zatracania limbowego ułożenia poszczególnych części mózgu;

b) w ścianie bocznej rozwija się niewielki obszar istoty szarej nazywany **korą nową** (*neocortex*). Zawiera on liczne, wyspecjalizowane neurony tworzące u gadów zaczątki ośrodków asocjacyjnych wyższego rzędu;

c) w bocznej ścianie obu komór kresomózgowia rozwija się dość silne skupienie kądłubów neuronów, tworzące **ciało prądkowane** (*corpus striatum*);

Uważa się, że wymienione w pkt b) i c) twory u gadów pełnią funkcję nadrzędną ośrodków koordynacji nerwowej (szczególnie ciało prądkowane). W ten sposób śródmózgowie traci na znaczeniu. Gady mają pewne zdolności uczenia się i zapamiętywania, ale są one niewielkie w porównaniu z płakami i sskakami.

B) **międzymózgowie** — w szczytowej części tworzy oczywście szybkę, widoczną od tyłu u zbiegu półkul mózgowych. Ciekawym organem jest natomiast trzecie oko — clemienio-we, funkcjonujące u haterri i wielu jaszczurek (brak go u żółwi, a według innych źródeł również u krokodyli i węży). U haterri oko clemieniowe reaguje na promieniowanie ciepłe i widzialne (zawiera m.in. soczewkę i siatkówkę). Nie znaczy to jednak, że służy do percepcji wrażeń wzrokowych, umożliwia jednak analizę warunków otoczenia.



Ryc. 147.

Budowa mózgu gada — widok z góry (A) i z boku (B). Prawa półkulę przecięto, aby ukazać architekturę wewnętrzną (K — kresomózgowie, M — międzymózgowie, S — śródmózgowie, MM — mózdzek, RP — rdzeń przedłużony, 1 — kora stara, 2 — kora nowa, 3 — kora dawna, 4 — ciało prądkowane).

C) **śródmózgowie** jest dobrze rozwinięte. Widoczne są dwie tzw. blaszki nakrywy śródmózgowia, co związane jest z dobrym wzrokiem gadów. Jednak rola koordynacyjna tej części mózgowia ulega ograniczeniu;

D) **mózdzek** gadów ma różne kształty i rozmiary. Generalnie jest lepiej rozwinięty u form aktywnych ruchowo. Tak więc u jaszczurek i węży jest mały i przypomina mózdzek płazów. Wyraźnie większe rozmiary osiąga u żółwi morskich, a największe u krokodyli (pomiędzy tu formy kopalne — u gatunków dwunożnych był naprawdę potężny). Ta część mózgowia gadów pokryta jest także istotą szarą, nazywaną **korą mózdku**;

E) **rdzeń przedłużony** — nie wykazuje cech szczególnych. Zwraca w nim uwagę jedynie charakterystyczne dla wszystkich owodniowców „esowate” wygięcie. Jego względna masa i znaczenie maleją, ponieważ ograniczone zostało czucie skórne.

Mózgowie każdego gada opuszcza 12 par nerwów czaskowych.

U GADÓW NASTĄPIŁ ROZWÓJ NARZĄDÓW ZMYŚLOWYCH

Nie powinno to budzić zdziwienia, ponieważ taka tendencja ewolucyjna jest oczywista.

1. **Najlepiej** rozwiniętym zmysłem gadów jest wzrok. Sprawność oka jest w tej grupie bardzo duża. Podstawowej zmianie uległ tu mechanizm akomodacji. Otóż odbywa się ona poprzez zmianę kształtu elipsoidalnej soczewki (to ważna „nowość”). Jedynie u węży występuje jeszcze przesuwanie soczewki względem siatkówki (możesz się jednak w to nie wglębiać). Oko osłaniają powieki: górna i dolna oraz pionowa **migotka** (ta ostatnia nie jest homologiczna z migotką płazów!, chociaż pełni podobną funkcję). U węży i większości gekonów powieki zrastają się w przetrzyszcyste „okulary” — stąd niesamowicie nieruchome spojrzenie węży „hipnotyzujących” swoje ofiary (por. filmy przyrodnicze i mało naukowe — horrory).

W siatkówce występują pręciki i czopki, a spora część gadów dobrze odróżnia kolory (daltomaniami są najprawdopodobniej węże i krokodyle). W osi widzenia znajduje się plamka żółta, a u niektórych jaszczurek wodnych nawet dwie. Ponieważ część gadów zamieszkuje pod ziemią, mają one oczy uwiecznione częściowo lub całkowicie.

2. **Węch** u gadów jest doskonale rozwinięty. Zwraca uwagę bardzo silny rozwój **narządu Jacobsona** w jamie węchowej węży i jaszczurek.

3. **Sluch i równowaga**. Gady nieźle słyszą, mimo że nie mają jessze ucha zewnętrznego. Ich błona bębenkowa leży generalnie na powierzchni ciała (u części krokodyli i jaszczurek jest zagłębiona w dołku słuchowym). W jamie bębenkowej funkcjonuje **kolumienka** — kostka słuchowa homologiczna ze strzemiączkiem płazów (najczęściej w obu przypadkach używa się określenia strzemiączko!). Występuje także trąbka Eustachiusza, łącząca jamę ucha środkowego z gardłem. Niektóre jaszczurki i węże wcale nie mają ucha środkowego (ani błony bębenkowej, ani bębenka), ale i tak dość dobrze słyszą. W uchu wewnętrznym występują trzy kanały półkolistе i niewielki kanał ślimaka. Jego centralną część zajmuje płytka łącznokatankowa z leżącym na niej nabłonkiem **narządu Cortiego**.

4. **Narządy czucia** skórnego rozwinięte są słabo (zastanów się, dlaczego?).

5. **Narząd smaku** jest dobrze rozwinięty, reprezentują go komórki smakowe rozmieszczone na języku i podniebieniu. U niektórych węży długi język (już opiswany) może być wsuwany przez choany do narządu Jacobsona. W ten sposób można mówić o odbiorze wrażeń węchowo-smakowych (?).

Występowanie i znaczenie gadów

Większość współczesnych gadów jest w stanie zachować wysoko i niezbyt zmienną temperaturę ciała. Możliwe to jest tylko w okresach aktywności — w tropikach prawie cały rok, w strefach chłodnych jedynie w ciągu dnia. Jak więc widać mamy tu do czynienia z dość specyficznym stanem, określanym mianem ekotermii. Jest to **pozorna stałocieplność**, wynikająca z:

1. Korzystania z ciepła zewnętrznego. Zasadniczo jest to energia słoneczna, dlatego niektórzy autorzy nazywają część gadów **heliotermami**. Gatunki nocne i wodne satysfakcjonują się temperaturą swego otoczenia, ale ich ciepłota nie przekracza 30° C;
2. „Wytworzenia” energii ciepłej, której źródłem jest własny metabolizm. Jego poziom jest jednak niewystarczający do pokrycia całkowitych potrzeb zwierzęcia.

Jeśli bilans obu źródeł jest optymalny, zwierzęta utrzymują dość stałą temperaturę ciała, np. u heliotermicznych legwanów wynosi ona 37°—40° C, u amerykańskiej jaszczurki *Holbrodia* ok. 38° C. Wymienione tutaj przykłady dotyczą zwierząt zamieszkujących ciepłe strefy klimatyczne. Mimo to nawet one nocą obniżają temperaturę i zapadają w stan pewnego odętwienia.

Wypadałoby więc zastanowić się, dlaczego gady nie osiągnęły stałocieplności? Odpowiedź na to pytanie wymaga umiejętności szerszego spojrzenia na cały problem (por. wykształcenie stałocieplności u ptaków). Tutaj poprzestaniemy na tym, że gady są mało odporne:

- a) na niedogrzanie — dlatego w okresach chłodnych zapadają w odętwienie;
- b) na przegrzewanie — stąd w okresie pełnej operacji słonecznej muszą okresowo chronić się przed nadmiernym gorącem (zastanów się, dlaczego?). Ukrycie się nie jest jednak większym problemem, nawet na półpustyniach i pustyniach.

W związku tym obszar występowania gadów to potężny pas pomiędzy kołami polarnymi, chociaż zdecydowanie więcej gatunków zamieszkuje tereny międzyzwrotnikowe. Tylko nieliczne formy w tej grupie zwierząt zaadaptowały się do niskich temperatur. Nasza **żmija zygzakowata** swój zasięg rozciąga poza koło polarne, ale tam większość roku przesyja. Wysokogórski legwan *Liolaima multiformis* ma temperaturę 31° C na wysokości 4 000 m n.p.m. Jest to godny podziwu wyczyn, jednak i ten gatunek osiąga go tylko w odpowiednich warunkach. Dość znacznie jest tutaj, że prymitywna hatteria ma średnią temperaturę zaledwie 12° C.

Pomimo, iż współczesne gady są ekotermiczne, wielu biologów jest przekonanych, że część gadów mezozoicznych była w pełni stałocieplna (gady latające, większość dinozaurów lądowych i gadów ssakokształtnych).

W rozprzeszczeniu się gadów na lądzie pomagała jajorodność i oszczędna gospodarka wodna. Dlatego gady funkcjonują w niemal wszystkich typach siedlisk — szczególnie upodobały sobie miejsca suche i gorące. Gady współczesne biegają, pełzają i pływają. Niektóre zaś nawet latają, wykorzystując do lotu silzowego duże fałdy skórne rozpostarte między kończynami, a żebrami.

Konstrukcja biologiczna tej grupy kregowców pozwoliła im na przekraczanie barier wodnych (rzek i mórz), co doprowadziło do szerokiego rozprzeszczenia się wielu rodzin, np. jaszczurek, gekonów, żółwi i węży, także na izolowanych obszarach.

GOSPODARCZE ZNACZENIE GADÓW WSPÓŁCZESNYCH JEST NIEWIELKIE

W mezozoiku kregowce te dominowały na wszystkich lądach. Jednak dzisiaj można mówić, że gady są grupą schyłkową, gdyż liczba gatunków w wymarłych przekracza liczbę współczesnych.

Znaczniejszą rolę odgrywają jedynie w okolicach półpustynnych i pustynnych — tam jaszczurki i węże mogą stanowić istotne składniki biocenozy.

Zagrożenie dla człowieka (w Polsce obsesyjnie wyolbrzymiane) stanowią:

1. **Węże jadowite** — ich jady mogą powodować paraliz mięśni oddechowych. Jest to skutek uszkodzenia neuronów i czasem może prowadzić do śmierci przez uduszenie. Najgroźniejsze powodują całkowite otwarcie kanałów jonowych, albo zablokowanie receptorów synaptycznych. Porażeniu ulega wiele mięśni, ale oddechowe są tu najważniejsze. Niektóre węże mogą w ten sposób zabić małego kregowca w kilkanaście sekund. Tego rodzaju jady nazywamy neurotoksycznymi. Jady nazywane hemolitycznymi wywołują gwałtowny rozpad krwinek i uszkodzenie układu siateczkowo-śródbłonkowego ofiary. W tym przypadku przy czyną zgonu może być szok pourazowy.

Najwięcej ukąszeń i zęziś notuje się w krajach tropikalnych, np. w Indiach, Brazylii, Australii i centralnej Afryce. Liczba zgonów jest wysoka, gdyż najczęściej nie ma możliwości podania ukąszonemu specjalnej surowicy przeciwjadowej. Substancje te pozyskuje się, uczulając duże zwierzęta domowe, np. konie niewielkimi porcjami jadu. Ty jednak możesz spać spokojnie.

W POLSCE ŻYJĄ TYLKO DWA GATUNKI GADÓW PRODUKUJĄCE JAD

— **zaskroniec** (*Natrix natrix*), który posiada gruczoły jadowe, ale nie może wstrzykiwać jadu większym kregowcom, dlatego praktycznie nie jest jadowity;

— **żmija zygzakowata** (*Vipera berus*) — może być niebezpieczna, jeśli się ją nadeptnie lub „zaczepi”. Zdarza się to szczególnie w Polsce północnej i południowo-wschodniej, w lasach i na polanach, gdzie lubi się wygrzewać. Ukąszenie jest bolesne, ale rzadko prowadzi do śmierci. Pamiętaj jednak, że atak żmii to zawsze tylko desperacka obrona niewielkiego zwierzęcia (długość do ok. 80 cm, przy kilku cm średnicy). Dla żmii jesteśmy bowiem kilkadziesiątkiokrotnym kolosem, którego atakowanie jest biologicznym nonsensem. Stąd pastwienie się niektórych „bohaterów” wyposazonych w kije i ciężkie buty należy uznać za szczyt głupoty i chamstwa. A jeśli już ktoś czuje się niedowartościowany, niech zmierzy się wiecz z kilkadziesiątkiokrotnym **pytonem siatkowanym** (dusiciel osiągnięty 9 m długości, zamieszkujący kraje orientalne). To już zajęcie znacznie bardziej ryzykowne, chociaż także pozbawione sensu;

2. **Krokodyle** — występują głównie w wodach słodkich na prawie wszystkich kontynentach. Na nasze szczęście tylko w strefach tropikalnych i subtropikalnych. Starsze mogą być niebezpieczne dla kąpiących się ludzi (por. dość zrzęzna scena w „Krokodylu Dundae”).

UWAGA: 1. Specyficzność surowic polega na tym, że dana surowica działa tylko przeciwko konkretnemu jadowi.

2. Jady węży używane są także w lecznictwie.

Rozwój cywilizacji technicznej prowadzi do gwałtownego spadku liczby wszystkich gatunków gadów. Przykładowo: praktycznie wszystkie krokodyle należałyby uznać za zagrożone wyginięciem. Polskie prawodawstwo chroni wszystkie gatunki gadów krajowych: **jaszczurkę zwinkę** (*Lacerta agilis*), **jaszczurkę zieloną** (*L. viridis*), **jaszczurkę żyworodną** (*L. vivipara*), **padalca** (*Anguilla fragilis*; beznoga jaszczurka), **gniewosza** (*Coronella austriaca*; bardzo rzadki wąż), **węza Eskulapa** (*Elaphe longissima*; dzisiaj już rarytas, gdyż spotyka się go jedynie w Bieszczadach, a i to bardzo rzadko), **zaskronica** (*Natrix natrix*), **żmiję zygzakowatą** (*Vipera berus*) i **żółwia błotnego** (*Emys orbicularis*). Ten ostatni gatunek ginie z powodu zatrucia i

osuszania zbiorników wodnych, ale na początku 1996 r. w woj. wrocławskim podjęto próbe wprowadzenia go do środowiska naturalnego.

Odrębny problem stanowią polowania na gady dla ich cennej skóry, mięsa oraz odławianie okazów dla kolekcjonerów i hodowców. Proceder ten jest wynikiem snobizmu albo głupoty, a najczęściej jednego i drugiego.

Także masowe wybieranie jaj żółwi doprowadziło do wyniszczenia wielu gatunków lądowych i przetrzebienia gatunków morskich.

PODSUMOWANIE

Do istotnych cech współczesnych przedstawicieli gromady gadów należy zaliczyć:

1. **Czworonożność** — zwierzęta te posiadają dwie pary kończyn wolnych, rozdzielonych na boki. Widoczne jest jednak ich częściowe podciągnięcie pod korpusek i sprawniejsza niż u płazów lokomocja (pamiętaj jednak o węzłach i beznogiach jaszczurkach!);
2. **Płucodyszność** — wszystkie bez wyjątku oddychają gąbczastymi płucami;
3. **Posiadanie klatki piersiowej**. Umożliwia to lepszą wentylację systemu oddechowego i zapewnia ochronę mechaniczną płuc oraz serca;
4. **Skórę pokrytą grubym, zrogowaciałym naskórkiem**, w którym nie ma gruczołów. Zabezpiecza to przed nadmiernymi stratami wody przez powierzchnię ciała;
5. **Posiadanie dwóch obiegów krwi** (co nie jest „nowością”) i serca zbudowanego z dwóch przedsiłonek i dwóch komór (niecałkowicie rozdzielonych). Na prawym przedsiłonku znajdują się zredkowana zatoka żylna. Praktycznie oznacza to możliwość rozdzielania krwi utlenowanej od odtlenuwanej. U gadów zachowują się **dwie tkanki aorty**;
6. **Występowanie pięciu odcinków kręgosłupa**, z których szczylny posiada dwa kręgi specjalne: *atlus* i *axis*;
7. **Zastawienie czaszki z kręgosłupem poprzez pojedynczy kłykiec polityczny**. W połączeniu z obecnością wspomnianych już kręgów szyjnych umożliwia to **pełną ruchomość głowy** (obracanie głowy we wszystkich płaszczyznach i możliwość wyginania szyi). Natomiast stopień tej ruchomości jest cechą gatunkową. Ponadto stopień skostnienia czaszki jest znacznie większy niż u płazów. **Zuchwę tworzy kilka kości** (nawet 7!), staw zuchwowy tworzą zaś kości: kwadratowa i sławowa;
8. **Pojawienie się w kresomózgowiu kory nowej** (łac. *neocortex*), nazywanej w uproszczeniu substancją szarą mózgu. To ostatnie sformułowanie nie jest zbyt szczęśliwe, o czym już powinniśmy wiedzieć. W każdym razie kora nowa umożliwia powstawanie tzw. wyższych ośrodków asocjacyjnych w mózgu;
9. **Posiadanie 12 par nerwów czaszkowych**;
10. **Nieprecyzyjną termoregulację**. Współczesne gady należą do **ektotermów**. Dzieje się tak, ponieważ swoją dość wysoką ciepłotę ciała uzyskują korzystając z energii zewnętrznej (konkretnie słonecznej). W przypadku dinozaurów i gadów ssakokształtnych problem się komplikuje, gdyż część z nich była prawie na pewno właściwymi endotermami;
11. **Zapłodnienie wyjątkowo typu wewnętrzznego**, rozwój prosty i pojawienie się w nim **blon płodowych**: owodni (łac. *amnion*), omocznii (łac. *allantois*) i kosmowłki (łac. *chorion*). Z tego powodu gady zaliczamy do **owodniowców** (grupa *Amniota*).

UWAGA: 1. Cechy generalne, takie jak: czworonożność, płucodyszność, obecność klatki piersiowej, dwóch obiegów krwi, pięć odcinków kręgosłupa można odnieść do wszystkich owodniowców.

2. Rozwój prosty oznacza wykluwanie się z jaja miniaturki osobnika dorosłego, a nie larwy. Mam nadzieję, że przypomnienie Ci tego nie jest wyrazem „nadopiekuńczości”.

Pytania i polecenia kontrolne:

1. Jak odbywa się lokomocja u gadów?
2. W jaki sposób zachodzi regeneracja naskórka u gadów?
3. Porównaj budowę skóry płazów i gadów? Jaki widzisz związek budowy skóry u tych grup organizmów ze środowiskiem ich życia?
4. Jaki typ uzębienia posiadają gady? Jaka rolę pełnią zęby gadów w procesie odżywiania się tych zwierząt?
5. Wykaż zastosowania do lądowego trybu życia w budowie szkieletu osiowego u gadów.
6. Jaki znaczenie ma dla gadów występujące u nich zjawisko autotomii?
7. W jaki sposób gady zwiększyły powierzchnię wymiany gazowej?
8. Przedstaw w postaci prostego schematu budowę układu krążenia gadów. Zaznacz na nim kierunek przepływu krwi.
9. Omów proces wydalania zbędnych i szkodliwych metabolitów u gadów.
10. Jakie związki azotowe wydalają gady? Jaki wpływ na rodzaj wydalanego związku azotowego ma środowisko ich życia?
11. Jaka rolę pełni język gadów?
12. Czy różni się mechanizm akomodacji w oku płazów i gadów?
- *13. Jaka rolę pełni u węży i jaszczurek narząd Jacobsona?
14. Gady zaliczamy do owodniowców — co oznacza ten termin?
15. Wymień gady żyjące w Polsce. Które z nich podlegają ochronie gatunkowej?
16. Jakie mogą być skutki ukąszenia przez węże jadowite?
17. Jakiej pomocy należy udzielić człowiekowi ukąszonemu przez żmiję?
- *18. U gadów występuje „pozorna stałocięplność” — wyjaśnij, co oznacza to stwierdzenie.
- *19. Wykaż podobieństwa i różnice w budowie OUN u płazów i gadów.
- *20. W jakim kierunku szły zmiany w budowie szkieletu gadów? Jaki związek miały te zmiany ze środowiskiem i trybem życia tych zwierząt?
- *21. Wykaż zastosowania do lądowego trybu życia w procesie rozmnażania się gadów.
- *22. Krokodyl posiadał pełną przegrodę między komorami serca. Jak więc możliwe jest u nich mieszanie się krwi utlenowanej z odtlenuwaną?
- *23. Wykaż podobieństwa i różnice w mechanizmie wymiany gazowej u gadów i płazów.
- *24. Uzasadnij słuszność tezy — „Gady to kręgowce typowo lądowe”.

25. Pochodzenie i ewolucja ptaków

OPANOWANIE LOTU PRZEZ PTAKI NASTĄPIŁO W JURZE

Wcześniej „szukę” tę posiadły owady i gady, ale ich rozwiązania miały pewne „wadę” (wypisz, jakiej?). Powodzenie szturmu kręgowców na przestrzeń powietrzną oznaczało konieczność rozwiązania następujących problemów:

1. Wytworzenia odpowiednio dużej, lekkiej i elastycznej powłoczki lotnej. Rewelacyjnym rozwiązaniem okazały się pióra, które wraz elementami kostnymi przedniej kończyny, tworzą skrzydła.
2. Zmniejszenia ciężaru ciała — dokonano się to przez pneumatyzację szkieletu i redukcję niektórych organów wewnętrznych;
3. Wykształcenia aerodynamicznej, dwunożnej sylwetki z małą, lekką głową i krępyim korpusem — narzucają to opory powietrza;
4. Bardzo szybkiej i precyzyjnej orientacji w przestrzeni — zmysł węchu jest dla lotnika zbyt wolny i zawodny. Stąd u ptaków rozwój narządu wzroku. Ponadto musiał nastąpić znaczny wzrost ośrodka analizującego informacje docierające ze środowiska — ptaki mają więc duże mózgowie;
5. Utrzymania stałej temperatury ciała — statoceplność (tu: endotermia) oznacza dla ptaków pełną gotowość „startową”, niezależnie od pory roku, dnia i pogody;
6. Rozwinięcia mechanizmów, pozwalających na aktywny lot, który, podobnie jak statoceplność, zawsze jest bardzo ważnym wydatkiem energetycznym. Istotne były tu:
 - A) produkcja ciepła — np. poprzez doskonalenie układu oddechowego, krążenia i mięśniowego;
 - B) izolacja termiczna — przez wytworzenie warstwy o małej przepuszczalności cieplnej. Stąd pióra puchowe i pokrywowe;
 - C) precyzyjne utrzymywanie żądanej temperatury ciała przez zwiększanie produkcji ciepła i zmniejszanie strat (w warunkach niskich temperatur) lub zmniejszanie produkcji ciepła i zwiększanie strat (w warunkach przegrzania).

UWAGA: Problem statoceplności rozwiązały także ssaki. W ramach treningu porównaj później oba rozwiązania.

GRUPA WYIŚCIOWĄ DLA PTAKÓW BYŁY TEKODONTY

Ptaki są grupą podobną do gadów i dlatego niektórzy biolodzy proponują połączenie ich w jedną grupę (por. ROZDZ. 26). Niezależnie jednak od wątpliwości czy jest to słusze, pozostaniemy przy podzieleniu prostszym — ptaki są odrębną grupą kręgowców.

Jak już wiesz, przodków ptaków upatruje się wśród dwunożnych tekodontów. Cały problem tkwi w pochodzeniu aktywnego lotu i piór. Najturdniej stwierdzić dzisiaj, czy lot jest cechą pierwotną, czy wtórną w stosunku do możliwości życia w koronach drzew. Istnieją dwa przeciwstawne poglądy na to zagadnienie:

1. Opanowanie życia w koronach drzew przez ptaki nastąpiło wtórnie (tu: później) po nabyciu możliwości latania. Skąd więc lot? Otóż przodkami ptaków byłyby dwunożne, naziemne, nie-

wielkie tekodonty. Lot zaś wzięły się z biegania i podskakiwania na otwartych przestrzeniach wspomnianego gwałtownymi wymachami kończyn górnych (!), początkowo dla utrzymania równowagi, później zaś aby wznosić się w powietrze:

A) wg S. Harrisona dla małych biegaczy możliwość zmiany kierunku ucieczki w podskoku, czyli w najmniejszej spodziewanym momencie, byłaby bardzo korzystną umiejętnością. Szczególnie w czasie ucieczki przed szybkimi, dwunożnymi drapieżnikami (być może też tekodontami). Tendencja do wydłużania skoków (taka jak u ryb latających) byłaby możliwa przy rozwoju powłoczki lotnej, czyli skrzydeł. Tak więc i tutaj początkowo lot byłby ślizgowy, później aktywny;

B) nieco inaczej przedstawia sprawę M. Ostrom. Wg niego podskakiwały dwunożne tekodonty owadopodobne. Tak więc praprzyczyną lotu byłyby skoki w pogoni za latającym „posiłkiem”. Rozwój tej tendencji byłby zaś taki jak wg poprzedniego badacza.

2. Współcześnie przeważa jednak pogląd, że lot jest cechą wtórną. Według takiego założenia przodkowie ptaków byli dwunożnymi drapieżnikami, wspinającymi się na drzewa lub skały i polującymi w locie ślizgowym. Stopniowe wydłużanie ślizgów, zmiana kierunku w locie i trzepotanie przednimi kończynami, opatrzonymi w łusko-pióra (?) byłoby popierane selekcyjnie. Słabą stroną takiej tezy jest fakt, że zwierzęta dwunożne prawie zupełnie nie potrafią wspinać się na drzewa. Możesz zarzykować „sprawdzenie” tej teorii na sobie, o ile drzewo, które wybierzesz będzie naprawdę niskie;

Wniosek: Hipoteza pierwsza (pkt 1) zakłada, że dopiero możliwość podlatywania pozwalała przodkom ptaków siadać na gałęziach i tak rozpoczęło się opanowywanie koron drzew.

Kłopot polega na tym, że dwunożne zwierzęta biegnące, niemal zawsze mają tylko 2-3 palce. Tymczasem u ptaków regułą są cztery palce w kończynie (takie wyjątki jak strusie można pominąć — są bowiem wynikiem wtórnego przystosowania do biegu). Należy więc uznać (?) wyższość drugiej hipotezy (pkt 2) jako bardziej prawdopodobnej.

PIÓRA PTAKÓW SĄ PRZEKSZTAŁCONYMI ŁUSKAMI GADÓW

To pozornie absurdalne stwierdzenie jest prawdziwe. Najprawdopodobniej proces ten przebiegał tak: początkowo nastąpiło pewne zwiększenie rozmiarów i odsłanianie łusek. Zwierzę mogło ułatwiać sobie w ten sposób termoregulację (takie „struszenie” łusek). W zależności od warunków ustawianie się tyłem do słońca mogłoby sprzyjać nagrzewaniu, a przodem — schładzaniu przez odbijanie światła od gładkiej powłoczki łusek. Kolejnym krokiem naprzód było powstanie specjalnych mięśni poruszających tymi łuskami. Tak „wyposazone” zwierzę mogło szybciej nagrzewać się rano i dłużej pozostawać aktywne o zmierzchu. Następnym etapem byłoby „sznurpate” łuski — ściślej mówiąc podzielone na mniejsze, nitkowate, połączowane pasma (nitki?, stosiny?). Jeśli przyjąć, że ich konstrukcja była rogowa (por. budowa łusek gadów), to znajdziemy się dość blisko prymitywnego „łusko-pióra” o charakterze nitkowo-puchowym. Pokrycie ciała takimi tworami tworzyłoby lekką i elastyczną warstwę, spełniającą funkcję termozolacyjną. Dopiero rozwój elementów łusko-pióra (pióra?) na wydłużonej osi pozwolił na utworzenie piór typu okrywowego, które chroniłoby delikatniejszą warstwę puchową.

Widać więc, że tego typu pokrywa ciała ma kilka zalet: jest bardzo lekka, dobrze izoluje termicznie, a ponadto pióra okrywowe dość łatwo można przekształcić w sterówki i lotki (por. budowa pióra).

Dodatkowo za łuskowym rodowodem piór przemawia to, że:

1. Rozwój zawiązka pióra i łuski przebiega początkowo podobnie;

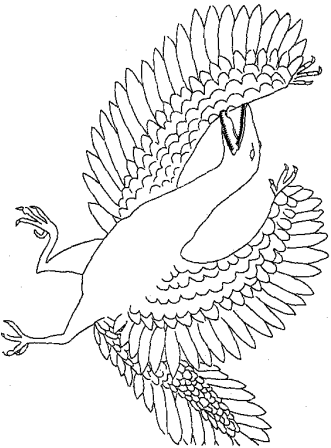
2. Na końcowych odcinkach nóg wielu ptaków zachowały się łuski, podobne do gadzich;
3. W zarodkach strusi na nogach można zaobserwować drobne piórka powstające z palczastych wyrostków rogowych łusek.

Wnioski są więc następujące:

1. Pióra ptaków i łuski gadów są tworami **homologicznymi**;
2. Wśród kręgowców aktywny lot stał się możliwy po osiągnięciu **stałocieplności**. To zaś wymagało wytworzenia sprawnych mechanizmów **termoizolacyjnych**, a także rozwinięcia innych cech. Szczególnie ważne stały się:
 - A) **wzrost masy mięśniowej** — w czasie ruchu i drżenia mięśnie szkieletowe są głównym „wytwórcą” ciepła;
 - B) **rozwrost mózgowia i narządu wzroku** — jest to konieczne ze względu na szybkość poruszania się, trudność lądowania w koronach drzew i konieczność częstego zdobywania pożywienia (to ostatnie jest niezbędnym warunkiem przetrwania stałocieplnego). Sprawy mógł wyrażnie zwiększa tu szanse na sukces, stąd wśród ptaków nie ma gatunków ślepych i z małymi mózganiami;
 - C) **zwiększenie masy i pojemności serca**. Przy całkowitym oddzieleniu krwi utlenowanej od utlenowanej umożliwia to intensywną przemianę materii;
 - D) **zwiększenie pojemności płuc** nie wchodziło w grę, stąd **rozwój powierzchni wewnętrznej**;
 - E) **przebudowa szkieletu** prowadząca generalnie do wytworzenia potężnych dźwigni skrzydeł. Stąd redukcja części palców i kości dłoni oraz rozrost pozostałych. Jeśli dobór naturalny popierał osobniki o większej powierzchni lotnej możliwe stało się **powstawanie skrzydeł**.

UWAGA: Pełna lista przystosowań ptaków do lotu została zamieszczona w ROZDZ. 26.

Niestety niewiele jest skamieniałości, które uwiarygodniłyby nasze dociekania. Podjęto nawet próbę teoretycznego zrekonstruowania takiego „ogniwa pośredniego”. Tak powstał model *Proavis* a, gada wielkości niewielkiego gołębia. Miał uzębione szczęki, pokrytą łuskami głowę. Przednie, pięciopalczaste i chwytne kończyny były pokryte piórami, podobnie jak długi ogon. W sumie byłaby to „upierzona jaszczurka”. Problem w tym, że *Proavis* jest tylko teoretyczną rekonstrukcją i nie istniał w rzeczywistości.



Nie pozostaliśmy jednak bezradni wobec problemu pochodzenia ptaków. W 1861 roku w Solenhofen, na terenie Niemiec odkryto szczątki dziwnego zwierzęcia nazywanego **prapłakiem**. Jego pełna nazwa brzmi *Archaeopteryx lithographica* i do niedawna uznawano go za prawnadziwego „pradziadka” wszystkich ptaków (por. Ryc. 148). W chwili obecnej nie jest to już takie pewne, gdyż w Teksasie odkryto szczątki *Protodavis* — formy starszej niż prapłak, a mimo to wykazującej więcej cech ptasich.

Ryc. 148.

Sylwetka prapłaka — *zwróć uwagę na niektóre gładkie cechy!* (opis w tekście).

Niestety dokładniejsza interpretacja tego znaleziska przekracza ramy tej książki. Tak czy inaczej wótcmy więc do odcisku prapłaka, który odnaleziono w górnokrainskich łupkach wapiennych. Widać na nim zwierzę, którego przynależność systematyczna do ptaków może nieco dziwić. Jest ono bowiem „mieszanką” cech:

1. Prasich:
 - A) ciało pokryte **piórami** różnicowanymi na lotki i sterówki;
 - B) duża puszka mózgowia;
 - C) przednie kończyny przekształcone w **skrzydła**;
 - D) słabo zaznaczony, ale obecny **grzebień na mostku**;
2. Gadzich, do których można zaliczyć:
 - A) dość **ciężki szkielet**;
 - B) **długi ogon typu gadziego**, zbudowany z kilkunastu kręgów (12 lub wg innych źródeł do 20). U ptaków współczesnych kośćiec ogona jest bardzo zredukowany;
 - C) kości puszki mózgowej połączone za pomocą **szawów**;
 - D) znajdujące się w szczękach, w zębodołach liczne, drobne i stożkowate **zęby**;
 - E) **trzy czepe palce**, opatrzone pazurami w każdej przedniej kończynie. Wśród współczesnych ptaków jest to cecha unikalna. Występuje jedynie u piskląt amazońskiego kuraka o nazwie kośnik czubaty (lepiej znany jako **hoacyn**). Młode tego gatunku łazą po drzewach, a przed upadkiem do wody chronią je m.in. dwa wolne, czepe palce w każdym skrzydle;
 - F) słabo **dwuwklęsłe i płaskie kręgi kręgosłupa** (świadczą to o obecności resztek struny grzbietowej i jest cechą raczej ryb!).

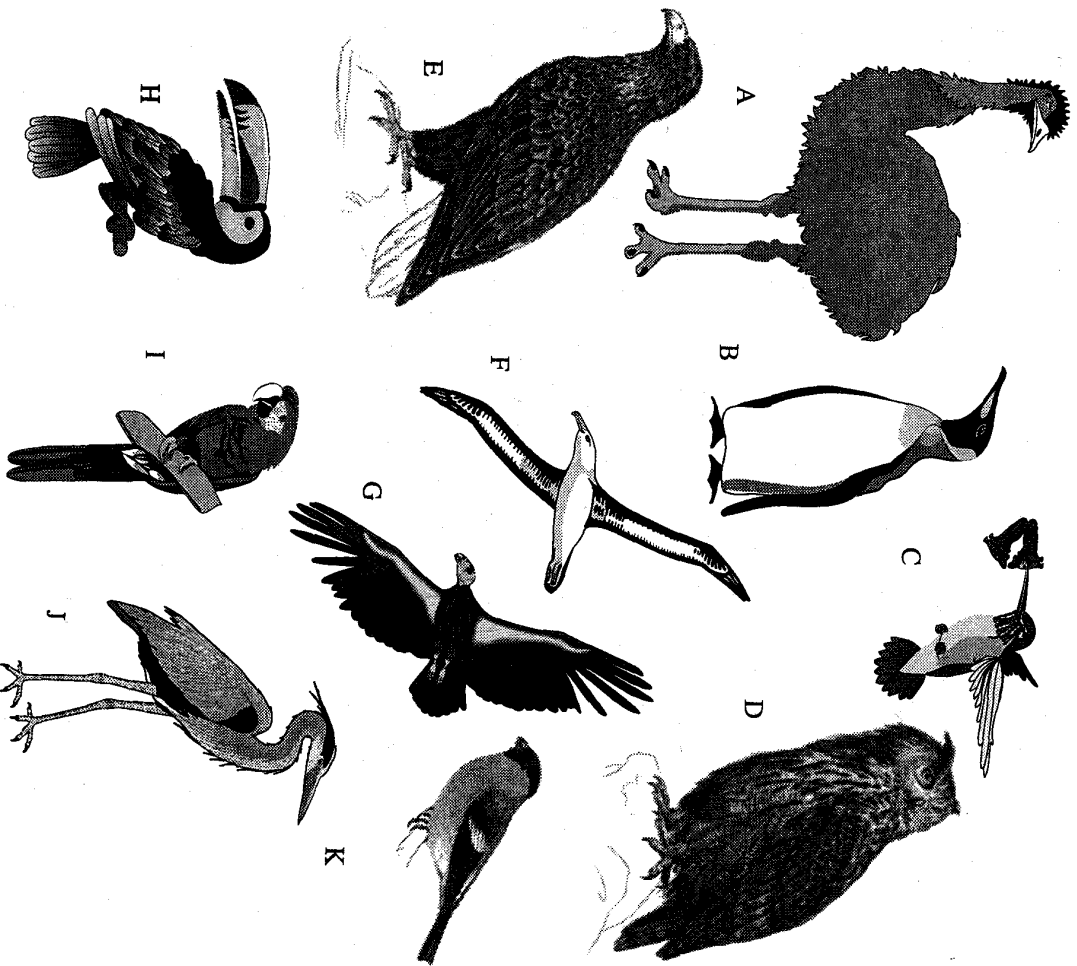
W ten sposób wyglądały więc pierwsze, ale już dość wyspecjalizowane, ptaki. Zaliczono je do podgromady **prapłaki** (*Archaeornithes*). Z nich lub z form blisko spokrewnionych, wzięły w kredzie początek **ptaki właściwe** (*Neornithes*). Dziełi się je na dwie grupy (ściśle nadrzędy):

1. *Odontornithe* (brak polskiego odpowiednika) — kredowe, kopalne, przyćmiewane ptaki o uzębionych szczękach. Kręgi ogonowe ulegały u nich redukcji do pygostyliu. Najlepiej znany — przedstawicielami są: rybożerny nielot *Hesperornis* i dobrze latający *Ichthyornis* o pokroju dużego nura;

2. *Neognathe* — prężna i młoda grupa, licząca prawie 8 600 gatunków zgrupowanych w 155 rodzinach. Ich systematyka jest jednak zawta i zestawmy ją entuzjastom (czytaj ornitologom, przy całym szacunku dla ich pracy). Ewolucja tej grupy ptaków doprowadziła do powstania szeregu typów budowy (nieznacznie odbiegających od pierwotnego wzorca):

— stusie pampasowe (**nanady**), właściwie (**strus afrykański**) i australijski **emu** (por. Ryc. 149) oraz **kaznary** są biegnącymi nielotami. Mają szczątkowe skrzydła i bardzo mocno zbudowane kończyny tylne (dwu- lub trójpalczaste). Potrafią biegać z dużą prędkością, co przy masie około 130 kg (u strusia afrykańskiego) stanowi nie lada wyczyn. Rekordzistami w prasiej gigantomanii były prawdopodobnie **moa**. Największy *Dinornis giganteus* miał 3,3 m wysokości i ok. 200 kg masy. Jeszcze w początkach XVIII w. na Madagaskarze żył 3-metrowy strus madagaskarski (*Aepyornis maximus*), który składał 10-cio litrowe jaja! Przy długości ok. 35 cm i 20 cm średnicy miały skorupę grubości 3,5 mm. W takie jajo można byłoby przełożyć zawartość ok. 185 jaj kurzych. Niestety nikt już nie sprawdzi, jak wyglądałoby robienie jajecznic z takiego „jajka” — przetrzebienie siedlisk i polowania doprowadziły do wymarcia tego gatunku.

Z moa spokrewniony jest słynny **kiwi** — nowozelandzki, niewielki, ale wojowniczy niełot o dobrze rozwiniętym zmysle węchu (poluje o zmierzchu i w nocy, wykorzystując nozdrza umieszczone na szczycie dzioba);



Ryc. 149. Sylwetki niektórych ptaków: emu (A), pingwin cesarski (B), koliber (C), puchacz (D), orzeł białki (E), albatros wędrowny (F), kondor wielki (G), tukan (H), aracuan (I), czapla siwa (J) oraz gil (K).

— **pingwiny** nie latają, ale za to znakomicie pływają (o biegu lepiej nie mówić, polecam tu filmy przyrodnicze; por. też Ryc. 149). Upierzenie jest tuskowate, skrzydła przypo-

minają wyglądem wiosła. Zamieszkują oceany półkuli południowej (generalnie: Antarktykę). Najbardziej znany jest **pingwin cesarski** mierzący ponad 1m wysokości (por. Ryc. 149);

— ptaki doskonale latające — to dość „elastyczne” pojęcie ma tutaj grupować, np. oceaniczne ptaki z rzędu burzykowatych o niesamowitych zdolnościach szybko-wo-łotniczych. Najbardziej znany jest **albatros wędrowny** o rozpiętości skrzydeł do 3,5 m (por. Ryc. 149). Wiosłogłie także znakomicie latają, a ponadto pływają i często nurkują. Najbardziej znane są: **pelikany**, **kormorany**, **fregaty** i **głupaki**. Te ostatnie są jednym z głównych producentów **guana** — nawozu naturalnego produkowanego przez ogromne kolonie tych ptaków na wybrzeżach Peru. Dobrze latają także gołębiowate i jeżykowate. Do tych ostatnich, oprócz **języków**, należą **kolibry** — najmniejsze z ptaków (6—22 cm długości). Ich trzepoczący lot wręcz fascynuje (do 1500 uderzeń skrzydeł na minutę — to taka częstotliwość, jak szybkostrzelność karabinu maszynowego i to dlatego). Żyją w obu Amerykach, żywią się nektarem kwiatowym, a niektóre z nich pająkami i owadami (por. Ryc. 149).

Większość licznych wróblowatych (60% wszystkich gat. ptaków) dobrze lata, np. **jaskółki** polujące tylko w locie, **wrony** czy **krutki**. Inaczej **pluszcz**, który łązi po dnie potoków górskich, szukając larw owadów (potrafi jednak dobrze latać!).

Do doskonałych lotników należą oczywiście ptaki z rzędu drapieżnych. Posiadają silny, zakrzywiony dziób i palce zakończone szponami. O użytkaniu jakości wzroku tych myśliwych możemy tylko pomarzyć. Przykłady: **sokoły**, **jastrzębie**, **kamie**, **orły** (por. Ryc. 149), **sepy** i **bielotniaki**.

— nazienne, słabo latające, grzebiące w ziemi kuraki, do których zaliczamy **pardwy**, **kurapatwy**, **przepiórki**, **bazanty**, **indyki**, **głusze** i **pawie**. Tu należy także **kur bantia**, indyjski protoplasta kury domowej;

— brodzące w płytkich wodach. Do nich można zaliczyć **żurawie** i **dwuczuby**;

— nocne drapieżniki o wspaniałym stereoskopowym wzroku i słuchu. Bezszelennie latają. Należą tu m.in.: **sowa śnieżna**, **puchacz** (por. Ryc. 149), **puszczyk** i **plomykówka**.

UWAGA: Taka szkieletowa charakterystyka cokolwiek urąga przeglądowi systematycznemu z prawdziwego zdarzenia. Wytlumaczeniem jest jednak oszczędność miejsca. Myślę jednak, że twój nauczyciel biologii nie obrazi się jeśli spróbujesz samodzielnie dokonać podziału ptaków na kilka typów ekologicznych. W tym celu dobrze byłoby dysponować, np. podręcznikiem Z. Grodzńskiego „Zoologia — przedstrunowce i strunowce” PWN.

SYSTEMATYKA PTAKÓW (bardzo uproszczona)

Źródło: **Ptaki** (Aves)

Podgromada: **Praptaki**

Podgromada: **Ptaki właściwe**

nadrząd: *Odontognathae*

nadrząd: *Neognathae* (tu należy 28 rzędów ptaków współcześnie żyjących, które dzielą się na 155 rodzin!).

Na koniec przypomnijmy prawdopodobny łańcuch ewolucyjny prowadzący do ptaków: **kotylozaur** → **tekdonty** → **praptaki** → **ptaki właściwe**.

Pytania i polecenia kontrolne:

1. Jakiej możliwości życiowej datą plakom statociepność?
2. Jakiej mechanizmy warunkujące aktywny lot rozwinęły się u ptaków?
3. Przedstaw współczesne poglądy na pochodzenie ptaków?
4. Jak przebiegała ewolucja pokrycia ciała u ptaków?
5. Jakiej cechy gadzie występowały u prapłata, którego szczątki odnaleziono w górnojurajskich łupkach wapiennych?
6. Jakiej cechy prapłata mogą świadczyć o tym, że jest on przodkiem ptaków współczesnych?
7. Jak przebiegała radiacja adaptacyjna u ptaków?

26. Charakterystyka ptaków

Gromada: **Ptaki (Aves)**

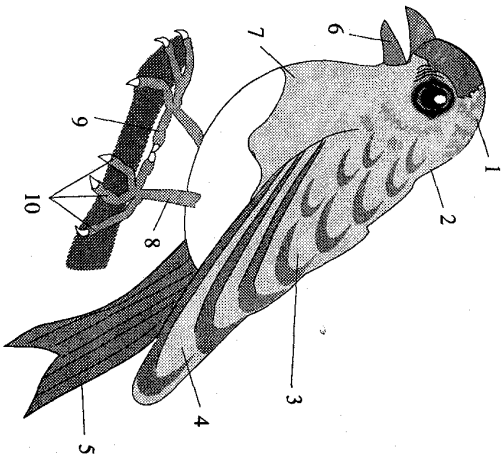
nauka: **ornitologia**

Ptaki są najdoskonalszymi lornikami wśród kręgowców. Ze względu na niewątpliwie podobieństwa budowy oraz pochodzenie gady i ptaki objęto wspólną nazwą **gadokształtne (Sauropsida, sauropsydy)**. Po przeczytaniu tego rozdziału i charakterystyki gadów spróbuj to udowodnić.

ĆWICZ. Obserwacja wybranego ptaka w środowisku naturalnym. Może to być nawet wróbel. Zwróć uwagę na rodzaj piór, ich ułożenie i lot. Narysuj samodzielnie sylwetkę ptaka, zawierającą podstawowe elementy budowy zewnętrznej (możesz wykorzystać rysunek zamieszczoną poniżej).

Budowa morfologiczna

Ogólny opis budowy zewnętrznej przeciętnego ptaka nie naszcza większych kłopotów (por. Ryc. 150). Generalnie kształt musi odpowiadać wymogom aerodynamiki. I w takim sensie ptaki bardzo wyraźnie odbiegają od większości kręgowców. Ewolucja trwająca nieprzerwanie od mezozoiku doprowadziła do powstania szeregu różnych form, ale wszystkie one mają wyraźne cechy wspólne.



Ryc. 150.
Budowa morfologiczna ptaka (1 — głowa, 2 — kark, 3 — skrzydło, 4 — łokć, 5 — ogon, 6 — dziób, 7 — pierś, 8 — skok, 9 — kciuk, 10 — palec przednie).

Pokrycie ciała

SKÓRA PTAKÓW JEST DELIKATNA

Tworzy ją cienki, wielowarstwowy i zrogowaciały naskórek, pod którym leży niezbyt grubą, elastyczną skórą właściwą. Głównym zadaniem skóry nie jest jednak mechaniczna i termiczna ochrona zwierzęcia. Odpowiedzialna jest za to warstwa piór pokrywająca ciało, dlatego grubo, silnie zrogowaciały naskórek pokrywa jedynie końcowe odcinki kończyn dolnych oraz dziób (zastanów się, dlaczego?).

W skórze ptaków nie ma gruczołów potowych (są tylko u ssaków), natomiast z łojowych występują:

A) **gruczoł kuprowy** leżący nad pygosytem i otwierający się do tyłu u nasady sterówek (por. Ryc. 152). Jego tusta wydzielina zawiera m.in. prowitaminę D. Służy zaś do konserwacji

B piór i zabezpieczenia ich przed zamknięciem (o tym, dlaczego zamknięte pióra nie spełniają funkcji termoisolacyjnych i lotnych, porozmawiaj ze swoim fizykiem). Dlatego gruczoł kuprowy jest szczególnie dobrze rozwinięty u ptaków związanych ze środowiskiem wodnym. Rozprawadanie wydzieliny odbywa się za pomocą dzioba.

B) u głuszców funkcjonują gruczoły, których wydzielina zatyka przewody słuchowe w czasie tokowania, ślad nazwa tych ptaków.

CIAŁO WSZYSTKICH PTAKÓW POKRYTE JEST PIÓRAMI

Zawiązek pióra powstaje zawsze jako wpuklenie naskórka. Wpuklenie to — praktycznie zaś: zawiązek pióra — zapada się następnie w głąb skóry, styka tam z brodawką skóry właściwej i dzieli na dwie części:

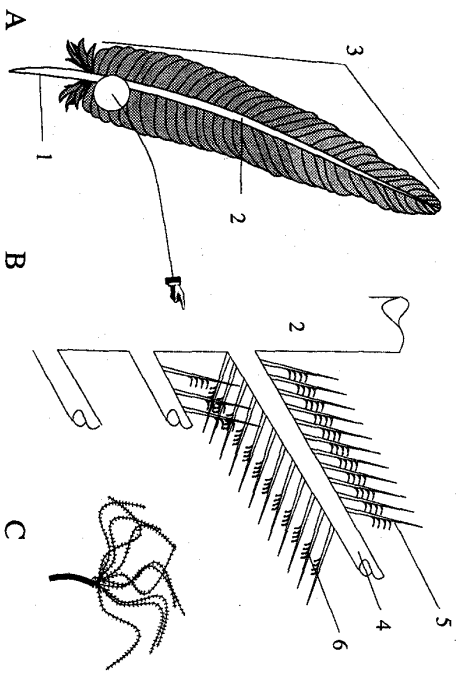
1. Zewnętrzna, z której powstanie pochwa pióra;
2. Wewnętrzna — z niej wyrośnie właściwe pióro. Przez intensywne podziały komórek w tej strefie na brodawce skóry właściwej powstaje początkowo krótka turka (zaczątek dutki). Na jej szczycie rozwijają się cienie, nitkowate wypustki;

A) Jeśli wypustki pozostaną nitkowate i będą miały bardzo delikatne gałązki, powstanie **pióro puchowe** (por. Ryc. 151 C);

B) Jeśli jedna wypustka (lub rzadziej dwie) będzie silniejsza, to rozwinię się w ± prostą **stosinę** (lub stosiny). Tak więc dutka i stosina wyznaczają oś pióra. Na stosinie rozwinię się **chorągiewka** (oś + chorągiewka = pióro definiywne). Takie pióra nazywa się **konturowymi** (por. Ryc. 151 A). Dzieli się je na

- a) lotki, b) sterówki, c) pióra okrywowe.

Lotki i sterówki nazywa się też piórami napędowymi (por. niżej). W takich piórach zawsze występuje tylko jedna stosina, ponieważ większa liczba osi osłabiałaby tylko całą konstrukcję.



Ryc. 151. Budowa pióra konturowego (A), powiększenie fragmentu chorągiewki (B) oraz wygląd pióra puchowego (C) (1 — dutka, 2 — stosina, 3 — chorągiewka, 4 — gałązka, 5 — promyki z haczykami, 6 — promyki z listewkami).

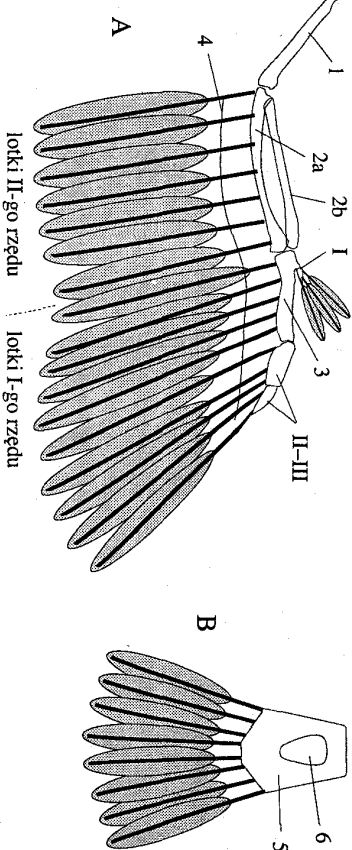
Chorągiewka zbudowana jest z dwóch rzędów liczących, pierzaście osadzonych gałązek. Z kolei od gałązek odchodzą pierzaście (jakby w górę i w dół) promyki. Jedne opatrzone są delikatnymi listewkami, drugie haczykami (por. Ryc. 151 B).

LISTEWKI I HACZYKI PROMYKÓW SASIEDNICH GAŁĄZEK ZACHODZĄ NA SIEBIE TWORZĄC BARDZO LEKKĄ I ELASTYCZNĄ STRUKTURĘ CHORĄGIEWKI

Konstrukcja chorągiewek oraz sposób ułożenia piór lotnych, tworzą wystarczająco mocną powierzchnię, zdolną oprzeć się sporym naciskom powietrza. Dla porównania, w piórach okrywowych liczba promyków z listewkami i haczykami jest mniejsza. Jednocześnie stosiny tych piór są krótsze i słabsze, a ich chorągiewki bardziej wiotkie. Tutaj jednak obciążenia aerodynamiczne są bardzo małe. Rolą piór okrywowych jest bowiem m.in. upakowywanie piór puchowych w warstwie o odpowiedniej grubości.

W ten sposób rysuje się inny podział piór — na te związane głównie:

1. **Zlotem** — o szywanej chorągiewce, czyli lotki i sterówki;
2. **Z termoregulacją** — rolę tę spełniają pióra puchowe i okrywowe. U wielu ptaków, np. gołębi, pióra puchowe wytwarzają jeszcze tzw. puder, który służy do konserwacji upierzenia. W przeciętnych warunkach puch stanowi bardzo dobrą izolację ciepłą. Tym niemniej czasem może być tak zimno, że struszenie piór nie wystarczy. Ślad u niektórych gatunków występuje tzw. termoregulacja socialna. Przykładem mogą być pingwiny, które często zbierają się razem i przytulają do siebie (wyłumacz to zachowanie, wykorzystując znajomość termodynamiki).



Ryc. 152. Ułożenie lotek w skrzydle (A) i sterówek w ogonie (B) ptaka (1 — kość ramieniowa, 2a — k. łokciowa, 2b — k. promieniowa, 3 — kości dłoni, 4 — ścięgno, 5 — pygostyl, 6 — gruczoł kuprowy, I — pierwszy palec tworzący skrzydło, II i III — kolejne palce).

Pióra nie wyrastają jednak na całej powierzchni ciała, a ± pasami. Te obszary, gdzie pióra okrywowe wyrastają, nazywamy **pteryliami**, a te „gołe” **apteriami**. Jasne jest jednak, że od wnagrz pióra pokrywają płaka całkowicie. Dzieje się tak dlatego, że dutki osadzone są w skórze ukośnie i chorągiewki układają się przy powierzchni ciała. Wyjątek stanowią pingwiny i strusie — u nich cała powierzchnia ciała to jedno **pterylium**.

Przejdźmy teraz do umocowania piór napędowych:

Lotki (remiges) mocowane są na końcach kości scaprydel łącznotkankową spoiną (por. Ryc. 152 A). Dokładniej mówiąc, do rozbudowanego palca II (i częściowo III) oraz śródca przymocowane są **lotki I-go rzędu** (10—12 sztuk). Z kolei na kości łokciowej (nie promieniowej!) występuje od 6, np. u kolibrów, gdyż szybko machają skrzydłami, do 37 **lotek II-go rzędu** u albatrosów, ponieważ doskonale szybują. Liczba lotek ogólnie zależy od gatunku. Rzadko na

kości ramiennej osadzone są jeszcze łotki III-go rzędu. W istocie są to tylko przekształcone pióra okrywowe, możesz je więc spokojnie pominąć. Wzmocnienie całej konstrukcji powierzonej lotnej następuje dzięki elastycznemu ścięgnu, spinającemu dułki lotek oraz nachodzeniu piór okrywowych na początkowe odcinki samych lotek.

Ogon ptaka jest bardzo lekki, gdyż tworzą go praktycznie tylko pióra — sterówki (*rectrices*). Są one wachlarzowo osadzone na trójkątnej płycie kostnej — pygostylu, a ich liczba waha się od 8 do 24 (przeciętnie 10—12, zależy to jednak od gatunku; por. Ryc. 152 B).

Pióra nie są tworami wiecznymi i dlatego ulegają okresowej wymianie, czyli pierzeniu. U niektórych ptaków odbywa to się „na raz” i przez jakiś czas nie mogą one latać (np. blaskodziobe, nury i flamingi). Inne wymieniają je stopniowo, zachowując zdolność do lotu (np. drapieżne).

Barwa upierzenia to cecha, o której długo mogliby opowiadać ornitolodzy. Tutaj poprzestaniemy na tym, że może być różna u obu płci (dymorfizm płciowy) i zmieniać się w porze godowej. Kształt, barwa i wielkość lotek oraz sterówek są też ważnymi cechami systematycznymi.

U PTAKÓW TWOREM NIEMAL TAK CHARAKTERYSTYCZNYM JAK PIÓRA JEST DZIÓB

To rogowe okucie szczęk ma różne kształty i wielkość zależną od gatunku. **Dziób** powstał najprawdopodobniej ze złączy w jedną całość łusek rogowych. Składa się z dwóch części, obejmujących jak pochwy szkielet żuchwy i szczęki górnej. Twor ten jest progresywnym przystosowaniem do lotu. Pozornie nie jest to rozwiązanie najlepsze — wszak uzbębione szczęki to oręż nie do pogardzenia. Dla lotnika zęby mają jednak istotną wadę — są za ciężkie i przesuwają niebezpiecznie do przodu środek ciężkości ciała. Dziób jest więc rozwiązaniem kompromisowym. Można powiedzieć, że stanowi lekki organ, służący do zdobywania pokarmu, obrony oraz pielęgnacji piór. Jego wielkość i kształt świadcza więc o „charakterze” właściciela. Przykładowo, ptaki drapieżne, papugi i sowy mają dziób krótki, haczykowato zagięty. Dzioby spłaszczony, miękkie, opatrzone listewkami występują u blaskodziobych (np. kaczk, łabędzie). Znamojądy mają zaś dzioby krótkie, silnie stożkowego kształtu. Natomiast dzioby rybożerców są często bocznie ścięsiłone i mają ostre krawędzie (np. komoran, pingwiny). Zastanów się, dlaczego tak jest?

UWAGA: Dziób nie jest jednak specyficzny tylko dla ptaków (por. np. żółwie i dziobak).

Szkielet

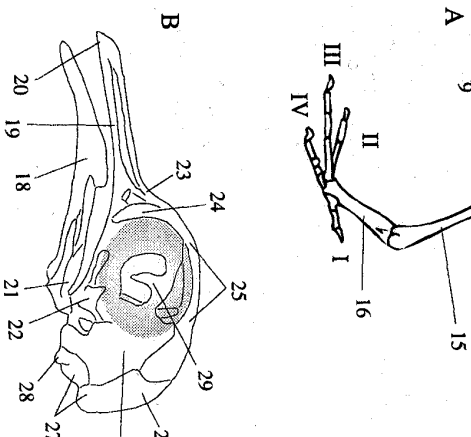
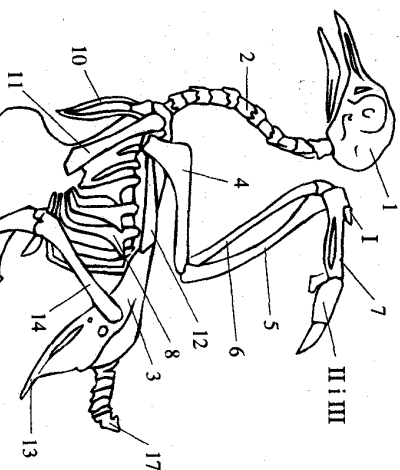
SZKIELET PTAKÓW JEST BARDZO LEKKI

U ptaków latających kościec jest **prawie zupełnie pneumatyczny**, co oznacza, że jamy szkieletowe wypełnione są powietrzem (wyjątek stanowi jedynie część kości m.in. dłoni, przedramienia i miednicy). Pistość jam kości powoduje, że szkielet jest bardzo lekki (u dużych albatrosów jego masa wynosi sto kilkadziesiąt gramów!) i jednocześnie bardzo wytrzymały mechanicznie — jego skostnienie jest bowiem niemal całkowite. Oczywiście pomijam tu powietrznie stawowe, które muszą być chrząstke.

1. Szkielet osiowy (por. Ryc. 153):

A) czaszka ptaków ma kilka cech charakterystycznych (w porównaniu z ich gadziemi przodkami):

- a) **mózgoczaszka** ptaka jest relatywnie większa niż gada i silniej wypuklona (por. bud. mózgowia ptaka). Cechuje ją duża szerokość i cienkie sklepienie, budowane przez zlewające się kości: cieniową, skroniową i potyliczną. Uwagę zwracają też bardzo duże oczodoły. Zastanów się, jakie to ma znaczenie dla lotu?



Ryc. 153.

Szkielet ptaka (A) i powiększenie czaszki (B) (1 — czaszka z dużymi oczodołami, 2 — brzeg siodełkowaty szyi, 3 — kość biodrowa, 4 — k. ramieniowa, 5 — k. łokciowa, 6 — k. promieniowa, 7 — kości śródreżca, 8 — żebro z wyrostkami haczykowatymi, 9 — grzebień mostka, 10 — obojczyki, 11 — k. krzyżowe, 12 — łopatką, 13 — k. łonowa, 14 — k. udowa, 15 — k. gołenistwa, 16 — k. skokowa, 17 — pygostyl, 18 — k. zębowa, 19 — k. szczękowa, 20 — k. przedczęskowa, 21 — k. stawowa, 22 — k. kwadratowa, 23 — k. nosowa, 24 — k. łzowa, 25 — k. czołowa, 26 — k. cieniowa, 27 — k. potyliczna, 28 — kłykiec potyliczny, 29 — przegroda międzyoczodołowa, 30 — k. łuskowa; I—IV — palce).

b) otwór potyliczny wielki, przez który wychodzi rdzeń kręgowy jest przesunięty na spodnią stronę mózgoczaszki;

c) kość przedszczękowa jest silnie rozwinięta, na niej osadzona jest górna część dzioba;

d) obecność kilku kości w zuchwie, typ budowy stawu zuchwowego i pojedynczy kłykiec potyliczny to już „cechy gadzie”.

B) **kręgosłup** — jak już wiesz, zbudowany jest z 5 odcinków (0 łącznej liczbie 39—62 kręgów). Zaznaczają się tu jednak charakterystyczne tendencje:

a) odcinek szyjny jest bardzo ruchliwy. Szyja ptaków zawsze wygina się w kształcie litery S („esowato”). Kręgi są **siodełkowe** (heteroceliczne) — jeśli wiesz, jak wygląda siodełko, łatwo je sobie wyobrazić. Pierwsze dwa kręgi to oczywiście dźwigaćz i obrotnik. Całkowita liczba kręgów szyjnych waha się w granicach 9—25. W ten sposób boccian i żuraw mogą naprawdę szybko i daleko sięgać swoimi dziobami;

b) odcinek piersiowy — u wielu ptaków (szczególnie kuraków, niektórych wróblowatych i drapieżnych) pierwsze kręgi piersiowe zrastają się w pojedynczą **kość grzbietową** tzw. *notarium*. Następny krąg (jeszcze piersiowy) jest wówczas wolny;

c) z kolei ostatnie kręgi piersiowe, wszystkie lędźwiowe, krzyżowe i pierwsze ogonowe zrastają się w potężną **kość lędźwiowo-krzyżową** (tu *synsacrum*). Odcinek ten jest zespolony z potężną miednicą;

Wniosek: Widać wyraźnie, iż u ptaków silnie zaznacza się tendencja do usztywniania kręgosłupa tułowiowego;

UWAGA: Wg niektórych podreczników cały odcinek tułowiowy tworzy jedną belkę kostną — jest to oczywiście pewne uproszczenie.

d) odcinek ogonowy także ulega zmianom. Z 9—12 kręgów ogonowych pierwszy zrasta się współtworząc synsacrum (o czym już wspomniano). Kilka następnych (zwykle 3) jest wolnych, natomiast ostatnie 4 zrastają się w trójkątną płytkę kostną zwaną pygostylem. Jak już wspomniano, na niej osadzone są sterówki;

C) **Klatka piersiowa** jest mocna i spełnia wymogi stawiane konstrukcji lotnej. Otóż zebrza właściwie, łączące się z mostkiem (tu w liczbie 4—9 par) zbudowane są każde z dwóch części. Zestawiają się one pod kątem rozwartym do przodu (por. Ryc. 153). W ten sposób plak może zmieniać pojemność Klatki piersiowej, a więc i płuc, przez podsuwanie i odsuwanie mostka. Mechanizm ten jest jednak wykorzystywany tylko w czasie pobytu na twardym podłożu. W locie klatka piersiowa musi być sztywna (środek ciężkości nie może się przemieszczać), dlatego odpowiednie mięśnie przyciągają zebrza do tyłu. Cofniecie to powoduje zachodzenie specjalnych zeber. W ten sposób konstrukcja klatki zostaje usztywniona, co ma znaczenie dla stabilności lotu. Jak wówczas plak oddycha — por. niżej.

2. Obręcze i kończyny:

A) **obręcz barkowa** jest zbudowana z: łopatek, kości krucznych i obojczyków (por. Ryc. 153). Staw barkowy lotników jest potężny i ulega przesunięciu ponad środek ciężkości zwierzęcia. Ciekawa jest też konstrukcja obojczyków. Otóż wąskie kości obojczykowe skierowane są dośrodkowo w dół i połączone w literę „V”. Przypomina to nieco podpórki skrzydeł stosowane w małych płotowcach, ale też funkcje tych elementów są takie same. Szablaste łopateki skierowane są do tyłu. Mostek jest duży i płaski. U ptaków latających wyrasta z niego prostopadły, duży **grzebień mostka** — miejsce przyczepu silnych mięśni skrzydeł. U nietotów może on być niemal zupełnie zredukowany, nigdy jednak całkowicie.

Kości kończyny przedniej ptaków uległy znacznej przebudowie. Widać tutaj (por. także Ryc. 152 A) tendencje do: redukcji pewnych części i rozwoju pozostałych. I tak największe zmiany zaszły w końcu dłoni. Liczba palców uległa redukcji do trzech (piątego i czwartego brak zupełnie). Najlepiej rozwinięty jest palec drugi, trzeci mniej, natomiast pierwszy, szczątkowy tworzy **skrzydełko**. Ziewaniu ulegają też kości nadgarstka. Poza tym niechlivość stawów: toczkowego i nadgarstkowego jest ograniczona do jednej płaszczyzny. Dzięki temu skrzydło ma odpowiednią sztywność. Lot aktywny jest możliwy dzięki tymczasnym wymachom skrzydeł i odpowiedniemu ich ustawieniu. Skrzydłami poruszają potężne mięśnie klatki piersiowej, które przycepiione są na grzebieniu mostka. Pozwala to osiągnąć pożądaną liczbę wymachów, np. od I/sek. u pelikanów do 60/sek. u kolibrow.

B) obręcz miednicowa i kończyny dolne:

Te elementy szkieletu są dobrze rozwinięte, co ma związek z:

- dwunożnością wszystkich ptaków,
- koniecznością przyjmowania dużych obciążeń przy lądowaniu.

Obręcz miednicowa zbudowana jest „tradycyjnie” z trzech kości: biodrowej, łonowej i kulzowej. Ta pierwsza zrasta się na drugim odcinku z *synsacrum*. Kość łonowa biegnie do tyłu ± równoległe do kręgołupa i przyrośnięta jest częściowo do kości kulzowowych. Z kolei wolne, tylne odcinki kości łonowych rozchylają się do tyłu i na boki. Rozstaw ten jest większy u samicy, co ma związek ze składaniem dużych jaj. Jest to miednica otwarta, dość podobna do tej, jaką poznaliśmy u gadów ptasiomiednicowych.

Kość udowa jest skrócona, dlatego nie widać jej pod piórami i pierwszy staw, który jest widoczny od zewnątrz, to kolanowy. Kości podudzia (strzałkowa i gołeniewa) często zrastają się ze sobą w kość gołeniewą. Natomiast, jak już wspomniano, kości dolne stępu oraz śródstopia zrastają się w czasie rozwoju zarodkowego w kość skokową. W ten sposób powstaje dodatkowa dźwignia i staw skokowy dolny, umożliwiający amortyzację przeciążeń. W końcu nie tylne plaków nastąpiła też redukcja liczby palców. Brak palca V-go, I-szy skierowany jest do tyłu, a II-IV skierowane są do przodu. Tendencja ta może doprowadzić nawet do dwupalcowości — tak jak u superbiegacza — strusia afrykańskiego (por. to ze ssakami kopytymi).

Palce u ptaków związane ze środowiskiem wodnym są zwykle spięte błoną pławną. U pływaków i nurkujących dochodzi do jeszcze silniejszego skrócenia kości udowych — kończyny tych ptaków stały się „pągajowate” (ścisłej pletwowate).

Małd mięśniowy

Muskulatura ptaka jest bardzo dobrze rozwinięta. Szczególnie zaś **mięśnie skrzydeł** (u lotników) lub kończyn dolnych (u biegaczy). Konkretnych nazw mięśni nie musimy znać, pamiętając tylko, że ptaki nie mają przepony. Informacja dla bardziej ambitnych: ruch skrzydeł w dół (ten warunkujący się nośną) powodowany jest przez mięśnie piersiowy, ruch w górę wywoływany zaś przez mięśnie kruczoramienny. Oczywiście, oba przycepiione są do grzebienia mostka i osi ramieniowych.

Małd oddechowy

WSZYSTKIE PTAKI MAJĄ SYSTEM ODDECHOWY ZŁOŻONY Z PŁUC I WORKÓW POWIETRZNYCH

Można śmiało zaryzykować twierdzenie, że jest to najsprawniejszy układ oddechowy w świecie zwierząt. Porównywalną sprawność wykazuje tylko system tchawkowy owadów, ale jego zastosowanie jest ograniczone do małych zwierząt. Wróćmy jednak do ptaków, otóż istotne achy ich układu oddechowego można zestawić następująco (por. Ryc. 154):

Podstawą systemu są niewielkie, mało elastyczne **płuca** (ruchy oddechowe klatki piersiowej praktycznie nie zmieniają ich objętości). Zaleją je zaś relatywnie bardzo duża powierzchnia czyma. Osiąga się to poprzez specjalną budowę. Do każdego płuca prowadzi oskrzele główne, od którego rozbiegają się liczne oskrzela II-go rzędu. Dzielnymi je na grzebietowe (wdechowe) i brzuszne (wydechowe). Rozgałęziają się one na jeszcze drobniejsze oskrzeliki III-go rzędu, ułożone równoległe względem siebie. Pomiedzy nimi mieści się niesamowita płatanina kapilar powietrznych i krwionośnych, gdzie ma miejsce wymiana gazowa. Średnica tych pierwszych jest bardzo mała, np. u gołębia wynosi tylko ok. 4 μm (porównaj to ze średnicą pęcherzyków płucnych ssaków). Skutkiem są dwie rzeczy:

A) takich kapilar można upakować bardzo dużo, przez co powierzchnia oddechowa płuc (czylna) jest bardzo rozbudowana. Przykładowo u gołębia wynosi ona 40 cm²/g masy ciała, a u wrony 95 cm²/g. Dla porównania u człowieka tylko (?) ok. 12 cm²/g.

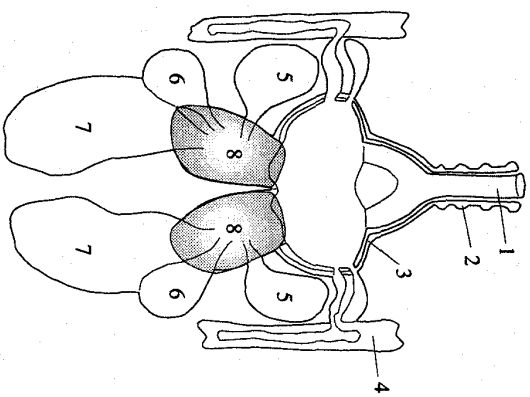
B) wada (?) małej średnicy jest delikatność tych kapilar — nie mogą one bowiem pracować systemem „miechowym” jak płuca gadów czy ssaków, dlatego **płuca ptaków mają charakter przepływowy**. Inaczej mówiąc, w trakcie oddychania powietrze jest przepychane przez oskrzela i kapilary, które nie zmieniają swojej średnicy.

Powstaje teraz naturalne pytanie — jaka jest siła sprawcza ruchu powietrza?

2. Otóż funkcję pomp ssąco-tłoczących spełniają cienkościennie, słabo unaczynione **worki płucne** (por. Ryc. 154). Ich liczba zwykle wynosi 9 (4 parzyste i 1 nieparzysty). Podzielić je można na przednie (m.in. szyjne, obojczykowe i piersiowe przednie) oraz tylne (piersiowe tylne i brzuszne). Worki płucne wnikają nawet do kości długich (np. ramienia), tworzą też duże puste przestrzenie w ciele zwierzęcia (sądz m.in. mała masa ciała ptaków). Worki płucne połączone są z płucami w funkcjonalną całość, która nie ma zdolności do aktywnej zmiany objętości. Dopiero ucisk mięśni szkieletowych na worki zmienia ich objętość i wymusza przepływ powietrza przez płuca.

W CZASIE LOTU WDECHY I WYDECHY SĄ ZSYNCHRONIZOWANE Z WYMACHAM I SKRZYDEŁ

Uniesienie skrzydeł jest równoznaczne z wdechem, opuszczenie z wydechem. Rozwiązanie to „zbija z nóg” swoją prostotą — im szybciej ptak musi lecieć, tym intensywniej wymachuje skrzydłami. To zaś oznacza wzrost zapotrzebowania na energię, a więc i na tlen. Zapotrzebowanie to jest pokrywane więc niejako automatycznie. Żaden inny mechanizm nie umożliwia tak szybkich oddechów. Dla przykładu kolibry potrafią wykonać ponad 500 wdechów na minutę, inne ptaki mniej, ale i one mają spore możliwości.



Ryc. 154. Worki płucne i płuca ptaka 1 — tchawica, 2 — worek szyjny, 3 — worek obojczykowy, 4 — kość ramiennowa, 5 — worek piersiowy przedni, 6 — worek piersiowy tylny, 7 — worek brzuszny, 8 — płuca, które dodatkowo zostały zacięto (niebiesko).

U PTAKÓW WYSTĘPUJE ZJAWISKO PODWOJNEGO ODDYCHANIA

Nie chodzi tutaj o dwa układy oddechowe. Istotą jest to, że zarówno podczas wdechu jak i wydechu przez płuca przepływa strumień świeżego powietrza.

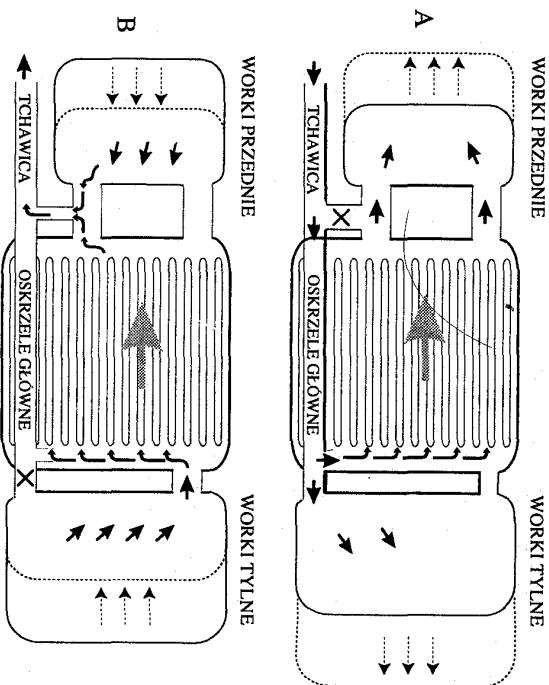
Zastanówmy się więc, jak to jest możliwe:

1. **Wdech** — powietrze jest zasysane głównie przez worki tylne. Pamiętaj jednak, że same worki nie mogą aktywnie zmieniać swojej objętości. Wciągane powietrze przechodzi przez małą jamę nosową, długą tchawicę, krtań dolną i oskrzelami głównymi wpada do płuc. W czasie wdechu wejście do oskrzeli brzusznym jest zamknięte („X” na Ryc. 155 A). Tak więc wdechane przez oskrzela grzbietowe powietrze wchodzi od tyłu do kapilar płucnych i dalej do worków przednich. Jego część jednak przechodzi przedłużeniem oskrzela głównego — oskrzelem workowym — do worków tylnych (nie pokonuje więc sieci kapilarnej i nie zostaje zużyte).

2. **Wydech** — następuje zamknięcie oskrzeli grzbietowych i przedłużenia oskrzela głównego („X” na Ryc. 155 B). Jednocześnie otwarte zostaje oskrzela brzuszne (wydechowe). Ucisk na worki tylne i przednie wywołuje następujący skutek:

a) nie zużyte powietrze z worków tylnych przepływa do przodu przez sieć kapilar płucnych,

b) zużyte wcześniej powietrze, wypchnięte worki przednie, przez oskrzela wydechowe usuwane jest do oskrzela głównego i dalej na zewnątrz.



Ryc. 155. Schemat wentylacji płuc ptaka (A) wdech i (B) wydech. Widoczne jest, że przez kapilary powietrze przepływa tylko od ogona do głowy i to, iż objętość zmieniają tylko worki powietrzne (linie przerywane).

Wniosek: Przepływ powietrza przez kapilary płucne jest zawsze jednokierunkowy — od ogona do głowy. Worki płucne spełniają zaś dość liczne funkcje:

- stanowią wraz z mięśniami tłocznik powietrza;
- zmniejszają ciężar właściwy ptaka;
- są rezerwuarem powietrza;
- umożliwiają ogrzewanie zimnego i schładzanie gorącego powietrza — generalnie działają wyrównująco na temperaturę zasysanego powietrza;
- biorą udział w nawilżaniu powietrza;
- chronią przed przegrzaniem w czasie lotu.

Układ krążenia

U PTAKÓW SERCE JEST CZTEROJAMISTE I MA IMPONUJĄCĄ SPRAWNOŚĆ

Wymagania energetyczne ptaków są bardzo duże. Musi im podobać także układ krążenia (por. Ryc. 156). Jest on oczywiście dwuobiegowy i zapewnia całkowite rozdzielenie krwi utlenowanej od odtlenowanej (porównaj to z gadami i ssakami).

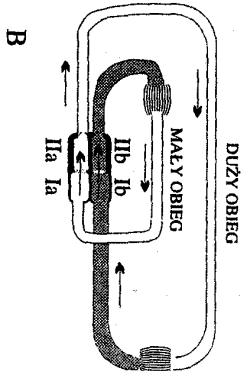
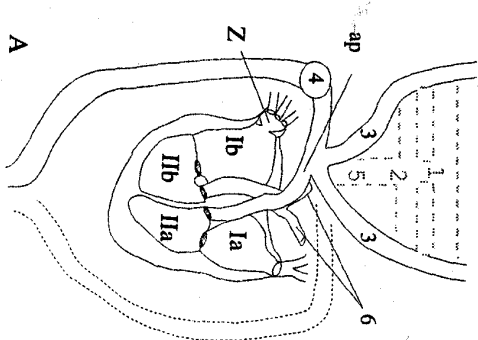
Centrum systemu stanowi **potężne serce** całkowicie podzielone na część lewą (lewy przedsionek oraz lewa komora) i prawą (prawy przedsionek i prawa komora). U małych ptaków jego masa sięga 30% masy całego ciała (!). Można zażytkować stwierdzenie, że taki ptak to „skrzydłona pompa” do krwi. To jednak nie wszystko — piasie serce ma dużą pojemność wyrzynową i może pracować z częstotliwością setek cykli na minutę (u kolibrów ponad 1000!), sądz ciśnień

krwi są bardzo znaczne, a tempo jej krążenia oształamiające. Przykładowo, u kurczaka pokonanie obu obiegów zajmuje nieco ponad 3 sek. (i nie jest to wynik rekordowy). Podwyższenie wydajności układu krążenia ptaków odbywało się także poprzez:

A) redukcję zatoki żyłnej — u większości ptaków jest ona szczątkowa. Wyjątek stanowią nietoly, u których jest ona dość dobrze zachowana (zaznaczono ją na Ryc. 156 A, ale większość schematów pomija ten szczegół);

B) redukcję liczby naczyń opuszczających lewą komorę. Ścisłej mówiąc u ptaków funkcjonuje tylko jeden z łuków aorty — **prawy**. Dłaczego lepiej tłoczyć krew jednym naczyniem niż dwoma (przy porównywalnej przepustowości), powinienś wiedzieć sam. Jeśli nie, porozmawiaj ze swoim nauczycielem fizyki;

C) *krwinki czerwone są mniejsze niż u gadów. Jest tu ciekawa prawidłowość — im mniejszy jest ptak, tym mniejsze ma erytrocyty. Krwinki te są jądzaste, ale poza tym praktycznie pozbawione organelli i krótko żyją.*



Ryc. 156.
Fragment układu krążenia ptaka (A) oraz schemat całego (B). Zwróć uwagę na szczątkową zatokę żylną (Z), trzy naczyńa wchodzące do prawej części serca (porównaj to z gadami i ssakami) (1—6 taki naczyniowe, ap — prawy łuk aorty, Ia, IIa, Ib, Ib — części serca — wypisz jukiel!). Liniami kropkowanymi przedstawiono zredukowane łuki naczyniowe.

Obiegi krwi są „typowe”, dla pewności jednak przyrzyj im się uważnie:

1. **Duży:** lewa komora → łuk aorty → tętnice → kapilary tkankowe → żyły → żyły główne → prawy przedsionek (poprzez szczątkową zatokę żylną);

2. **Mały:** prawa komora → pień płucny → tętnice płucne → kapilary płucne → żyły płucne → lewy przedsionek.

Układ wydalniczy i rozrodczy

Układy: rozrodczy i wydalniczy ptaków silnie nawiązują do ich gadzich przodków (jest to ta sama konstrukcja tyle, że nieco zredukowana). Narządami wydalniczymi ptaków są **nerki typu osłatecznego** (zanerczą). Produktem przemian azotowych głównie jest **kwas moczowy**, ślad w nekach nie dochodzi do zagęszczenia moczu. Jak dotąd przypominają to gady, jednak uderzającą cechą układu wydalniczego ptaków jest **brak pęcherza moczowego** (mimo to por. Ryc. 146). Jest to niewątpliwie skutek przystosowania tych zwierząt do lotu. Rozcieńczony

mocz przepływa więc moczowodem do kloaki i dopiero tam ulega zagęszczeniu. Oszczeźda gospodaraka wodą, jaką prowadzi ptaki, najbardziej przypomina stosunki panujące u gadów luskonosnych.

Pewien problem stanowi gospodaraka wodnomineralna ptaków morskich. Zwierzęta te radzą sobie w ten sposób, że piją słoną wodę, a nadmiar soli wydalają przez gruczoł soli, uchodzący u nasady dzioba. Ponadto nefrony w ich nerkach mają niewielkie pętle i słabo zagęszczają mocz (por. kl. III lub zajęcia fakultatywne).

JAJA PTAKÓW NALEŻĄ DO NAJWIĘKSZYCH W CAŁYM ŚWIECIE ZWIĘRZĘCYM,

choć rekordowe występują u ryb spodoustych, np. u żarłacza śledziowego. Rozród i zjawiska z nim związane są u ptaków bardzo zróżnicowane. Zachowanie godowe (zloty, głosy, tańce, budowa gniazd) osiągają w tej grupie wysoki poziom rozwoju. Niestety, ze względu na objętość kursu biologii w szkole średniej, nie można ich tutaj przedstawić.

Ptaki są oczywiście **rozdzielnopłciowe**, często występuje też dymorfizm płciowy. Układ rozrodczy samicy ulega częściowej redukcji — funkcjonuje tylko **lewy jajnik** i jajowód (jak już wspomniano zmniejsza to masę ciała i jest korzystne dla lotu).

Akt płciowy odbywa się w bardzo różnych miejscach, gdyż jest to cecha gatunkowa (np. u jerytków w locie, a u perkozów w gnieździe). Zapłodnienie następuje w jajowodzie i dopiero potem komórka jajowa zostaje opatrzona w dodatkowe osłonki: białkową i pergaminową. Na końcu zaś jajo „przyoblekane” jest w skorupkę wapienną.

Złożenie dużego jaja jest możliwe dzięki rozwarłej od tyłu miednicy (brak spojenia tonowego). Liczba jaj w jednym zniesieniu jest cechą gatunkową (od jednego do kilkunasu).

Jaja muszą być wysiadywane. Zajmują się tym rodzice (matka lub ojciec) i trwa to od kilku do kilkadziesiąt dni. Jedyne nogale zakopują swoje jaja w kopcach burzejących liści — ciepło wydzielane w czasie ich rozkładu ogrzewa zarodki.

W zależności od zachowania się piskląt wkrótce po wykluciu ptaki dzieli się (cokolwiek szluznie) na:

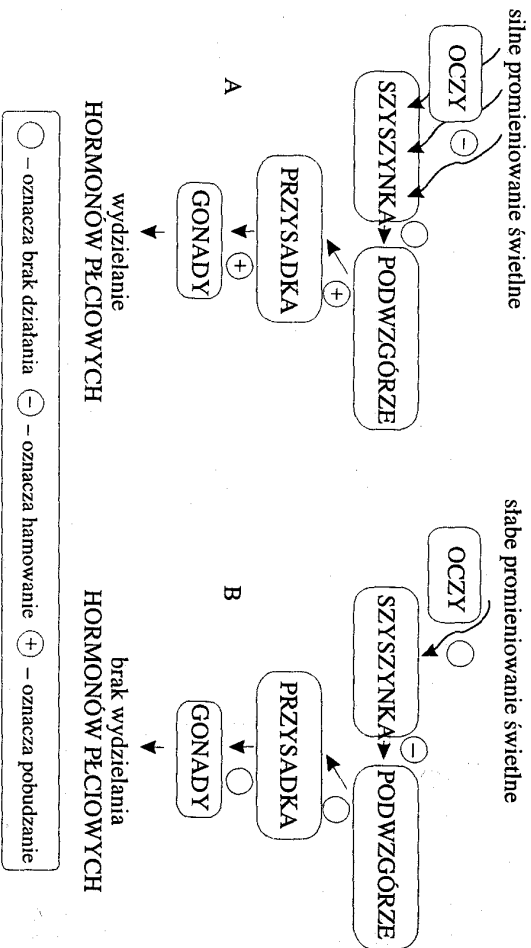
1. **Gniazdowniki** — ich pisklęta są niedołężne, często ślepe i nie opuszczają przez dłuższy czas gniazda. Przykłady: drapieżne, wróblowate, kukulkowate, dzięciołowate, papugi i gołębie;

2. **Zagniazdowniki** — ich pisklęta wkrótce po wykluciu się są dość samodzielne i mogą opuszczać gniazda w poszukiwaniu żeru. Najczęściej jednak opieka rodzicielska jest jeszcze potrzebna przez pewien czas. Przykłady: blaszkodziobe, kuraki, zurawie, perkozy.

NIKTÓRE PTAKI WĘDRUJĄ CO ROKU, POKONUJĄC OGROMNE ODLEGŁOŚCI

W warunkach europejskich przyczyną wędrowek np. bocianów, jerytków i ptaków spiewających, najczęściej jest zima. Badaniu migracji ptaków służą m.in. obciążkowania. O ile jednak trasy przelotów są dobrze znane, to problem nawigacji i odnajdowania celu jest przedmiotem wielu badań. W Polsce zajmuje się tym m.in. stacja ornitologiczna Instytutu Ekologii PAN w Gdańsku-Górkach Wschodnich. Obok gatunków wędrownych wyróżnia się też osiadłe, nie zmieniające miejsca pobytu, np. wróbel. Niektóre źródła wyróżniają jeszcze jedną kategorię: ptaków wędrujących na niewielkie odległości. Są to tzw. gatunki przelotne, a zaliczamy do nich np. ziębę i szpaka.

F STEROWANIE AKTYWNOŚCIĄ ROZRODZĄ I MIGRACJAMI MA CHARAKTER NEUROHORMONALNY



Ryc. 157. Uproszczone schemat zależności środowisko — stan hormonalny ptaka: A — gdy długość dnia różnie i B — gdy maleje.

Kluczowym bodźcem jest długość dnia. Rosnąca ilość światła silniej pobudza receptory w oczach, które przekazują impulsy m.in. do szyszynki. U ptaków działa na nią także promieniowanie podczerwone przenikające bezpośrednio przez cienkie kości sklepienia mózgowcaszki. Można powiedzieć, że szyszynka „nie lubi” światła — pod jego wpływem jest bowiem hamowana. Jednocześnie ta część międzymózgowia jest czynną w rodzaju „straznika moralności”, u dorosłych zwierząt hamuje bowiem aktywność gonad (por. Ryc. 157). Siłą rzeczy zmniejszenie aktywności szyszynki pobudzi gonady do wydzielania odpowiednich hormonów płciowych. Rosnąca długość dnia jest sygnałem nadchodzącego lata, a więc okresu korzystnego dla rozrodu. Wówczas hamowanie aktywności szyszynki ma sens. Z kolei jesienią długość dnia maleje i zwiększa się aktywność szyszynki. Praca gonad prawie zupełnie ustaje i aktywność zwierzęcia zostaje przekierkowana na czynności „wegetatywne”.

Analiza przedstawionych sytuacji prowadzi do wniosku, że mamy tu do czynienia ze złożonymi rytmemi biologicznymi — swoistyymi zegarami, które zrywają aktywność zwierząt z porami roku.

UWAGA: W rzeczywistości tego typu mechanizm jest powszechny u kręgowców (por. ssaki).

Układ pokarmowy

Brak zębów w szczękach odcisnął szczególne „piętno” na układzie pokarmowym. Dziób może bowiem służyć do pobierania całych porcji (połykanie pokarmu w całości) lub wyrywania kęsów (por. sępy). U takich gatunków trudno jednak mówić o „porządnej”, wstępnej obróbce

pokarmu. W przypadku ziarnojadów i wielu ptaków owadożernych sytuacja jest odmienna — ich dzioby umożliwiają dość sprawnie rozdrabnianie pożywienia. Tak czy inaczej brak zębów nie jest tutaj korzystny, ponieważ ptaki mają bardzo duże zapotrzebowanie pokarmowe (są to oczywiście koszty związane z lotem i utrzymaniem stałej temperatury ciała). Powstałe więc pytanie — jak można szybko strawić nie rozdrobnione pożywienie? U wielu gatunków przelyk uległ rozszerzeniu w wole i tam ma miejsce wstępne rozmiękanie. Rozwiązaniem strategicznym jest jednak żołądek — u ptaków ma on budowę dwuczęściową:

1. W pierwszej intensywnie wydzielane są soki trawienne, stąd nazwa — **żołądek gruczołowy**;
2. Druga jest silnie umięśniona. W niej odbywa się miążdżenie i rozcieranie pokarmu, stąd nazwa — **żołądek mięśniowy**. Rozwój tej części jest dowodem istnienia tzw. **zasady korelacji**, którą sformułował w XIX w. Cuvier. Głosi ona, że „zmiany w budowie i funkcjach jednego narządu pociągają za sobą zmiany w budowie i funkcjach drugiego”. W naszym przypadku chodzi o to, że brak zębów spowodował rozwój ich funkcjonalnego odpowiednika — mięśniowej części żołądka.

Dodać tutaj jeszcze należy, że niektóre ptaki połykają drobne kamienie (gastroliity), które spełniają w żołądku taką funkcję, jak kamienie mylnskie w czasie mielenia zboża. Długość jelita ptaka zależy od jego diety (zależność jest typowa), kończy się ono w **stęku** (*Klauda*). Jest to rozwiązanie klasycznie „gadzie”. Do kloaki uchodzą moczowody i nasieniowody (u samicy oczywiście lewy jajowód).

Ptaki wykazują bardzo szeroki zakres przystosowań do rodzaju pożywienia. Wyróżniamy m.in.: ziarnojady, odciedzające, owadożerne, nektarjady, rybożerce i mięsożerce.

Układ nerwowy i narządy zmysłów

MOZG PTAKA JEST RELATYWNIE 7 RAZY WIĘKSZY NIŻ GADA

Oznacza to, że ptak o masie porównywalnej z jakimś gadem będzie miał co najmniej siedmiokrotnie cięższe mózgowie.

Przyjrzyjmy się więc, jaki ma ono charakter:

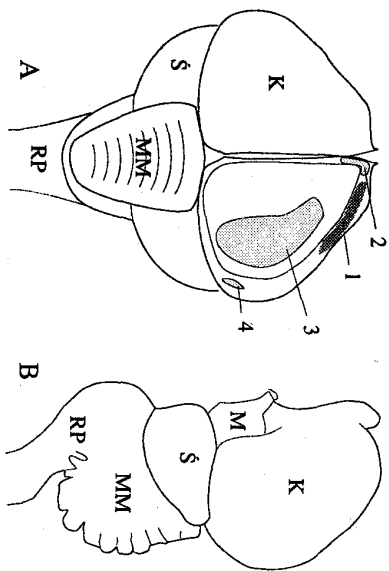
1. **Mózgowie jest krótkie i bardzo rozpełniete na boki** (znowu ten środek ciężkości);
2. Następnie dalszy rozwój kresomózgowia i zatarcia liniowego układu części mózgowia. Półkule kresomózgowia są jednak gładkie;
3. **Mózdzek jest bardzo silnie rozwinięty**;
4. Patrząc z boku widzi się „esowate” wygięcie rdzenia przedłużonego;
5. Z mózgowia wychodzi 12 par nerwów czaszkowych.

UWAGA: Przypominam, że cechy wymienione w pkt. 4 i 5 są specyficzne dla owodniowców.

Poniżej przedstawiono nieco bardziej szczegółową charakterystykę poszczególnych części (por. też Ryc. 158):

- A) **Kresomózgowie** — półkule są duże, szerokie i gładkie, nakrywają całkowicie międzymózgowie. Ich duże rozmiary wywołane są przerosłem (ściśle hipetrofią) jąder ciała prątkowanego. Ciało prątkowane jest rodzajem skupienia kadłubów neuronów, a więc istotą szarą, leżącą pod powierzchnią mózgu (por. Ryc. 158 A). U ptaków właśnie tu znajdują się najwyższej zorganizowane ośrodki decyzyjne. Szczególnie dobrze rozwinięte są u

niektórych kręgowatych i papug — zwierzęta te wykazują dość wysoki poziom inteligencji. Można uznać, że ciało prądkowane jest tworem analogicznym do kory ssaków. Rola kory w kresomózgowiu ptaków jest najprawdopodobniej ograniczona jedynie do wrażeń węchowych i dźwiękowego.



Ryc. 158.
Schemat budowy mózgowia ptaka — widok z góry (A) i z boku (B). Prawa półkula została przedstawiona w przekroju (K — kresomózgowie, M — międzymózgowie, S — śródmózgowie, MM — mózdzek, RP — rdzeń przedłużony, 1 — kora nowa, 2 — kora stara, 3 — ciało prądkowane, 4 — kora dwunna).

U ssaków rozwój kresomózgowia szedł w stronę rozbudowy powierzchni. U ptaków jest inaczej, być może przyczyną tego były następujące:

— podobna, choć słabsza, tendencja widoczna jest już u gadów. Opisywana sytuacja byłaby więc tylko kontynuacją „pomysłu”;

— mózg jest bardzo delikatnym narządkiem i można założyć, że praca neuronów w najwyższych ośrodkach nerwowych powinna odbywać się w maksymalnie stabilnych warunkach. Tymczasem kośćce sklepienia mózgowca ptaków jest cienki i raczej słabo osłania przed wpływem promieniowania cieplnego. Istnieje dość ryzykowna hipoteza głosząca, że u ptaków nadzrędną, bardzo delikatną ośrodkami decyzyjnymi mogły rozwijać się tylko w głębi półkul — chronione ich płaszczem.

B) **Międzymózgowie** — jest przeciętne i składa się ze wzgórza oraz podwzgórza. Od góry wiadac jednak tylko szybką pobawioną komórek fotoreceptorowych (ptaki nie mają trzeciego oka ciemieniowego!). W tej części mózgowia ptaków mieści się ośrodek koordynujący mechanizmy termoregulacyjne;

C) **Śródmózgowie** — jest duże, chociaż silnie rozepchnięte na boki. Z tej przyczyny mózgowie ptaka jest niemal tak szerokie jak długie. W tej grupie kręgowców śródmózgowie osiąga maksimum rozwojowe — jest bowiem siedliskiem nadzrędnym ośrodków wzroku. Ptaki zaś, jak wiadomo, wspaniale widzą (por. niżej) i należy oczekiwać, że ośrodki analityczne tego zmysłu będą dobrze rozwinięte.

D) **Mózdzek** ptaków jest bardzo duży (lot i dwunożność). Budują go: trzon i kłaczki. Jego powierzchnia jest pobrużdżona i pokryta istotną szarą — korą mózdzku;

E) **Rdzeń przedłużony** jest duży, „normalny”, podobny do tej części mózgowia u gadów. Narządy zmysłów ptaków są rozwinięte w stopniu, który zawsze wynika z ich przydatności do lotu.

PTAKI WSPANIALE WIDZĄ I SŁYSZĄ

1. **Węch** — zacznijmy jednak od tego, że ptaki są „marnymi” węchowcami (ściślejszemu zalicza się je do zwierząt **mikrosmatycznych**). Z wyjątkiem słynnego kiwi zmysł ten nie dostarcza ptakom życiowo istotnych wrażeń. Jak już wspomniano, informacja zapachowa rozprzeczona się zbyt wolno i zależy od takich czynników, jak np. wiatr. Dla lotnika nawigacja oparta na bodźcach zapachowych musiałaby zakończyć się tragicznie (zastanawiasz się, dlaczego?). Oczywiście nie należy zapominać, że posługiwanie się węchem ma też poważne zalety! — por. np. owady, ryby, ssaki, nie mają one jednak związku z umiejętnościami lotniczymi tych zwierząt. Niktę znaczenie węchu (nigdy żadnej) widoczne jest m.in. w przesunięciu otworów nosowych do nasady dzioba (na końcu ma je tylko kiwi) oraz redukcji kory węchowej w kresomózgowiu.

2. **Wzrok** — oczy ptaków i gadów są dość podobne. Widac tu jednak istotne różnice:

A) Ptaki mają **największe** oczy wśród zwierząt. Ich gałka oczna jest relatywnie bardzo duża. Jej kształt może być spłaszczony, kulisty, a nawet cylindryczny z silnie zakrzywioną rogówką;

B) jany oczodołów (por. Ryc. 153 B) są tak duże, że prawie stykają się w płaszczynie strzałkowej i rozdziela je jedynie cienutka przegródka międzyczodołowa;

C) akomodacja jest możliwa na dwa sposoby (!) (chociaż nie u wszystkich gatunków):

- a) klasycznie — poprzez zmianę krzywizny soczewki;
- b) specyficznie tylko dla ptaków — przez zmiany krzywizny rogówki.

Skutek jest taki, że niektóre drapieżniki mogą wypatrzeć małą ofiarę z wysokości kilkuset metrów. Siatkówka ptaków ma bardzo gęsto upakowane komórki światłoczułe. Problem dodatkowego odżywiania tej warstwy oka został rozwiązany w dość dziwny sposób. Otóż zaopatrzenie w tlen i substancje odżywcze odbywa się m.in. na drodze dyfuzji z ciała skalistego. Ono z kolei pobiera niezbędne składniki z tzw. grzeblenia ocznego, dziwnego tworu, który pojawił się już u gadów. Jego funkcje nie zostały do końca poznane, ale na pewno jest dobrze ukrwiony i może dostarczać tlen oraz „surowce” do ciała skalistego. W siatkówce ptaków występują czopki i pręciki. Tych pierwszych jest więcej u gatunków dziennych (np. sępów), drugich u nocnych (np. sów). Pianka żółta jest zawsze obecna. U gatunków najlepiej widzących mogą być nawet trzy. Soczewka jest duża, większa u ptaków nocnych i dokonujących dalekich obserwacji.

3. **Narządy czucia skórznego** rozwinięte są słabo.

4. **Narząd smaku** jest dobrze rozwinięty, co przypomina stosunki u gadów.

5. **Narząd równoważno-słuchowy** ma budowę typową dla kręgowców zuchwowych. Jednak przystosowanie do lotu i „wokalne” możliwości ptaków wywołały pewne modyfikacje. Co prawda ptaki nie mają małżowin usznych jak ssaki, ale szybciej przewodzą sygnał w uchu i ślimaku, czasem nawet lepiej lokalizują źródła dźwięków. Wynika to z prostej budowy ucha środkowego (tylko jedna kostka, homologiczna z gałką, czyli strzemiączko). Krótkie przewody słuchowe zewnętrzne i nerwy słuchowe powodują, że zniekształcenia dźwięków dochodzących z lewej i prawej strony są małe. Poza tym w uchu wewnętrznym są trzy duże kanały półkolistę, pozwalające sprawnie określać wszelkie typy przyspieszeń.

Występowanie i znaczenie ptaków

Stalocieplność i wspaniałe możliwości lokomocyjne pozwoliły ptakom rozprzestrzenić się na wszystkich lądach kuli ziemskiej. Na pewno nie przeszkadzała im w tym też oszczędna gospodarka wodna i błony płodowe. Dołóż do tego sporą plastyczność i złożoność zachowań, a otrzymasz wizerunek bardzo ekspansywnej grupy. Mimo młodego wieku ewolucyjnego jest to dzisiaj najliczniejsza grupa czworonogów.

PTAKI MAJĄ DUŻE ZNACZENIE W PRZYRODZIE I DLA GOSPODARKI CZŁOWIEKA

W przyrodzie funkcjonują na wszystkich poziomach konsumentów (od roślinożerców do padlinożerców). Liczebność i apetyt ptaków powoduje, że są istotnymi ogniwami łańcuchów pokarmowych. Ich tępienie może więc mieć fatalne skutki dla równowagi ekologicznej (por. ROZDZ. 30).

Znaczenie gospodarcze jest ogromne i z konieczności streszczono je tylko w punktach:

1. Ptaki są źródłem mięsa, jaj i piór. Pozyskuje się je głównie z gatunków hodowlanych i, w mniejszym stopniu, z dzikiego ptactwa;
2. Owadożerne gatunki współregulują ilość owadów-szkodników. Oczywiście zjadają także formy pożyteczne, ale bilans i tak jest bardzo opłacalny. Przykładowo jeryżak może w ciągu dnia złowić kilkanaście tysięcy owadów (!);
3. Szereg ptaków drapieżnych mocno ogranicza populacje szkodliwych gryzoni, np. myszy, szczurów czy karczowników;
4. Kolonijne ptaki morskie, np. kormorany i pelikany żyjące w olbrzymich skupieniach na wybrzeżach Ameryki Południowej, są źródłem wspomnianego już guana;
5. Ptaki są też hodowane ze względów estetycznych — dla śpiewu i (lub) wyglądu.

Ptaki rzadko wyrządzają poważniejsze szkody. Do nielicznych wyjątków należy wikłacz czernonodłoby — ziarnojad, który „napada” na plantacje prosa w Afryce równikowej. Atak setek tysięcy osobników jest prawdziwą tragedią dla tamtejszych rolników. Ptakom tym wydano więc wojnę, w której użyto samolotów, miotaczy płomieni, a nawet gazów bojowych. Skutek był (przynajmniej dla naszego „prześiępcy”) znikomy — tym bardziej, że po zaprzestaniu akcji populacja szybko odbudowała swoją liczebność.

Ptaki mogą także przenosić czynniki chorobotwórcze (np. choroby papuziej). Takie „odplasię” schorzenia nazywamy orniozami.

PODSUMOWANIE

Do cech charakterystycznych tej gromady należy zaliczyć:

1. **Aerodynamiczną sylwetkę** — lot narzuca ostre reżim kształtów i proporcji budowy. Stąd u przeciętnego ptaka widać, że głowa jest mała, a tułów krepy i opływowy;
2. **Pokrycie ciała piórami** — jest to wybitna i oczywista cecha, której nie trzeba tłumaczyć, nawet dzieciom — tym bardziej, że ptaków nieopierzonych nie ma. Pióra dzieli się na: kontrowe i puchowe;
3. **Przekształcenie kończyn przednich w skrzydła** — oś dźwigni skrzydła współtworzy II-gi palec, pozostałe ulegają redukcji. Rozwój tej zmodyfikowanej kończyny szedł tutaj w dwóch kierunkach:

- A) u lorników kościec skrzydeł ulega wzmocnieniu i wydłużeniu;
 - B) u nietołów przeciwnie, przy czym redukcja jest u nich cechą wtórną;
4. **Dwuunożność** — wszystkie bez wyjątku ptaki są istotami dwunożnymi. Jeśli się jednak zastanowisz, to brak form beznogiich nie powinien Cię dziwić. W kończynie dolnej występuje kość skokowa;

5. **Płucdotyżność i posiadanie worków płucnych**, które spełniają rozliczne funkcje wspomagające oddechanie. Dzięki skomplikowanemu, ale bardzo wydajnemu mechanizmowi przewietrzania mają zawsze „świeże” powietrze w płucach (**podwójne oddychanie**). Dodatkowe ruchy skrzydeł są zsynchronizowane z wdechami i wydechami, co jeszcze usprawnia i tak doskonały system oddechowcy;

6. Dwa obiegi krwi z całkowitym rozdzieleniem krwi utlenowanej od odutlenowanej. Do tego dołóż **potężne, czterokomorowe serce**, a otrzymasz najwydajniejszy układ krążenia na świecie. Cechą specyficzną dla ptaków jest posiadanie tylko jednego — **prawego łuku aorty**;

7. Lekki, silnie **sprężynatyzowany** (puste jamy szpikowe) **szkielet**;

8. Lekką czaszkę zestawioną z kręgosłupem poprzez **pojedynczy kłykciec potyliczny**. Kości mózgowczonek zlewają się ze sobą. Na szczękach **brak zębów**. Funkcjonalnie, częściowo zastępuje je rogowy dziób;

9. Tendencję kręgosłupa do usztywniania odcinka tułowiowego i redukcji części ogonowej. Ta ostatnia zakończona jest płytką kostną — pygostylem, na którym osadzone są sterówki;

10. Prowadzenie oszczędnej gospodarki wodnej m. in. dzięki wydalaniu **kwasu moczowego**. Ptaki nie posiadają natomiast nigdy pęcherza moczowego;

11. Suchą i dość delikatną, praktycznie pozbawioną gruczołów, skórę;

12. **Wyjątkową jajorodność** — jest to jedyna grupa kręgowców, w której nie ma gatunków żywo-rodnych. Ponadto samice mają czynny tylko lewy: jajnik i jajowód. Zaproductowane jest wewnętrzne („tradycyjnie” w jajowodzie). Jaja są wysiadywane, normą jest opieka nad potomstwem. Oczywiście ptaki są owodniowcami, a ich rozwój jest prosty;

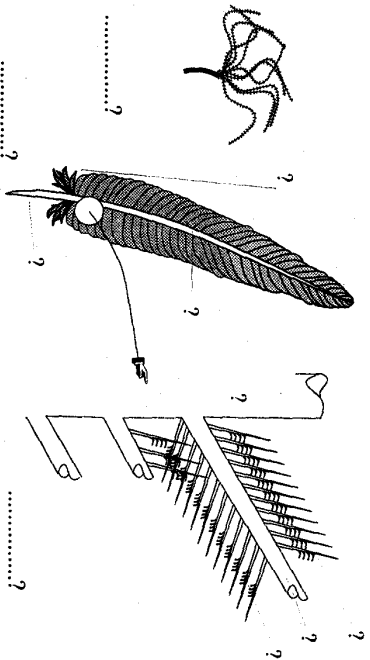
13. **Endotermię** — oznacza to, że ptaki są prawdziwie stalocieplne. Mają też najwyższą wśród zwierząt ciepotę w granicach 38°—45° C (im mniejszy ptak, tym wyższa temperatura ciała);

14. Zdolność do wydawania dźwięków — nie jest to cecha specyficzna, ale dość charakterystyczna dla tej grupy. Ptaki zawodzącejąją **krani dolnej (syrinx)** umieszczonej u podstawy tchawicy;

15. Rozwój mózgowia, w porównaniu z gadami, jest znaczny. Można powiedzieć, że ośrodkowy układ nerwowy ptaków **jest większy i wyżej uorganizowany**. Stąd też złożone zachowania ptaków (szczególnie godowe). Mózg opuszcza **12 par nerwów czaszkowych**. Ptaki są wrokościami o ograniczonych zdolnościach węchowych.

Pytania i polecenia kontrolne:

1. Jakiej maszrodzaje piór? Jaką rolę pełnią pióra okrywowe?
2. Schemat przedstawia pióra i elementy ich budowy. Wykonaj podobny w miejsca znaków zapytania wpisując odpowiednie nazwy.



3. Dlaczego gruczoł kuprowy jest szczególnie rozwinięty u ptaków związanych ze środowiskiem wodnym?
4. Omów przystosowania do lotu w budowie szkieletu ptaków.
5. Jak zbudowany jest układ oddechowy ptaków? Jaką rolę pełnią worki powietrzne?
6. W jaki sposób ptaki morskie usuwają nadmiar soli z organizmu? Podaj przykład takiego ptaka.
7. Podaj kilka przykładów gniazdowników i zagniazdowników.
8. Wykaz przystosowania w budowie i funkcji narządów zmysłu ptaków do sposobu ich życia.
9. Omów krótko znaczenie ptaków w przyrodzie.
10. W jaki sposób ptaki rozdrażniają pobrany pokarm?
- *11. Wykaz wyjątkowość ewolucyjną ptaków nad gadami.
- *12. Omów istotę i znaczenie zjawiska statociepności.
- *13. W jaki sposób do szkieletu skrzydeł ptaka mocowane są lotki?
- *14. Omów mechanizm wymiany gazowej u ptaków.
- *15. Wskaż podobieństwa i różnice w budowie układu krążenia ptaków i gadów.
- *16. Wykaz związek budowy z funkcją na przykładzie dzioba ptaków. Przedstaw schematycznie budowę dzioba ptaka drapieżnego.
- *17. Jakie cechy budowy i fizjologii ptaków są przystosowaniem do lotu?
- *18. Ze wszystkich cech ogólnych wypisz te, które twoim zdaniem są ważne dla lotu i statociepności.

27. Pochodzenie i radiacja ssaków

PIERWSZE SSAKI POJAWIŁY SIĘ JUŻ W TRIASIE

Początkowo grupa ta ewoluowała bardzo wolno, można powiedzieć, że „w cieniu” wielkich gadów. I chyba rzeczywiście dopiero wielkie wymieranie tych ostatnich pod koniec okresu kredowego, otworzyło drogi „kariery ewolucyjnej” ssaków (ściślej mówiąc zostały zwolnione bardzo liczne nisze ekologiczne). Niezależnie jednak od dociekań tego rodzaju zastanówmy się, jakie cechy umożliwiły ssakom sukces, którego miarą jest silna radiacja i niezwykle szerokie rozpowszechnienie przedstawicieli tej grupy.

Oto jakimi „autami” ogólnobiologicznymi dysponuje ta grupa kręgowców:

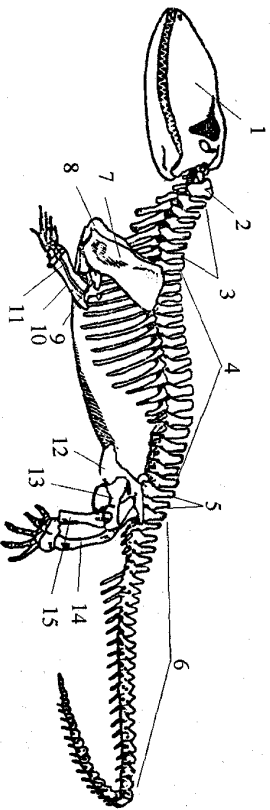
1. **Statociepność**, która umożliwia aktywność zwierzęcia od warunków termicznych otoczenia. Ssaki, podobnie jak ptaki, są **endotermiczne**. Wymaga to oczywiście rozwiązania kwestii izolacji termicznej — u ssaków stanowi ją warstwa **włósów** tworzących futro. Termoregulacja jest tylko częściowo taka jak u ptaków. Przede wszystkim inny jest mechanizm wytwarzania nadmiaru ciepła. Główną rolę odgrywa w nim pocenie się, schładzanie małżowin usznych lub zianie. Z kolei metaboliczne źródła ciepła i jego dystrybucja w organizmie są u wszystkich endotermów bardzo podobne;
2. **Uprawionym systemem lokomocyjnym** — kończyny ssaków uległy **podciągnięciu pod ciało**. To kolunnowe ustawienie zmniejszyło wydatki energetyczne związane z dźwiganiem ciała ponad podłoże. Zmianie uległy także płaszczyny zgięciowe stawów kończyn. W ten sposób czworonozna lokomocja stała się bardzo szybka i efektywna. Ogólnie, szkielet ssaków jest lżejszy niż u gadów, przy takiej samej wytrzymałości mechanicznej;
3. **Szeroka baza pokarmowa**. Oznacza to, że mogą odżywiać się bardzo różnorodnymi pokarmami. Stało się to możliwe m.in. dzięki różnicowaniu użębienia — jest to wspomniany już **heterodontyzm**;
4. **Wyształcona i oczyszczona żywność**. Zapewniło to optymalne warunki rozwoju zarodkowego i znacznie niezależnie rozróżniło od warunków zewnętrznych. Unikały sposobu odżywiania młodych **mlekiem** matki umożliwiał zaś szybki przyrost masy i harmonijny rozwój potomstwa. Mleko bowiem zawiera komplet łatwo przyswajalnych składników;
5. **Relatywnie dużym mózgowiem**. Szczególnemu rozwojowi ulega u nich **kresomózgowie wraz z korą nową**. Pozwoliło to na osiągnięcie najwyższego poziomu złożoności zachowań. Właściwie tylko u ssaków uczenie się stanowi ważniejszy czynnik dla przeżycia i ekspansji, niż reakcje wrodzone. Tak więc plastyczność adaptacyjna grupy wynika nie tylko z doskonałości samej budowy, ale także z zachowań. Można by trywialnie powiedzieć, że „mądrała łatwiej osiąga sukces, ponieważ nie popełnia ciągle tych samych błędów”.

GRUPA WYŚCIGOWĄ DLA SSAKÓW BYŁY SYNAPSYDY (GADY SSAKOKSZTAŁTNE)

Zwierzęta te pojawiły się w permie, a wymarły pod koniec triasu. Synapsydy były niewątpliwie gadami, pochodzącymi wprost od prymitywnych kotylotaurów (por. Ryc. 135 A i 159 A). W przeciwieństwie do pozostałych gadów wykształciły jednak nieco odmienny model biologiczny. Cechował się on:

1. Synapsydalną budową czaszki z podwójnym kłykiem potylicznym;

2. Czworonożnością opartą na kończynach podciągniętych pod ciało;
3. Mięsożernością, z tendencją do różnicowania uzębienia;
4. Obecnością gruczołów w skórze;
5. Być może statocielepnością.



Ryc. 159 A. Rekonstrukcja szkieletu prymitywnego gada ssakokształtnego z rodzaju *Ophiacodon* (1 — czaszka, 2 — obrótnik, 3 — kręgi szyjne, 4 — kręgi krzyżowe, 5 — kręgi ogonowe, 7 — łopatką, 8 — k. skoblowa, 9 — k. ramieniowa, 10 — k. łokciowa, 11 — k. promieniowa, 12 — miednica, 13 — k. udowa, 14 — k. strzałkowa, 15 — k. piszczelowa). Zwrócić uwagę na ułożenie kończyn względem tułowia i homodontyczne uzębienie (por. też *Cotylozaury*).

PROGRESYWNĄ LINIĘ GADÓW SSAKOKSZTAŁTNYCH TWORZYŁY TERAPSYDY

Typowym przedstawicielem tego rzędu był *Cynognathus*. Zwierzę to żyło w trzaskie i przypominało pokrojem duże, masywne i ciężkołowe psa (por. Ryc. 159 B). Mięsożerność tej grupy pociągnęła za sobą zmiany w uzębieniu i szczękach. Terapsydy przeszły więc z homodontycznego uzębienia przodków na heterodontyzm

(*Cynognathus* tylko częściowo). Korzyści były tutaj poważne, gdyż podział funkcjonalny zębów na: **siekanie, kły i zęby policzkowe** umożliwiał szybszą oraz dokładniejszą obróbkę wstępną pokarmu, w tym żucie. Dodatkowo rozwinęło się **wtórne podniebienie kostne**, oddzielające jamę gębową od nosowej.



Ryc. 159 B. Rekonstrukcja sylwetki terapsydy z rodzaju *Cynognathus*. Zwróć uwagę na jego uzębienie.

Wszystkie terapsydy rozwinęły przystosowania

do biegu na równomiernie rozwiniętych kończynach przednich i tylnych. Sprzyjało temu podciąganie kończyn pod ciało oraz skierowanie stawu łokciowego do tyłu. Dzięki temu kończyna przednia zginała się równoległe do długiej osi ciała. Takie „przełożenie” wymagało skierowania ze sobą kości promieniowej z łokciową (por. następny rozdział). Dodatkową zaletą było to, że odcinek dionowy był skierowany do przodu i równomiernie dolegał do podłoża. Zniknęła też tak charakterystyczna dla plaków i dinozaurów, nierównomierność rozwoju palców. Kończyna tylna *Cynognathus* była jeszcze dość prymitywna — miała krótką kość udową, ustawioną ukośnie w bok i do tyłu. W przedniej części czaszki opisywanego zwierzęcia, w okolicy węchowej,

występowały liczne, drobne kanaliki, którymi dochodziły naczynia krwionośne i nerwy. Sugeruje to znaczną rolę tej części ciała w odbiorze wrażeń zmysłowych. Dołóżmy teraz do tego ślady nerkowatych tworów przy nosie i mamy „sensację” (?) — w tej linii gadów wykształciły się specyficzne **włosa czuciowe** (przypominają jednak sobie pterozaur). Tak więc,

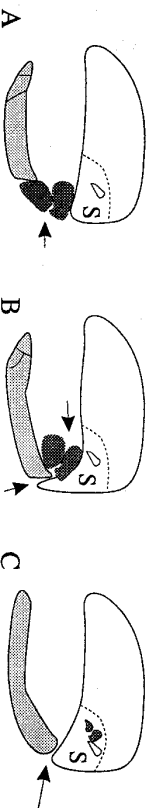
BYĆ MOŻE PIERWOTNĄ FUNKCJĄ WŁOSÓW BYŁO CZUCIE DOTYKU

Lokalizacja włosów początkowo ograniczona była do okolicy nosowej, jednak dość łatwo mogło dojść do pokrycia nimi całego ciała. Kłopot polega na tym, że nie bardzo wiemy, skąd włosy się wzięły? Wnioskowanie na podstawie podobieństw rozwoju zawodzi, ponieważ łuski gadów i pióra ptasie zakładają się inaczej. Zawiązek włosa jest początkowo niewielkim, rurkowym wytworem naskórka. Taka „rureczka” rośnie w głąb skóry własciwej, aż zetknie się z tzw. brodawką. W okolicy styku komórki brodawki ulegają intensywnym podziałom. Powstaje zaczątek niki włosa, w którym komórki układają się w koncentryczne warstwy. W miarę odsuwania się od brodawki w górę, komórki włosa ulegają keratynizacji (rogowaceniu) i obumierają. Sama nika włosa rośnie we wspomnianej już naskórkowej tulei — przekształconej w pochwę włosa. Włos ostateczny zbudowany jest z komórek różnokształtnych. Środek zajmują sztywne i brylaste komórki tworzące rdzeń. Z zewnątrz otacza je warstwa wrzecionowatych komórek kory, nadająca elastyczność całej konstrukcji (por. później Ryc. 168).

UWAGA: Kwestia owłosienia *Therapsyda* do dzisiaj budzi poważne kontrowersje. My pozostajemy jednak przy stwierdzeniu, że miały już sierść.

Wspomniany wcześniej rozwój uzębienia wymagał oczywiście wzmocnienia zuchwy, stąd rozrost kości zębowej, który prowadził m.in. do spychania kości: stawowej i kwadratowej w okolice bębienka. Być może u niektórych terapsydów kości te spełniały podwójną rolę: tworząc staw zuchwowy i jednocześnie napinając błonę bębniową. W rzeczywistości takie rozwiązanie było tylko niekorzystne. Ruch szczęk w czasie pobierania pokarmu utrudniały bowiem wychwytywanie dzwięków. Załóżmy teraz, że już w zarodku następował dalszy rozrost zuchwy do tyłu. Można wówczas sobie wyobrazić wepchnięcie kości stawowej i kwadratowej w obręb zamkniętej się jamy ucha środkowego. W tej sytuacji staw zuchwowy utworzyły kości: **zębowa (zuchwowa) ze skroniową** (por. Ryc. 160). To przekształcenie dało dwie korzyści:

1. Staw zuchwowy uległ wzmocnieniu;
2. W jamie bębniowej znalazły się trzy kości słuchowe. Zamiasz przeskakadzać, kości stawowa i kwadratowa usprawniły słyszenie (por. niżej Ryc. 108 G).



Ryc. 160. Proste schematy konstrukcji zawieszenia zuchwy u: przeciętnego gada (A), *Diarthrogathus* (B) i ssaka (C). Jasnoszarym kolorem przedstawiono kość zębową, ciemniejszym stawową i kwadratową, białym strzałczką, strzałki wskazują powierzchnie stawowe; „S” — kość skroniowa.

U niektórych terapsydów, np. z rodzaju *Diarthrogathus*, rozwój kości zębowej doprowadził do wytworzenia dziwnej sytuacji. Otóż zwierzęta te miały oba stawy zuchwowe: „gadzi” i

„ssaczy” obok siebie, na tej samej wysokości, działające tak jak staw pojedynczy. Naturalnie powstaje więc pytanie: czy *Diarthrogathus* był jeszcze gadem, czy już ssakiem? Rozstrzygnięcie było iście salomonowe: uznano go za gada. Tymczasem jego bliskiego krewniaka z rodzaju *Morganodon* (także „dwustawowego”) uznano za archaiczną formę ssaka. Stało się tak, ponieważ ten ostatni miał wyrażnie większą mózgozaszkę i był w pełni heterodontyczny. Jak więc wydać „kryterium zuchwy” czasem za wodzi. Mimo to przyjęto za podstawowe i obowiązujące, że staw zuchowy ssaka zawsze budują kości: zuchwowa i skroniowa.

TRZY KOSTKI SŁUCHOWE POPRAWIŁY ODBIÓR WRAŻEŃ SŁUCHOWYCH PIERWSZYCH SSAKÓW

Jest to ważna cecha systematyczna, więc przypomnijmy, iż kostki słuchowe można wywieść od łuków skrzelowych pierwszych kręgowców. I tak:

1. **Strzemiączko** pochodzi z II-go łuku gnykowego. Występuje u wszystkich czworonogów;
2. **Młoteczek i kowadełko** powstały z I-go łuku zuchwowego (bezpośrednio zaś z kości stawowej i kwadratowej gadów). Występują wyjącznie u ssaków.

W uchu środkowym ssaków działa więc łańcuch trzech kostek: młoteczek, kowadełko i strzemiączko (licząc od zewnątrz). Do nich przyłączone są delikatne mięśnie, dzięki którym można zmieniać sztywność całego systemu. W ten sposób ssak może dostrajać ucho środkowe do dźwięków o różnej częstotliwości i natężeniu.

Sporządźmy teraz następujące zestawienie istotnych cech pierwotnych ssaków z trjasu:

1. Były czworonogami biegnącymi tak sprawnie jak terapsydy;
2. Miały mocne szczęki ze zróżnicowanym uzębieniem, a także wtórne podniebienie kostne;
3. Posiadały trzy kostki słuchowe;
4. Były owłosione i endotermiczne;
5. Cechowały się niewielkimi rozmiarami (mniej więcej szczura). Zwracał jednak uwagę większy niż u ich przodków mózg.

Te małe rozmiary początkowo dziwiła, gdyż terapsydy były całkiem spore. Wyjaśnienie przedstawia się następująco: w gorącym klimacie mezozoiku zwierzę o wysokim tempie metabolizmu narazone jest często na przegrzewanie. Pierwotne ssaki nie wykształciły jeszcze sprawnych, wewnętrznych mechanizmów schładzania swojego ciała (jest to szczególnie ważne dla delikatnej tkanki nerwowej mózgu). „Przyjęły” więc następującą strategię ewolucyjną: unikanie Słońca w czasie dnia (zmierzchoło-nocny tryb życia) i zmniejszanie rozmiarów ciała. To ostatnie oznacza bowiem:

- mniejszą globalną produkcję ciepła — zasada jest tu bardzo prosta: mała masa mięśni i organów wewnętrznych oznacza niewielką produkcję ciepła;
- relatywnie dużą powierzchnię ciała, a więc i straty ciepła (przemysł to!).

PRZYPUSZCZALNIE Z GADÓW SSAKOKSZTAŁTNYCH ROZWINĘŁY SIĘ, NIEZALEŻNIE OD SIEBIE, DWA SZCZEPY SSAKÓW

Są to (por. Ryc. 166): **prassaki** (*Prototheria*) i **ssaki właściwe** (*Theria*).

Analizę zacczynijmy od prassaków, które pojawiły się już na początku mezozoiku. Miały zęby opatrzone guzkami, a w ich zuchwie było kilka kości (oprócz zębowej). Grupę tę dzieli się

na kilka rzędów, jednakże większość tych zwierząt wymarła już w kredzie. Typowym przedstawicielem szczytowej fazy rozwoju grupy był *Triconodon*, przypominający pokrojem małego lisa (w istocie znany jest tylko z fragmentów czaszki).



Ryc. 161. Sylwetka dziobaka — zwróć uwagę na prymitywne cechy jego budowy zewnętrznej.

Do prassaków należą też **stekowce**. Kłopot z nimi polega na tym, że zwierzęta te mają bardzo prymitywne cechy budowy i ograniczony zasięg występowania. Znane są tylko z Australii, a współcześnie reprezentują je tylko: **dziobak** (jeden ziemnowodny gatunek żyjący w Australii i na Tasmanii; por. Ryc. 161) oraz kolczaki (pięć naziemnych gatunków o podobnym jak dziobak zasięgu). Wykazują one ciekawą mozaikowość cech, którą zestawiono w Tab. 2.

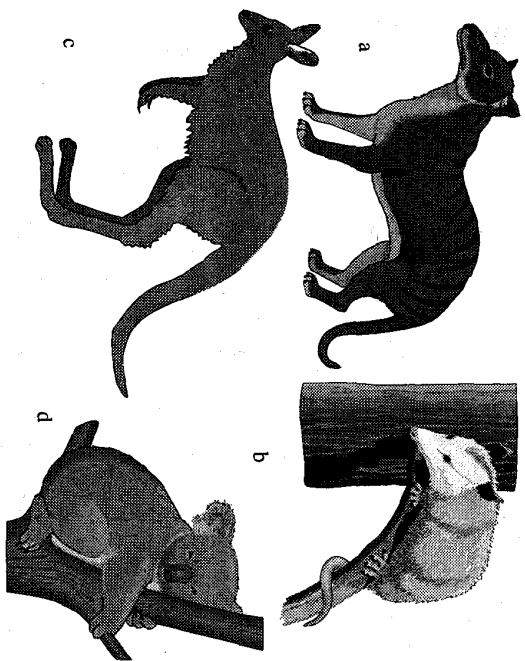
Lp.	Cechy progresywne	Cechy prymitywne
1.	ciało owłosione	jajorodność (jaja „gadzie” ze skorupką)
2.	gnuczoły mleczne zebrane w pola mleczne	obecność sietka
3.	czterojamiste serce	brak sutków (młode zlizują mleko matki)
4.	trzy kostki słuchowe	kość krucza w obręczy barkowej
5.	przepona	brak kostnego grzebienia topacki
6.	beźjądrzase erytrocyty	obecność dzioba (zęby tylko u zarodków)
7.	dość duży mózg (u dziobaka nawet nieco pośladowany)	szerokie rozstawienie kończyn na boki (szczególnie u dziobaka)
8.		niepełna statociepność ($31^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$)
9.		brak mięśni warg
10.		u samicy czynna tylko lewa str. uki. rozrod.

Tab. 2. Mozaikowość cech stekowców.

Stekowce są więc najprawdopodobniej przykładem ewolucji regresywnej. Ogólnie rzecz biorąc wiadać też, że prassaki nie mogły stanowić poważnego zagrożenia dla wielkich gadów mezozoicznych. Być może to było przyczyną, że rozwijały się tylko na izolowanych obszarach. Dziś już grupa jest zagrożona wymarciem, a jej przedstawiciele należy uznać za endemity i relikty.

Drugim szczeplem ssaków były **ssaki właściwe**. Powstały na przełomie trjasu i jury. Początkowo one także miały dodatkowe kości w zuchwie, a od prassaków różniły się nieco inną budową ścian mózgozaszki. Były owadożerne, ale o ich biologii trudno coś więcej powiedzieć, ponieważ znane są tylko z fragmentów szczęk. Ewolucja tej grupy doprowadziła już w końcu jury do redukcji dodatkowych elementów w zuchwie, rozwoju uzębienia heterodontycznego i osiągnięcia żyworodności. W ten sposób grupa ta szybko nabrąła typowo „ssaczych” cech. Pierwsze tego typu formy zalicza się do *Panithotheria*. Z nich zaś w kredzie powstały:

1. Pierwsze **torbacze** (*Marsupialia*) — wyglądem zbliżone do dzisiejszych dywelfów (por. Ryc. 162). Miały pięciopalczaste, słabo wyspecjalizowane kończyny z obrotowym stawem łokciowym. Wyglądem i wielkością przypominały nieco szczura. Na brzuchu posiadały już charakterystyczną dla tej grupy torbę, w której rozwijały się młode.



Ryc. 162. Przedstawiciele torbaczy: a — wilk workowaty, b — dydelf, c — kangur, d — koala.

Współcześnie Amerykę Pn. zasiedla tylko jeden gatunek — **dydelf północny**. Natomiast w Australii i Ameryce Pd. torbacze tworzyły wiele form opadających poszczególnym rzedom torbaczców. Są to piękne dowody ewolucji zbieżnej. Przykładowo, **kret workowaty** z półpustyni Australii przypomina naszego kreta europejskiego (zredukowane oczy, brak małżowin usznych, owadożerność). Prawdopodobnie już całkowicie wytopiony (!) **wilk workowaty** z Tasmanii przypominał wyglądem zwykłego psa (por. Ryc. 162). Najbardziej znanymi współczesnymi torbacznymi są **kangury** i **koala** (eukaliptusozerny monotag, swoisty symbol Australii).

BYĆ MOŻE JUŻ PIERWSZE TORBACZE WYTWARZAŁY ŁOŻYSKO

Łożysko jest to wspólny wytwór zarodka i matki. Jego zadaniem jest zaopatrywanie płodu w potrzebne substancje oraz usuwanie zbędnych i szkodliwych produktów przemiany materii. Łożyska torbaczy są jeszcze prymitywne (u niektórych nie rozwijają się wcale). Ze względu na typ budowy zalicza się je do tzw. **łożysk żółtkowych** (por. niżej). Nie umożliwiają one co prawda intensywnej wymiany substancji i jednak są poważnym krokiem naprzód w osiąganiu pełnej żywności i umożliwiają zmniejszanie rozmiarów komórki jajowej.

Dla torbaczy charakterystyczne jest rodzenie młodych w bardzo wczesnym stadium rozwoju (Zastanów się, jaki ma to związek z ich łożyskami?). Np. u kangura olbrzymiego noworodek ma milimetrowe rozmiary i wazy 10 000 razy mniej niż matka! Takie programowe wcześniejsiaki przepelzają więc do torby, tam przysysają się do sutków i rozwijają nawet kilka miesięcy.

Poza tym torbacze są heterodontyczne. Formuła ich uzębienia przypomina mocno stosunki panujące u prymitywnych ssaków wyższych, szczególnie owadożernych. Mózgowie torbaczy posiada dobrze rozwinięte węchomózgowie, ale nie wyróżnia się szczególnym rozwojem (jak na ssaki mają dość małe mózgi).

UWAGA. We wzorach zębowych skróty oznaczają: I — siekacze, C — kły, P — przedtrzonowe i M — trzonowe.

2. **Łożyskowe** (*Eutheria*) także początkowo były szczerzopodobnymi, nocnymi zwierzętami, polującymi głównie na owady. Uzębienie miało jednolity wzór: 13C1P4M3, czyli w sumie miały 44 zęby (mian nadzieję, że wiesz jak to się liczy). Od torbaczy różniło je kilka cech: miały nieco większy mózg i były prawdziwie żywotrodne. Wytwarzały bowiem **łożysko typu**

omocznioowego, które zapewnia najpełniejszy kontakt i najsprawniejszą wymianę substancji na dużą skalę. Dzięki temu warunkowi rozwoju stają się „komfortowe”, rozwój zarodkowy może ulec przedłużeniu. Jest bardzo prawdopodobne, że jest to jeden z warunków silnego rozwoju tkanki nerwowej mózgu.

Dla większości uczniów łożyska to „czarna magia”. Przedstawmy jednak rzecz poważnie, dlatego poniższy akapit polecam Twojej bacznej uwadze.

Ogólna charakterystyka łożysk przedstawia się następująco (por. też Ryc. 163):

Łożysko jest częścią wspólną tkanek zarodka i matki umożliwiająca wymianę odpowiednich substancji bez mieszania się krwi. Ze względu na różnicę w budowie i rozwoju wyróżnia się:

A) **łożyska żółtkowe** — w tym przypadku strefę połączenia od strony zarodka buduje ściana woreczka żółtkowego;

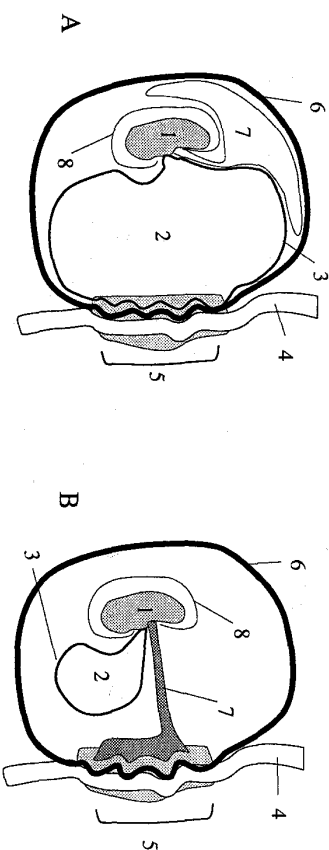
a) u niektórych ryb chrzęstnoszkieletowych ściana woreczka żółtkowego zrasta się ze śluzówką jajowodów. Pozwała to na pewne zaopatrywanie zarodka, nie jest jednak połączeniem typu błona płodowa — nabłonek macicy;

b) u części gadów i torbaczy w kontakt z drogami rodzinnymi wchodzi kosmówka. Nie tworzy ona jednak wypustek, czyli kosmków. Jednocześnie łożysko zakłada się w miejscu, gdzie do kosmków przylega woreczek żółtkowy i to jego błona wytwarza naczynia krwionośne łożyska. W tej sytuacji można byłoby już mówić o rzeczywiście łożysku tytle, że (por. Ryc. 163 A):

— u gadów zroszenie następuje w dobrze ukrwionych partiach jajowodów (cecha prymitywna). Jaja, jak na gady, są małe, chociaż nadal mają ok. 0,5 cm średnicy;

— u torbaczy kosmówka zrasta się już z błoną śluzową macicy — wyspecjalizowanego narządu rodniego (cecha progresywna). Jaja mają już rozmiary poniżej 1 mm;

B) **łożyska omocznioowe** — czasem, niezbyt ściśle, nazywane prawdziwymi. Tutaj sytuacja jest pozorna prosta: łożysko od strony matki buduje błona śluzowa macicy, a od strony płodu kosmówka (por. Ryc. 163 B). Jednakże naczynia krwionośne łożyska od strony płodu tworzy omocznia.



Ryc. 163. Schemat łożysk owodniowców typu: żółtkowego (A) i omocznioowego (B) (1 — zarodek, 2 — woreczek żółtkowy, 3 — błona woreczka żółtkowego, 4 — błona śluzowa dróg rodnych, 5 — rejon wytwarzania łożyska, 6 — kosmówka, 7 — omocznia, 8 — owodnia). W łożysku omocznioowym zawrze: 4 — to błona śluzowa macicy, 7 — to omocznia na wskazanym odcinku przekształcona w pępowinę (por. tekst).

Jak widać nastąpiła zmiana funkcji tej błony płodowej. W tym przypadku nie gromadzi ona zbędnych i szkodliwych produktów przemiany materii, natomiast umożliwia wymianę substancji pomiędzy płodem a matką. Jest to dość logiczne, ponieważ ssaki właściwie wydalają **mocznik**. Związku tego nie można bezpiecznie magazynować, a więc trzeba go usuwać (właśnie poprzez łożysko) do krwioobiegu matki. Tego typu połączenia występują jedynie u ssaków wyższych. Żeby jednak sprawa była jeszcze bardziej skomplikowana łożyska omoczniowe dzieli się na następujące rodzaje:

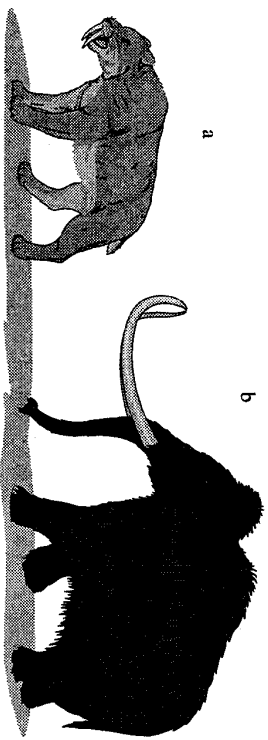
a) **bezdoczesnowe** (czasem: rzekome) — w tym typie kosmówka dość słabo łączy się z błoną śluzową macicy, ponieważ kosmki są krótkie i nierozgałęzione. Poza tym nie następuje zrastanie nabłonków kosmówki i macicy. Dość luźne połączenie powoduje, że w trakcie porodu kosmki łatwo wysuwają się i jest on bezkrawowy. Występują np. u waleni, syren, nieparzystokopytnych, świni i przędziwaczy;

b) **doczesnowe** (czasem: prawdziwe) — tutaj kosmki kosmówki rozrastają się i głęboko rozgałęziają w błonie śluzowej macicy. Jednocześnie nabłonek kosmówki rozpuszcza nabłonek macicy i zrasta się z jej błoną śluzową. Silnie pogrubiona błona śluzowa tworzy, w miejscu połączenia, tzw. **doczesną**. Jest to najprawdopodobniej najbardziej rozwinięta forma łożyska. Występuje u drapieżnych i u naczelnych.

Doktrynalnie więc za łożyska najlepiej byłoby uznać tylko żółtkowe torbaczy oraz omoczniowe ssaków wyższych. Jak widzisz problem jest skomplikowany i można go interpretować na różne sposoby. W związku z tym proponuję podejście zdroworozsądkowe — niech wszystkie te twory nazywają się łożyskami. Jednak tylko ssaki właściwie uznajmy za żyworodne, natomiast reszłę rodzającą żywe młode (bezkręgowce, ryby, płazy i gady) za jajoworodne.

SSAKI PRZESZŁY SZYBKĄ RADIACJĘ ADAPTACYJNĄ

Zacznijmy od stwierdzenia, że kenozoik nazywany jest erą ssaków. Po ustąpieniu wielkich gadów to właśnie ta grupa kręgowców szybko rozpowszechniła się na lądach, a w pewnym momencie opanowała także środowisko wodne. W III-rzędzie niektóre gatunki osiągnęły imponujące rozmiary. Jednak podzieliły one los wielkich gadów mezozoicznych i nie przetrwały zmian klimatycznych. Do najbardziej znanych przedstawicieli należała mamuty i tygrysy szablozębe (por. Ryc. 164). Współczesne dominantami wśród ssaków są łożyskowe, a jedynie tereny z dawną izolowane (Australia) stanowią naturalną ostoję torbaczy. Jest to o tyle nieście, że działanie człowieka zmieniło już naturalną sytuację torbaczy i stekowców australijskich. Przyczyniają się do tego zawleczone i introdukowane (czyli celowo wprowadzone) łożyskowe, zaczynające sku-

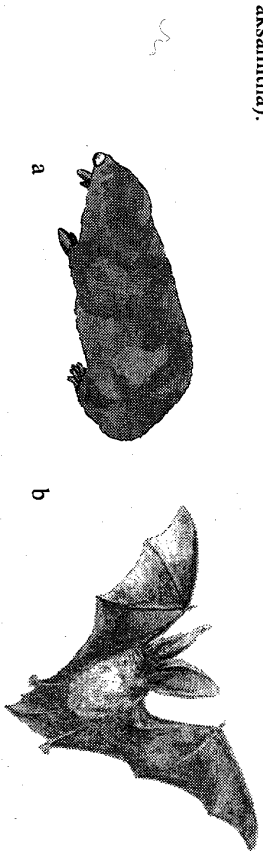


Ryc. 164. Przedstawiciele ssaków kopalnych: a — tygrys szablodzi, b — mamut.

tecznie wypierać niżej uorganizowanych krewniaków.

Dzisiaj znanych jest ok. 4 460 gat. ssaków (licząc prassaki i właściwe). Grupuje się je w 19 rzędów, z czego 17 to łożyskowe. Aby uniknąć zbyt długiego wywodu, grupy te zostały przedstawione w sposób bardzo skrótowy. Jednak znajomość ich wszystkich mocno trąci encyklopedyzmem, stąd 5 rzędów o mniejszym znaczeniu pominięto (w systematyce ich nazwy zostały opatrzone gwiazdką). Mimo to i tak zostaje Ci 12 „do zrobienia”, żyć więc miłego wkuwania:

Owadóżerne (*Insectivora*) — najstarsze ssaki łożyskowe. Dzisiaj jest to rząd liczący prawie 400 gatunków, zachowujących szereg cech swoich przodków. Współczesne owadozerne są niewielkimi wędrowcami o słabo wyspecjalizowanych zębach. Podobnie rzecz ma się z systemem lokomocyjnym i mózgowiem — trudno tutaj dostrzec jakież rewelacje. Kończyny są pięciopalczaste, odcinek dłoniowy i stopa zwykle przylegają do podłoża. Półkule kresomózgówia są dość niewielkie i gładkie. Przedstawiciele to: **tupaie** (przyominające długonami wiewiórki) — grupa być może pokrewna naczelnym, **jeże** (jeż europejski pokryty kolcami, zapada w hibernację), **krety** (kret europejski — podziemny tryb życia, zredukowane oczy, łopatomate kończyny grzebne; Por. Ryc. 165 A) i **ryjówki** (np. nasza ryjówka aksamitha).

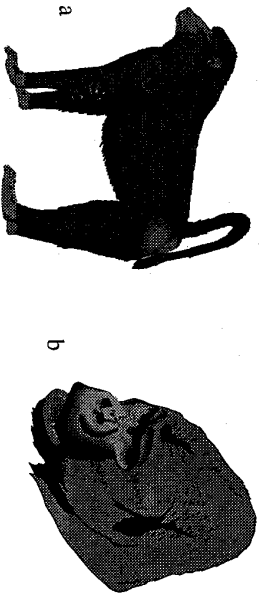


Ryc. 165 A. Krajowi przedstawiciele: owadóżernych — kret (a) i nietoperzy — gacek (b).

Z prymitywnych form owadozernych powstały pozostałe rzędy ssaków łożyskowych. Biorąc pod uwagę fakt, że proces ten zaczął się dopiero w końcu kredy, można mówić, że nastąpił **bylskawicznie**.

Nietoperze (*Chiroptera*) — ssaki aktywnie latające przy użyciu skrzydeł. Te ostatnie są fałdem skórnyim rozpiętym na długich palcach oraz pomiędzy kończynami i tułowiem (por. Ryc. 165 A). Fantastycznie słyszczą i wykorzystują to do echolokacji. Pędzą nocny tryb życia, odżywiają się owadami, owocami, niektóre nawet krwią stałocięplnych (stąd nietoperze wampirzy). Możesz jednak spać spokojnie, te „krwiożercze” zamieszkują jedynie zwrotnikowe okolicy Ameryki. Mało kto wie, że jest aż 875 gatunków nietoperzy, żyjących najczęściej w ogromnych koloniach. W Polsce występuje 20 gatunków, niestety (?) wyłącznie owadozernych (są pożyteczne, gdyż zjadają także szkodniki!). Przykłady gatunków zamieszkujących Polskę — nocki, gacek wielkokochy, mroczek pozłocisty, borowiec;

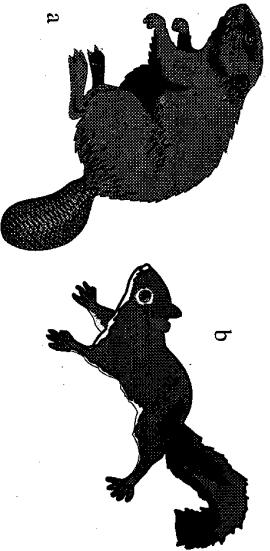
Naczelne (*Primates*) — posiadają chwytne kończyny z przeciwnym kciukiem i (tub) paluchem. W większości są nadrzewnymi wrokokowcami o dobrze rozwiniętej orientacji przestrzennej. Owoco- i wszystkożerne — mają zęby pokryte guzkami. Zasadniczy wzór zębowy: 12C1P3M3 podlegał u nich redukcji; np. u człowieka przedstawia się następująco: 12C1P2M3. To w tej grupie zwierząt nastąpił najsilniejszy rozwój kresomózgówia, a co za tym idzie, także wzrost poziomu złożoności zachowań. Przedstawiciele to np.: **wyraki**, **lemury**, **malpiatki**, **makaki**, **pawiany** oraz tzw. **antropoidy** (por. Ryc. 165 B). Te ostatnie tworzą „ekskluzywny klub” istot czelkowształtnych i są to: orangutan, szympan, goryl, gibbon oraz człowiek. Dokładną charakterystykę tego rzędu wraz z zagadnieniami antropogenezy poznasz w Kl. IV;



Ryc. 165 B.
Przedstawiciele naczelnych: pawian
(a) oraz głowa goryla (b).

Zajacokształtne (*Lagomorpha*) — niewielkie, roślinożerne ssaki o dobre rozwiniętych siekaczach (2 pary w szczęce i 1 para w zuchwie). Ich zęby stale rosną, a o apetycie lepiej nie mówić. Są stopochodne i mają 4 palce w przedniej, a 5 w tylnej kończynie. Przedstawiciele: zające i króliki;

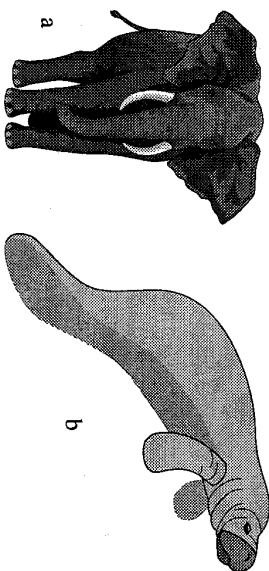
Gryznie (*Rodentia*) — wbrew pozorom to nie to samo, co zajacokształtne! Oba rzędy pochodzą bezpośrednio i niezależnie od praozwożonych, a podobieństwa w budowie wynikają z konwergencji. Cechą charakterystyczną gryzoni jest posiadanie tylko jednej pary siekaczy w obu szczękach. Jest to grupa o niewielkich wymaganiach biologicznych i dużej plastyczności. Dostodem jest prawie 1700 gatunków rozmieszczonych na wszystkich lądach kuli ziemskiej (gryznie są najliczniejszym rzedem ssaków). Zwykle są małe i tylko wyjątkowo osiągają większe rozmiary. Do największych gryzoni zalicza się **południowoamerykańską kapibarę** (ok. 50 kg) i **bobra europejskiego** (ok. 30 kg; por. Ryc. 165 C). Większość waży jednak sporo mniej niż jeden kilogram. Niektóre gatunki, np. **suseł**, **świsłak** i **chomik** zapadają w **hibernację**. „Wilczy” apetyt, duża rozrodczość i „zaradność” spowodowały, że część gryzoni szybko stała się poważnym problemem gospodarczym. Takie szkodniki jak **myszy** czy **szczury** nie tylko niszczą zapasy żywności, ale przenoszą także różne choroby (por. znaczenie ssaków). Do



Ryc. 165 C.
Przedstawiciele gryzoni: a — bobra, b —
wiewiórka.

znanych, wolno żyjących przedstawicieli należą także **wiewiórki** (por. Ryc. 165 C) i **jeżozwierze**;

Trąbowce (stonie, *Proboscidea*) — wielkie ssaki posiadające wyspecjalizowany narząd chwytany — trąbę. Swoją rolę przeżyły w trzeciorzędzie, dzisiaj znane są tylko **dwa gatunki stoni: afrykański** (por. Ryc. 165 D) i **indyjski**. U zwierząt tych górne siekacze rozwinęły się w ciosty (potocznie i niecisłe — kły stoniowe). Słupowate kończyny podpierające ogromne korpusy (do 6 ton u samców słonia afrykańskiego) dają im przewagę w starciu z czynnolwiek, oprócz uzbudzonego człowieka. Słabą stroną stoni jest ich niewielka rozrodczość, długi okres wychowywania młodych i duże wymagania pokarmowe. Współczesne trąbowce mają tylko szczątkowe owłosienie, ale wspomniany już, wymarły mamut był wręcz „hippsem” (wyginął na skutek ocieplenia klimatu pod koniec ostatniego zlodowacenia);

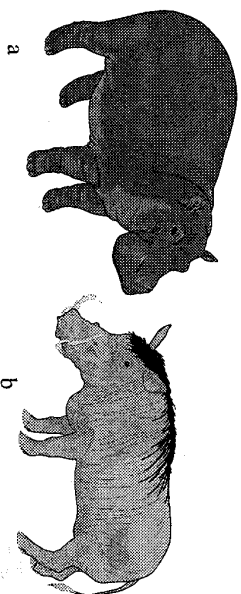


Ryc. 165 D.
Przedstawiciele trąbowców — słoń afrykański (a) i syren — mamut (b).

Syreny (*Sirenia*) — roślinożerne, wyłącznie wodne ssaki o zredukowanych tylnych kończynach. Ich szkielet, w związku z wodnym trybem życia, uległ znacznej przebudowie (skrócenie szyi, pletwowe kończyny przednie itd). Współczesnie żyją już tylko **manaty** (por. Ryc. 165 D) i **dingon**. Syreny nie są ani liczne, ani nie mają dużego znaczenia gospodarczego. Piszę o nich, ponieważ są ofiarami bezprzykładnej chciwości i głupoty człowieka. Jeszcze na początku XVII w. w okolicach Kameczaki „pasty” się ogromne stada **krów morskich** (do 7,5 m długości i 4 ton masy). Jednak chciwość łowców fok nie dała im żadnych szans — w XVIII w. zabiło ostatniego osobnika;

Parzystokopytne (*Artiodactyla*) — roślinożerne ssaki kopytne o silnie przebudowanych kończynach i zębach specjalnie przystosowanych do żucia. Generalnie ewolucja kopytynych szła w kierunku zwiększania prędkości biegu — w przypadku parzystokopytnych silnemu rozwojowi ulegały palce III oraz IV i na nich opierają się kończyny. Należy tu ok. 170 gatunków podzielonych na dwie grupy:

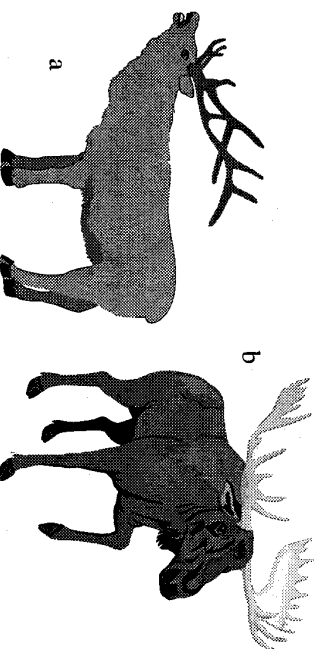
A) **nieprzeżuwające** — mają żołądki jednokomorowe i nie przeżuwają pobranego pokarmu. Przykłady: **dzik**, **świnia domowa**, **guziec** i **hipopotam** (por. Ryc. 165 E);



Ryc. 165 E.
Afrykańscy przedstawiciele parzystokopytnych nieprzeżuwających: a — hipopotam, b — guziec.

B) **przeżuwające** — posiadają czterokomorowy żołądek, umożliwiający przeżuwanie pobranego pokarmu (por. następny rozdział). Przykłady: **wielbłąd**, **jelenie**, **łoś**, **antylopy**, **żubry** i **żyrafy** (por. Ryc. 165 F).

Do parzystokopytnych zalicza się także całkowicie wyępionego w XVIII w. **tura** — Polacy mają w tym swój niechlubny udział (por. ROZDZ. 30.1).



Ryc. 165 F.
Europejscy przedstawiciele parzystokopytnych: a — jelen, b — łoś.

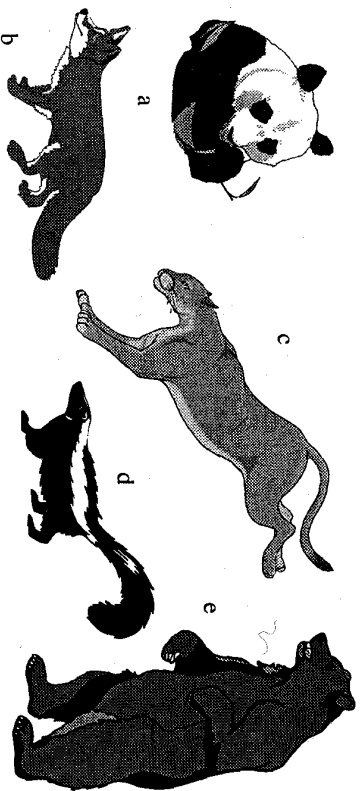
Nieparzystokopytne (*Perissodactyla*) — roślinojerne, nieprzeżuwające ssaki o przystosowaniach zbliżonych do poprzedniej grupy. Zasadnicza różnica polega na odmiennych przystosowaniach kończyn.



W tej grupie ewolucja także prowadziła w stronę skrajnej palchochodności, ale rozwój uległ III-ci palec. Przykłady: **konie, zebry, tapiry i nosorożce** (por. Ryc. 165 G). Nieparzystokopytne mają już za sobą maksimum rozwojowe i należy uznać je za grupę schyłkową;

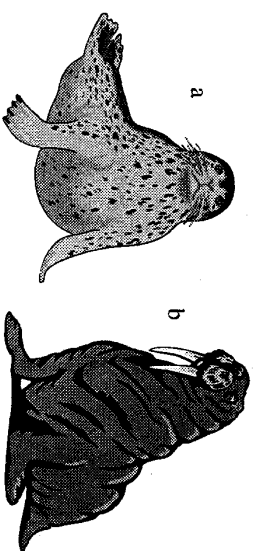
Ryc. 165 G.
Afrykańscy przedstawiciele nieparzystokopytnych: a — zebra, b — nosorożec.

Drapieżne (*Carnivora*) — sprawne, łądowe mięsożerce o dużym mózgu. Cechuje je silne uzębienie przystosowane do miąższenia i cięcia twardych tkanek zwierzęcych. Mają silne kły, a ostatni górny przedtrzonowiec i pierwszy dolny trzonowiec są większe niż pozostałe zęby policzkowe (nazywane są łamaczami i łatwo przewidzieć do czego służą). Dodatkowym wyposażeniem „bojowym” są dobrze rozwinięte pazury. Grupa tworzą 253 gatunki, jednak liczebność populacji zwykle jest niewielka (przyczytny tego stanu rzeczy poznasz w ROZDZ. 29). Masy ciała drapieżników są różne — od kilkuset gramów jaszcy do ponad 800 kg niedźwiedzia brunatnego. Pokarm stanowią zwykle kregowce i tylko czasem bezkręgowce lub owoce. Zupełnym wyjątkiem jest natomiast wyjątkie „bambusożerna” panda wielka. Innych przykładów nie wymieniam — sam wypisz 25 gatunków, określi ich tryb życia i występowanie (por. jednak Ryc. 165 H);



Ryc. 165 H. Przedstawiciele rzędu drapieżnych: a — panda wielka, b — lis, c — puma, d — skunks, e — niedźwiedź brunatny.

Płetwonogię (*Pinnipedia*) — ssaki spokrewnione z rządem drapieżnych. Wtórnie wodne, o zmianionych, płetwowych kończynach. Zwraca uwagę gruba warstwa tkanki tłuszczowej, brak maźłowin usznych (małe występują tylko u uchatek). Na czas rozrodu wychodzą na ląd. Przykłady: **foki, uchatek i morsy** (por. Ryc. 165 J). Przy polskich wybrzeżach czasem pojawia się **foka szara**;

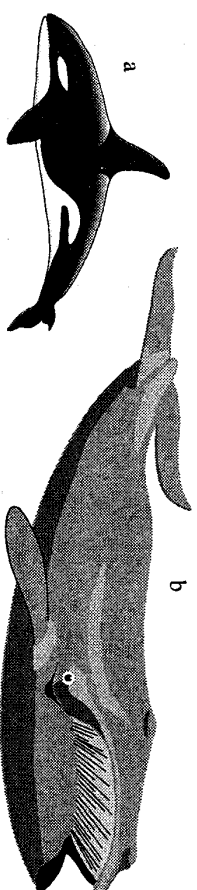


Ryc. 165 J.
Przedstawiciele płetwonogich: a — foka szara, b — mors.

Walenie (*Cetacea*) — bezwłose, całkowicie morskie, ogromne ssaki o optymalnie hydrodynamicznych kształtach ciała. Dość powiedzieć, że konstruktorzy współczesnych okrętów podwodnych kopiują sylwetki walenii. Ciekawe, że akurat te ssaki posiadają duże, silnie pofałdowane mózgi i charakteryzują się wysokim poziomem inteligencji. Duża ilość krwi, zasobność mięśni w hemoglobinie i szereg innych przystosowań pozwala niektórym **kaszalotom** nurkować nawet na głębokość 2 km! (a przecież są płucodyszne). Wiele gatunków jest zagrożonych m.in. przez japońskich wielorybników. Walenie dzielią się na dwie grupy:

A) **zębowce** — potężne drapieżniki o wtórnie homodontycznym uzębieniu. Przykłady: **delfiny, kaszaloty, narwale i orki** (por. Ryc. 165 K);

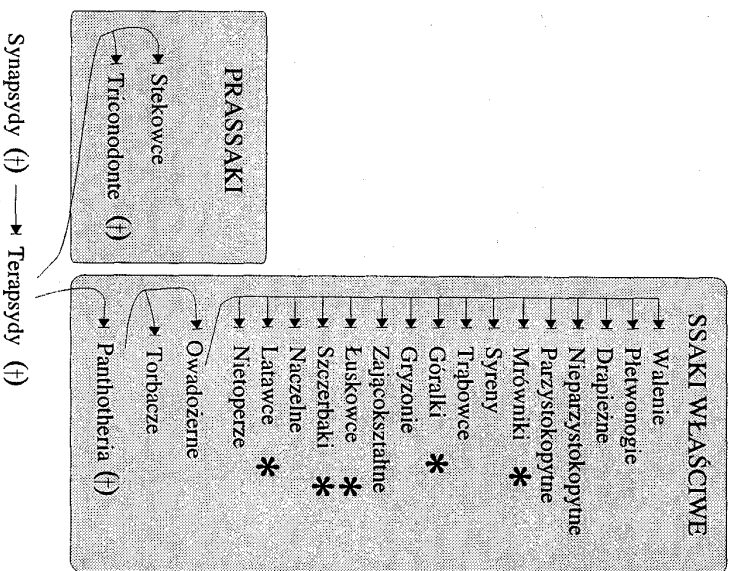
B) **fiszbinowce** — planktonożerne filtratory ze zredukowanym uzębieniem. Do odcedzania pożywienia służą im liczne płaty fiszbiny zwisające z podniebienia (fiszbin jest organicznym tworem pochodzenia nabłonkowego). Przykłady: **finwal, płetwal błękitny**. Ten ostatni mierzy do 35 m długości i osiąga 135 t masy ciała! — jest więc największym kregowcem w historii (por. Ryc. 165 K).



Ryc. 165 K. Przedstawiciele walenii: **zębowców** — orka (a) i **fiszbinowców** — wal grenlandzki (b).

Na koniec przypomnijmy prawdopodobny łańcuch ewolucyjny prowadzący do ssaków (por. też Ryc. 166):

kotylozaury → **gady ssakokształtne** → **prassaki** → **ssaki właściwe**



Ryc. 166.
Uproszczona systematyka ssaków. Gwiazdka oznacza, że rząda nie został dokładniej omówiony. Zapętnie poniżej niektóre grupy kopulne (nie muszą ich znać).

Pytania i polecenia kontrolne:

1. Porównaj cechy pierwszych ssaków i gadów. Jakie kryterium pozwala je odróżnić?
2. Jakie konsekwencje są wynikiem szczególnego rozwoju kresomózgowia i kory nowej u ssaków?
3. Scharakteryzuj ogólnie *Therapsida*. Jakie cechy ich budowy pozwalają uznać je za przodków ssaków?
4. Stekowce są prawdopodobnie przykładem ewolucji regresywnej — spróbuj to uzasadnić.
5. Dokonaj przeglądu systematycznego ssaków. Scharakteryzuj jeden z wybranych przez Ciebie rzędów.
6. Wykaż wyższość anatomiczno-fizjologiczną ssaków tożyskowych nad gadami.
7. Jakie typy tożysk wyróżniamy ze względu na różnice w budowie i rozwoju?
- *8. Jaki typ tożyska posiadają ssaki wyższe? Jak ono powstaje i jaką pełni funkcję?
9. Jak, w ogólnych zarysach, przebiegała radiacja adaptacyjna ssaków?
- *10. Zastanów się „dlaczego tak mało jest wielkich drapieżników?”. Przy okazji, bardzo interesującą książkę o identycznym tytule wydało PWN (autorem jest P. Colinvaux, a pozycja ta ukazała się w serii Biblioteki Problemów jako tom 282).

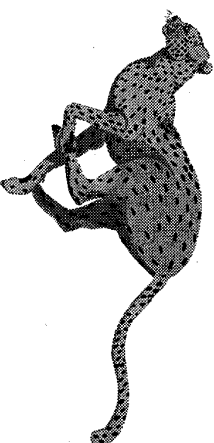
28. Charakterystyka ssaków

Gromada: **Ssaki (Mammalia)**

nauka: **tertiologia**

SSAKI SĄ GRUPĄ NAJWYŻEJ UORGANIZOWANYCH KRĘGOWCÓW LĄDOWYCH

Przy tym są bardzo charakterystyczne i zwykle nikt nie ma problemów z ich odróżnieniem (por. Ryc. 167).



Ryc. 167.
Sylwetka geparda — jednego z najszybszych zwierząt lądowych. Zwróć uwagę na typowo „ssackie” cechy.

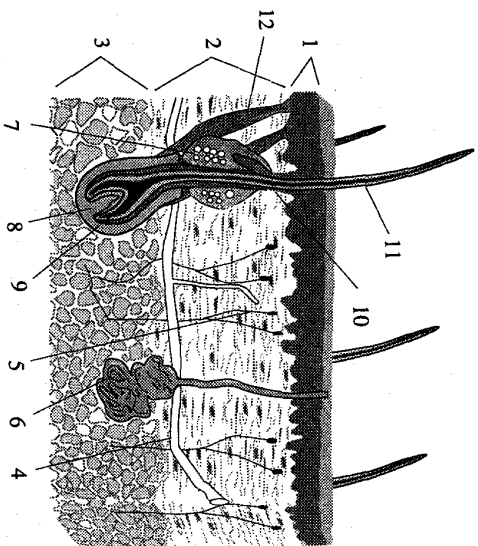
Pokrycie ciała

Skóra ssaków jest gruba i spełnia rozliczne funkcje (bardziej złożone niż u innych czworonogów):

1. Chroni przed utratą ciepła — jest to podstawowa funkcja **włosów**;
 2. Reguluje straty wody — generalnie mniejsza je, chociaż przy schładzaniu tendencja ta ulega odwróceniu;
 3. Chroni przed urazami mechanicznymi i skokami temperatur;
 4. Dostarcza wielu istotnych informacji o świecie zewnętrznym — zawiera liczne receptory;
 5. Tworzy barierę dla drobnoustrojów pasożytniczych i chorobotwórczych. Ponadto obecność barwnika — **melaniny** chroni głębiej położone komórki przed promieniami ultrafioletowymi.
- Funkcje skóry są więc rozliczne, czasem wręcz przeciwstawne, dlatego okrywa ciała musi mieć specjalną budowę (por. Ryc. 168). U owodniowców pokrywający ją **naskórek** (opisany w ROZDZ. 5) zbudowany jest z nabłonka wielowarstwowego płaskiego, którego zewnętrzne warstwy mogą stale się złuszczać i spełniać funkcję ochronną. Szczególnie gruby naskórek posiadają ssaki bezwłose (por. niżej), np. u waleni osiąga on grubość 0,5 cm (!), zaś u nosorożca „tylko” 0,2 cm i jest bardzo silnie zrogowaciały. Leżąc pod naskórkiem **skóra właściwa** składa się głównie z elementów łącznotkankowych. U ssaków jest dobrze unaczyniona i unerwiona, zawiera też gruczoły. Pod skórą właściwą leży tzw. tkanka podskórna, która u wielu gatunków zawiera dużo tłuszczu. Spełnia więc rolę zapasową i termoisolacyjną, a u ssaków wodnych dodatkowo zmniejsza ciężar właściwy.

WŁOSY SĄ TWORAMI NASKÓRKOWYMI, ZBUDOWANYMI Z SILNIE ZROGOWACIAŁYCH KOMÓREK

Współcześnie włosy są cechą specyficzną jedynie dla ssaków. Tylko u niektórych dużych gatunków wodnych — waleni i syren są zredukowane całkowicie. U tych zwierząt rozwinięta jest natomiast gruba, podskórna warstwa tkanki tłuszczowej. Z kolei tropikalne słonie i nosorożce



Ryc. 168.
Schemat budowy skóry ssaka (1 — naskórek, 2 — skóra własiściwa, 3 — podkórna kłanka tłuszczowa, 4 — naczynia krwionośna, 5 — zakończenia nerwy, 6 — gruczoł potowy, 7 — korzeń włosa, 8 — opuszka włosa, 9 — korzeń włosa, 10 — pochwa włosa, 11 — łodyga włosa, 12 — mięsień prostujący włos).

Włos (pilus) zbudowany jest z: korzenia ukośnie zanurzonego w pochwie włosowej i łodygi, wystającej ponad powierzchnię skóry. U podstawy korzenia wykształca się specjalne zgrubienie — opuszka włosa, która obejmuje łącznotkankową brodawkę. Ta ostatnia zawiera liczne naczynia odpowiedzialne za odżywianie opuszki. Pomimo tego włosy nie żyją długo — po uzyskaniu pełnych rozmiarów komórki szczytowej części opuszki obumierają i włos odrzuca się. Jeśli opuszka i brodawka są nie naruszone, to wkrótce rozpoczyna się wzrost nowego włosa. Tak w kółko, z tym, że u wielu ssaków proces ten jest zsynchronizowany i nazywany go linieniem. U gatunków strefy umiarkowanej odbywa się to dwa razy do roku — jesienią i wiosną. W tym pierwszym przypadku włosy tworzące sierść wymieniane są na gęstsze i dłuższe (zastanów się, dlaczego?).

Włosy mogą ulegać specjalnym przekształceniom, np. szczecinia dzika, kolce jeżozwierza i jeża oraz rogi nosorożca (!). Na głowie, w okolicy nosowej wszystkich ssaków występują włosy czuciowe (miał je już *Cynognathus*). Włosy są ustawione w skórce ukośnie. Specjalne mięśnie gładkie (por. Ryc. 168) mogą zmieniać ich kąt nachylenia, stąd strzężenie włosów (przyczyna może być zimno lub stres), u człowieka objawiające się tzw. gęsią skórka.

Rogowe łuski u ssaków występują rzadko, np. na ogonie szczurów. Do rogowych wytworów naskórka (oprócz włosów) należą także pochwy, chroniące końcówki palców. Przyjmują one postać: pazurów, paznokci lub kopyt. Z kolei płytki pancerników są skostnieniami skóry właściwej, ale ich wierzchnia warstwa także jest rogowa.

Spora część ssaków kopytnych ma na głowie wyrostki, które można podzielić na dwa typy:

- A) rogi — czyli puste, nierozgałęzione „puszki” rogowe, osadzone na wyrostkach kości czołowych, czyli na mozdżeniach. Występują u krótorogich, np. u kozicy, bydła i u owiec;
- B) poroża — są tworami koslinymi, zwykle rozgałęzione i okresowo zrzućane. Występują u jeleniowatych, ale tylko u samców (wyjątkiem są renifery, ich samice także mają poroża).

W SKÓRZE PRZECIĘTNEGO SSAKA WYSTĘPIJĄ DWA RODZAJE GRUCZOŁÓW WIELOKOMÓRKOWYCH

Pierwsze to cewkowate **gruczoły potowe** (por. ROZDZ. 5). Wydzielają one **pot**, czyli wodny (98%) roztwór soli mineralnych (0,8% NaCl), śladowych ilości mocznika i amoniaku. U człowieka

gruczoły te występują prawie na całej skórze — najwięcej jest ich na dłoniach (do 400 na 1 cm²), najmniej zaś na pośladkach (ok. 50 na 1 cm²). Walenie, syreny i słonie nie mają gruczołów potowych, niewiele jest ich też w skórze psowatych. Zwierzęta tego typu odmiennie rozwiązyują problem sposobu zwiększania strat ciepła przy przegrzewaniu. Walenion i syrenom praktycznie to nie grozi, słonie mają duże powierzchnie płatów usznych (podobnie jak wiele innych ssaków tropikalnych). U psowatych straty ciepła zwiększane są przez tzw. **zianie** (straty ciepła i wilgoci z dółg oddechowych oraz gruczołów ślinowych).

Część gruczołów potowych uległa modyfikacjom:

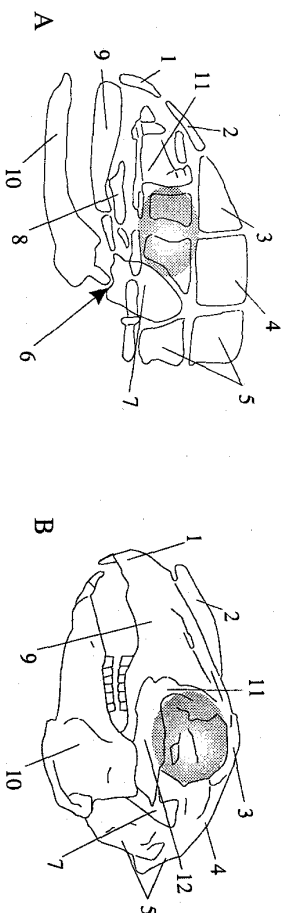
- w przypadku gruczołów zapachowych zmian konstrukcyjnych nie ma. Jedynie nieco inna jest wydzielina — zawiera substancje zapachowe, czyli **feromony**. Pozwalają one znakować teren, określać pozycję społeczną osobnika czy też rozpoznawać gotowość rozrodczą samicy. Większość ssaków dobrze rozpoznaje zapachy. No, może z wyjątkiem człowieka, którego delikate (!?) perfumy zszokują każdego psa;

— u samicy ssaków przekształcenia prowadzą do powstania **gruczołów mlecznych**. Uchodzą one do parzystych brodawek sutkowych o różnej liczbie i położeniu. Wyjątek stanowią wspomniane już stekowce pozabawione sutków. Rola gruczołów mlecznych została przedstawiona wcześniej.

Drugim rodzajem gruczołów są **łojowe** — uchodzą one do mieszków włosów, a ich wydzielina zabezpiecza włosy przed zamoknięciem. Łój zawiera wolne kwasy tłuszczowe, cholesterol i związki woskowe. U człowieka gruczołów takich jest 6—8 razy mniej niż potowych.

Szkielet

Podobnie jak u pozostałych owodniowców dorosłe ssaki mają niemal całkowicie skostniały szkielet. Chrzastki rozwijają się i zachowują tylko w miejscach „specjalnych”. Ssaki wykształciły różne sposoby lokomocji, stąd ta część układu ruchu ulegała dość poważnym modyfikacjom (por. pochodzenie ssaków i niżej).



Ryc. 169. Czaszka ssaków: A — budowa ogólna, B — czaszka królika (1 — k. przedczołowa, 2 — k. nosowa, 3 — k. czołowa, 4 — k. cieniętłowa, 5 — k. połyliczne, 6 — staw żuchwowy, 7 — k. skroniowa, 8 — k. podniebienne, 9 — k. szczękowa, 10 — k. żębowa, czyli żuchwowa, 11 — k. łzowa, 12 — k. jarzmowa).

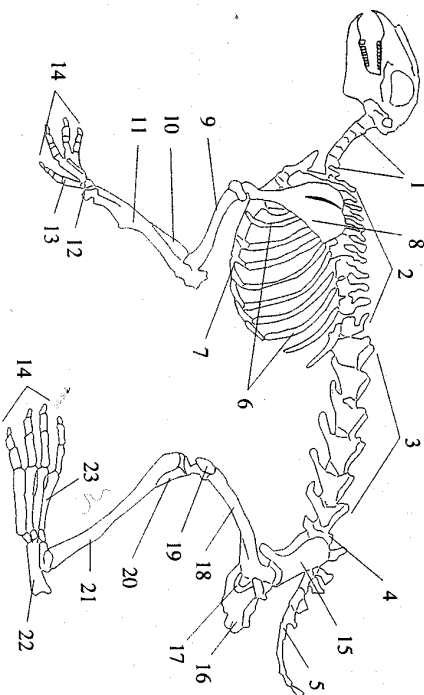
1. Szkielet ośiowy

- A) Czaszka reprezentuje typ budowy podobny do gadów. Natomiast charakterystyczna dla niej jest redukcja liczby elementów i zmiana funkcji niektórych z nich.

Prawie wszystkie kości czaszki są ze sobą sztywno połączone szwanami. Wyjątki stanowią m. in. kość zuchwowa i kostki słuchowe. Mózgoczaszka ssaków, w związku z silnym rozwojem mózgowia, jest duża (por. kości: czółowa, ciemieniowa, skroniowa i potyliczna na Ryc. 169). Na kości potylicznej znajdują się dwie kłykcie potyliczne. W jamie ucha środkowego, w kości skroniowej znajdują się wspomniane już wielokrotnie trzy kostki słuchowe. Szczególny rozwój mózgowoczaszki obserwuje się u małp człekokształtnych i człowieka.

W trzewioczaszce zwracają uwagę:

- mocna zuchwa** zbudowana z kości zuchwowej (homologiczna z kością zębową gadów). W tylnej części tworzy ona nowy staw zuchwowo-skroniowy (wchodzi w panewkę stawową łuski kości skroniowej). Szczeka górna składa się zasadniczo z kości szczękowej i przedszczękowej. W zuchwie i szczęce górnej znajdują się zębodoły, w których osadzone są zęby (por. niżej — układ pokarmowy). Na szczękach i w dole skroniowym znajdują się zaczepy silnych mięśni żujących;
- wrótnie podniebienie kostne** oddzielające jamę gębową od nosowej i umożliwiający oddychanie w czasie zucia pokarmu. Z nielicznymi wyjątkami nozdrza zewnętrzne przesunięte są do przodu (dobry węch), a wewnętrzne daleko do tyłu.



Ryc. 170. Szkielet ssaka na przykładzie królika (1 — kręgi szyjne, 2 — kręgi piersiowe, 3 — kręgi lędźwiowe, 4 — k. krzyżowa, 5 — kręgi ogonowe, 6 — zębra, 7 — mostek, 8 — topaka z widocznym „grzebie niem”, 9 — k. ramieniowa, 10 — k. promieniowa, 11 — k. łokciowa, 12 — nadgarstek, 13 — stródzka, 14 — k. palców, 15 — k. biodrowa, 16 — k. kulszowa, 17 — k. łożowa, 18 — k. udowa, 19 — rzepka, 20 — k. strzałkowa, 21 — k. piszczelowa, 22 — k. piętowa, 23 — stródstopie).

B) Kręgosłup i klatka piersiowa. W kręgosłupie wyróżnia się pięć odcinków silnie nawiązujących do „gadzi” rozwiązań:

- odcinek szyjny — prawie zawsze zbudowany jest z siedmiu kręgów. Jedynie u leniwców (6 albo 9) i manatów (6) jest inaczej. Oznacza to, że np. żyrafa ma tyle kręgów w szyi co my! Niezłe?
- odcinek piersiowy — ssaki mają oczywiście **klatkę piersiową**. Stąd kręgi tego odcinka zestawiają się stawowo z żebrami. Mostek jest płaski, jedynie u nietoperzy rozwija się na nim grzebień kostny.
- odcinek lędźwiowy — kręgi przypominają budową piersiowe, ale pozbawione są żeber. Ciekawostką jest, że u większości ssaków suma b + c = 20;

- odcinek krzyżowy — jego kręgi zrastają się w **kość krzyżową**, która służy za mocną podporę dla tylnych kończyn;
- odcinek ogonowy — tworzy go zmienna liczba kręgów. U niektórych form ulega on redukcji, np. u antropoidów.

Zasadniczą zmianą jest jednak ograniczanie ruchomości kręgosłupa (u gadów tendencja ta zaznacza się tylko u mellichnych gatunków). Realizowane to jest przez zmianę typu budowy kręgu — u ssaków wykształciły się **kręgi płaskie** (platyceliczne). Dokładniej mówiąc, są lekko dwuwklęsłe, ale nazwa pozostaje. Pomiedzy trzonami rozwijają się chrzęstne dyski międzykręgowe. Wbrow pozorom jest to zaleta (por. niżej szkielet obręczy i kończyn). Stłupa grzbietowa zanika zawsze już u embriogenezie. Jedynym śladem po jej występowaniu są tzw. jądra galaretowate w dyskach międzykręgowych.

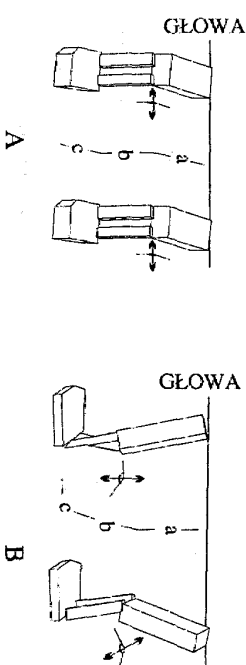
2. Szkielet obręczy i kończyn

A) Obręcz barkowa i kończyny przednie. W tej pierwszej następuje redukcja liczby elementów. Przede wszystkim u ssaków nie występują kości kłeczne.

Mają je jeszcze stekowce, ale u pozostałych uległy redukcji, a resztki weszły w skład topaki. Stanowią tam tzw. wyrostek kruczy topaki. Cechą specyficzną ssaków jest silny grzebień topaki, umożliwiający przyrzep mocnych mięśni kończyny przedniej (por. Ryc. 170). W związku z tym obręcz kończyny przedniej traci sztywne połączenie ze szkieletem osiowym. Nie jest to jednak wcale takie, że jeśli ma się odpowiednie połączenie, to szkielet osiowy. Obójczyki są dobrze rozwinięte tylko u tych gatunków, które poruszają kończynami przednimi w różnych płaszczyznach (np. naczelnie). Tam, gdzie służą one tylko do biegu, zanikają całkowicie (np. kopytne, większość drapieżnych).

KONCZYNA PRZEDNIA SSAKÓW WYKAZUJE CAŁY SZEREG PRZEKSZTAŁCEN

Jak już wspomniano, pierwsze ssaki miały pięciopromienne kończyny podciągnięte pod ciało. Obrtowość stawu barkowego i biodrowego pozwoliły ustawić kończyny tak, że zginają się wzdłuż długiej osi korpusu (przykładniom, że u gadów płaszczyzny zgięć były prawie prostopadłe; por. Ryc. 171 A).



Ryc. 171. Ułożenie kończyn typu gadyiego — pierwotne (A) i typu ssaczego — pryncipia (B) (a — część nasadowa kończyny, b — część pośrednia, c — część wolna). Zwróć uwagę na płaszczyzny zgięć!

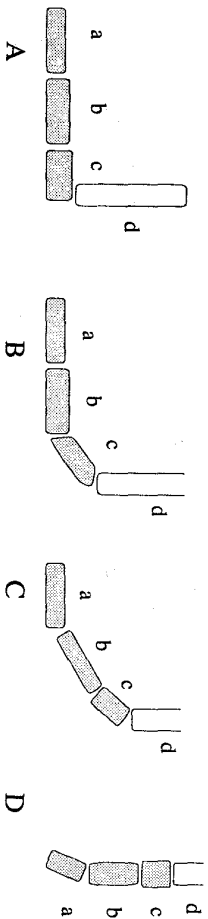
Zginający się do tyłu staw łokciowy umożliwiał podciąganie tułowia, a zginający się do przodu staw kolanowy pozwalał na popychanie tułowia do przodu. W podstawowym, szacym ustawieniu — tzw. pozycji nawrotnej (*pronatio*) kości przedramienia ulegają skrzyżowaniu (por. Ryc. 171 B). Grzbiet dłoni skierowany jest do przodu. Można z tego sprawdzić, kładąc ręce przed sobą na stole, dłońmi do dołu. Zastanów się: jak ułożone są kości twojego przedramienia? U prymitywnych ssaków istniała możliwość odwracania przedramienia do pozycji odwrotnej (*supinatio*). W tym momencie kości przedramienia nie są skrzyżowane, kość promieniowa i kciuk zajmują

położenie zewnętrzne (dłon nadal skterowana jest do przodu). Cecha ta zachowała się dzisiaj między innymi u torbaczy, owadożernych i naczelnych. U pozostałych obrótowość stawu łokciowego zanika i pozostaje tylko ustawienie pronacyjne.

B) **Obraz niedźwiedziowa i kończyzna tylna.** Miednica ssaków zbudowana jest dość konwencjonalnie z trzech dużych kości (ulega redukcji jedynie u waleni i syren, które to nie mają kończyn tylnych). W kończyźnie tylnej widoczna jest mocna kość udowa, której główka wchodzi w potężną panewkę stawu biodrowego. Kość piszczelowa jest silniej rozwinięta niż strzałkowa (u kopytnych zrastają się ze sobą).

C) Niektóre modyfikacje końcowych odcinków kończyn. O ile same kończyny zmieniają swoją długość i masowność przy zachowaniu planu budowy, to dłonie i stopy zmieniały się najsilniej. Przede wszystkim odcinki te u różnych form różnią się: sposobem przylegania do podłoża i stopniem rozwoju elementów kostnych (por. Ryc. 172), dlatego można podzielić je na:

- a) **kończyny stopochodne** — to takie, w których cała stopa dolega do podłoża, np. u niedźwiedziowatych, szopowatych, człowieka;
- b) **kończyny półstopochodne** — następuje uniesienie śródstopia, np. u łasicowatych;
- c) **kończyny palcochodne** — u zwierząt szybko biegnących, np. psowatych, kotowatych część wolna kończyny dolega tylko na odcinku palców. Z kolei uniesione śródstopie ulega wydłużeniu przez co uelastycznia się przenoszenie obciążenia;



Ryc. 172. Sposoby ustawienia stopy względem podłoża: A — stopochodność; B — półstopochodność; C — palcochodność; D — skrajna palcochodność (a — palec, b — śródstopie, c — stęp, d — podudzie). W taki sam sposób można przedstawić kończyny przednie!

d) **kończyny skrajnie palcochodne** (praktycznie — kopytochodne) — u części ssaków wytworzyła się sytuacja, w której stopa opiera się o podłoże tylko na końcach członów części palców. Tak:

— u parzystokopytnych zanika pierwszy palec. Z kolei III i IV-ty silnie się rozwijają i obejmują cały ciężar dźwignia ciała. Jednocześnie wydłużeniu ulegają odpowiednie elementy śródstopia. U hipopotamów, świni i tosi palec II i V-ty także są dość dobrze rozwinięte (zapobiegają zapadaniu się w grząskim podłożu). Natomiast u żyraf i wielbłądów zanikają zupełnie;

— u nieparzystokopytnych najczęściej rozwija się tylko III-ci palec. I-szy palec, podobnie jak u parzystokopytnych, jest całkowicie zredukowany, V-ty występuje jeszcze tylko u tapirów. Nosorożec ma już tylko 3 palec (z nich II i IV-ty dość słabo wykształcone). Koniowate mają już jedynie palec III-ci. Śródstopie także ulega silnemu wydłużeniu. Jednocześnie tendencja do zrastania się elementów podudzia doprowadza do powstania długich, lekkich kończyn typu biegowego.

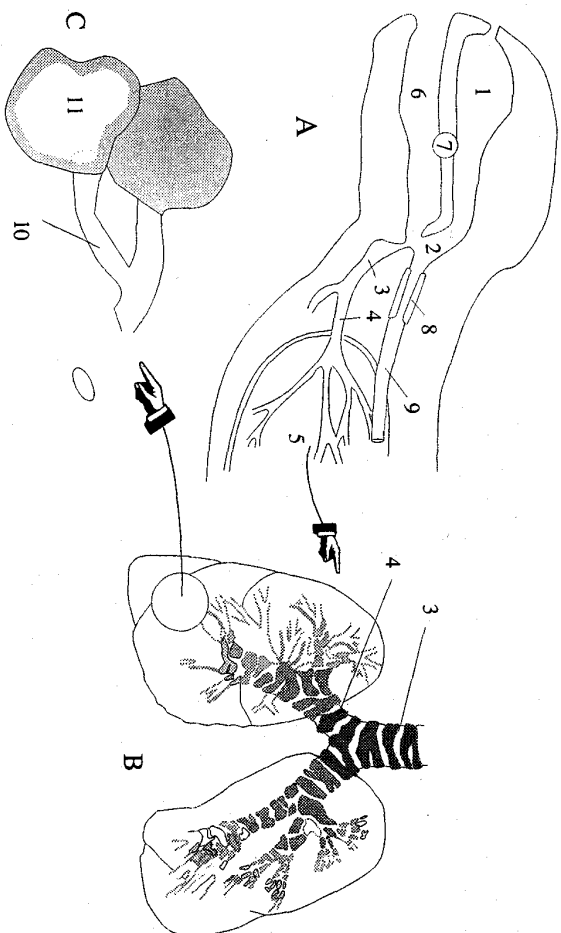
U części ssaków powstały kończyny skoczne, np. u kangurów i gryzoni o wydłużonym śródstopiu. Z kolei nietoperze rozwinęły kości palców i ramieniowe — wywoziły więc kończyny lotne. Krótkie, łopatkowate kończyny mogą służyć do pływania (np. u waleni, pletwonogich). Wysoko wyspecjalizowane naczelne mają kończyny chwytne z przeciwstawnymi „dużymi” palcami i znaczną ruchomością stawów (jeśli nie wierzysz, po prostu pomachaj ręką).

Układ oddechowy

SSAKI SĄ WYŁĄCZNIE ZWIERZĘTAMI PŁUCODYSZNYMI

Układ oddechowy ssaków silnie nawiązuje do ich gadzich przodków (por. Ryc. 173). Podobna jest też sytuacja ogólna, w której płuca muszą pokrywać niemal całe zapotrzebowanie na tlen. Oddychanie przez powłoki ciała ma mocno ograniczony charakter (choć są gruczoły skórne). Istotna różnica wynika zaś z **endotermii** ssaków — utrzymanie stałej temperatury ciała wymaga wysokiego poziomu metabolizmu (problem już znasz i wiesz, że niezbędny tutaj jest tlen). Modyfikacje w budowie i funkcjach systemu oddechowego szły w „klasycznych” kierunkach:

- a) zwiększenia powierzchni wymiany gazowej;
- b) usprawnienia mechaniki wentylacji płuc.



Ryc. 173. Schemat systemu oddechowego ssaka (A), powiększenie płuc (B) oraz pęcherzyki płucne (C) (1 — jamy nosowa, 2 — gardło, 3 — tchawica, 4 — ostryżle główne, 5 — płuco, 6 — jama żebrowa, 7 — włóknne podniebienie, 8 — mięsień zwieracz przedłyku, 9 — przełyk, 10 — ostryżek pęcherzykowy, 11 — pęcherzyk płucny).

Każde płuco ssaka zbudowane jest z płatów — prawe z trzech, lewe z dwóch (ze względu na obecność serca).

UWAGA: Liczba ta nie jest stałą cechą u ssaków, ale tak właśnie wyglądają płuca człowieka.

Podstawę konstrukcyjną każdego płuca tworzy bardzo rozgałęzione drzewo oskrzelowe (por. Ryc. 173). Wchodzące do płuca oskrzela główne dzielą się na mniejsze — płotowe. Te zaś na segmentowe, dające jeszcze mniejsze i drobniejsze odgałęzienia. Są to oskrzela pęcherzykowe, które w końcowych odcinkach mają bulwkowate rozszerzenia — **pęcherzyki płucne** (mówimy więc, że **płuca ssaków są pęcherzykowiaste**). Gdyby wyprzeparować system oskrzeli, to wyglądałoby jak bardzo gęsty krzew, który zamiast liści miałby drobniutkie kulczeki. Średnica pęcherzyków płucnych jest większa niż kapilar w płaków, ale i tak są drobne i bardzo liczne. Nabłonek płaski pęcherzyków ma dużą powierzchnię łączną, pozwalającą uzyskać korzystne stosunki powierzchni oddechowej do masy, np. u ryjówek ok. 25 cm²/1 g masy ciała, zaś u człowieka ok. 12 cm²/g. Zwróć jednak uwagę na różnicę wielkości bezwzględnej tych organizmów. Człowiek waży ok. 70 kg, a ryjówka tylko ok. 15 g.

Drugi oddechowe ssaków zapewniają im wysoką sprawność wentylacji. Jama nosowa jest dość szeroka i umożliwia wstępne ogrzanie i nawilżenie powietrza. Obecność bardzo dobrze rozwiniętego podniebienia wórnego powoduje, że nozdrza wewnętrzne są przesunięte daleko w tył, w okolice gardła. Powietrze przechodzi następnie do **krtani górnej (larynx)**. Jej szkielec budują chrząstki, a we wnętrzu znajdują się fałdy błony śluzowej — **struny głosowe** (fałdy głosowe). Umożliwiają one ssakom wydawanie dźwięków. O tym, jaki to jest zakres, można przekonać się na koncertach filharmonicznych z udziałem Pavarotti'ego, Carerassa i Domingo. Powietrze z krtani przechodzi do rury tchawicy, która rozgałęzia się na dwa oskrzela główne — dalszą drogę znasz. Wentylacja płuc ssaków opiera się na rytmicznych ruchach klatki piersiowej. Skurcz mięśni oddechowych prowadzi do odsunięcia mostka i zwiększenia objętości płuca. Wydech jest fazą bierna, która wynika z elastyczności klatki piersiowej. Tylko u ssaków oddychanie wspomaga dodatkowa błona śródpięsto-mięśniowa, czyli **przepona**.

F Ssaki wodne, np. walenie, są przystosowane do długotrwałych i głębokowodnych nurkowań (kaszaloty do 2 000 ml). Jest to możliwe dzięki:

- a) znacznie większej ilości krwi, o dużej liczbie erytrocytów,
- b) gromadzeniu tlenu w mięśniach szkieletowych (duże ilości hemoglobiny),
- c) odcinananiu, w czasie zanurzenia, dopływu krwi do licznych narządów. Dobre ukrwienie zapewnione jest tylko w mózgu, sercu i niektórych mięśniach szkieletowych. Pozwala to znacznie zmniejszać zużycie tlenu przez organizm.

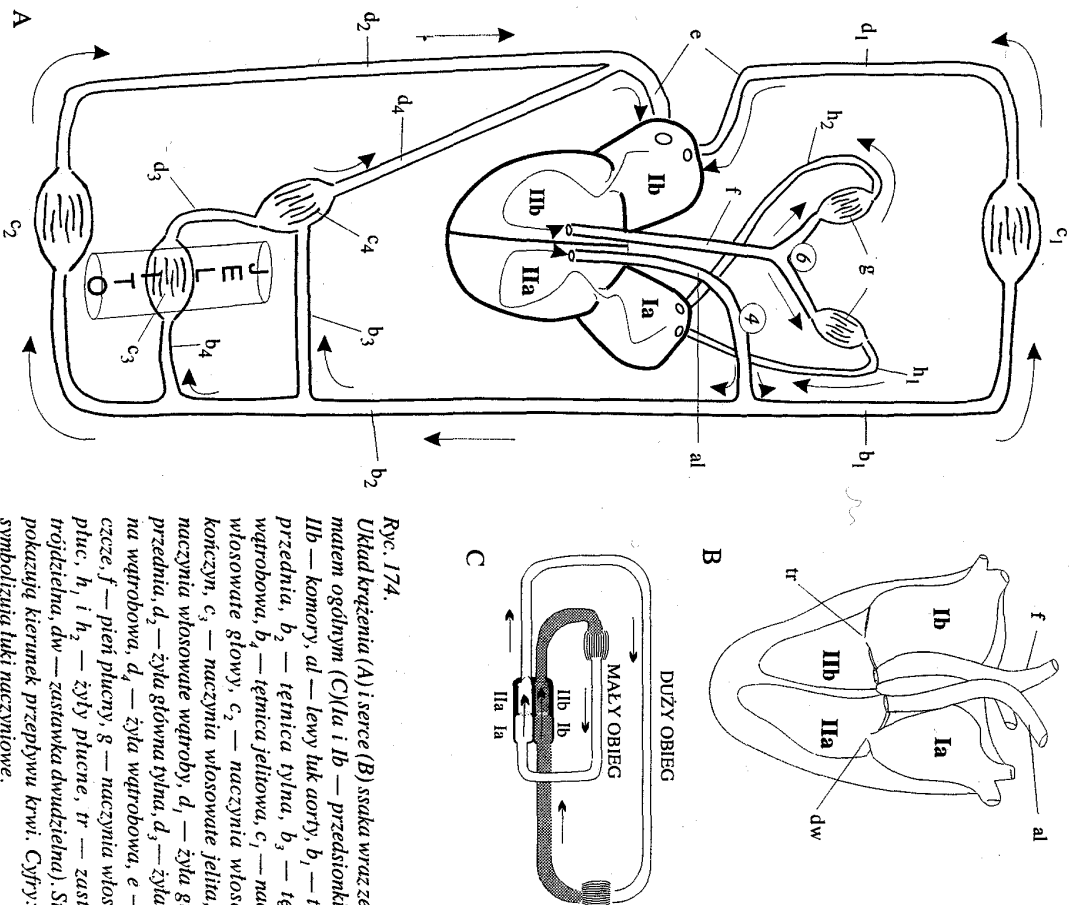
Układ krążenia

U SSAKÓW UKŁAD KRĄŻENIA JEST DWUOBIEGOWY Z CZTEROJAMOWYM SERCEM

Ustępuje on sprawnością tylko płakom, chociaż oba systemy są bardzo podobne. Podstawę tworzy tu czterojamiste serce zbudowane z: dwóch przedsionków i dwóch komór, co zapewnia całkowicie oddzielenie krwi utlenowanej i odtlenuwanej.

W porównaniu z gadami zatoka żylna ulega całkowitej redukcji. Jedynym śladem po niej jest tzw. węzeł zatokowo-przedsionkowy, spełniający rolę rozrusznika serca. W prawym otworze przedsionkowo-komorowym wszystkich ssaków właściwych znajduje się zastawka trójlistkowa, a w lewym dwudzielna. Objętość wyrzutowa serca i częstotliwość skurczów jest duża (choć u płaków relatywnie nieco większa). Przykładało w słońca serce kurczy się 25 razy na minutę, u człowieka 72, ale już u myszy ok. 700 razy na minutę. Dla wielu uczniów odrożnienie układu krążenia u płaka i ssaka jest trudne. Przyczyną jest bardzo podobna, lecz nie identyczna budowa. I tak:

- a) serce ssaka jest relatywnie mniejsze (ok. 2 razy),
- b) na prawym przedsionku u ssaków nie występuje nawet szczątkowa zatoka żylna,
- c) do prawego przedsionka uchodzą tylko dwie żyły główne. U płaków są trzy i stąd w ich przedsionku widoczne są trzy otwory żyłno-przedsionkowe (u ssaków zawsze są dwa),
- d) do lewego przedsionka uchodzą dwie do czterech (a nawet więcej) żył płucnych. U płaków są dwie i przed wejściem do przedsionka zlewają się w jedno naczynie,
- e) ssaki zachowały tylko **lewy łuk aorty** (por. Ryc. 174).



Ryc. 174. **Układ krążenia (A) i serce (B) ssaka wraz ze schematem ogólnym (C)** (Ia i Ib — przedsionki, IIa i IIb — komory, al — lewy łuk aorty, b₁ — tętnica przednia, b₂ — tętnica tylna, b₃ — tętnica wątrobowa, b₄ — tętnica jelitowa, c₁ — naczynia włosowate głowy, c₂ — naczynia włosowate jelita, c₃ — naczynia włosowate wątroby, d₁ — żyła główna przednia, d₂ — żyła główna tylna, d₃ — żyła wrotna wątrobowa, d₄ — żyła wątrobowa, e — żyły czcze, f — pień płucny, g — naczynia włosowate płuc, h₁ i h₂ — żyły płucne, tr — zastawka trójlistkowa, dw — zastawka dwudzielna). Strzałki pokazują kierunek przepływu krwi. Cyfry: 4 i 6 symbolizują łuki naczyniowe.

SPECYFICZNIENIE „SSACZA” CECHA SĄ BEZJĄDRZASTE ERYTROCYTY

Krew ssaków jest najdoskonalszym „narzędziem” transportu gazów oddechowych, jaki funkcjonuje u zwierząt. Dzieje się tak, ponieważ krew przedstawicielei tej grupy zawiera liczne, bardzo drobne krwinki czerwone, pozbawione jąder komórkowych. Małe rozmiary pozwalają zwiększyć powierzchnię wymiany gazowej, a brak jądra zmniejsza koszty własne metabolizmu erytrocytów. Krwinki te są okrągłe i wyglądają jak dwuwklęsłe soczewki. Jedynie u lam, wielbłądów i danieli są owalne. W 1 mililitrze krwi może być nawet kilkanaście milionów erytrocytów.

B Wymaganie termiczne ssaków powodują, że ciśnienia krwi są wysokie. U niektórych gatunków może to być przyczyną poważnych problemów. Przykładowo u zyraty różnica wysokości pomiędzy sercem a głową wynosi ponad 2 m. Trzeba wytworzyć bardzo duże ciśnienie, żeby wepchnąć krew do naczyni, np. mózgu. Jeśli zyrata schyliłaby nagle głowę, to fala ciśnienia zniszczyłaby mózg. Dlatego tętnice prowadzące krew do głowy rozgęźniają się przed mózgiem na sieć naczyń włosowatych. Rozdrobnienie naczyń powoduje wzrost oporów naczyniowych i spadek ciśnienia krwi, co chroni delikatną tkankę nerwową. Naczynia tworzące układ: tętnica → naczynia włosowate → tętnica nazywane są **siecią działwą**.

Układ wydalniczy i rozrodczy

Każdy organizm stara się zapewnić optymalne warunki pracy swoim tkankom. Jednak utrzymanie homeostazy wymaga posiadania sprawnych narządów regulacyjnych. Jest to szczególnie ważne dla endotermów — a więc i dla ssaków. Podstawę takiego systemu regulacyjnego tworzą oczywiście parzyste **nerki** (por. Ryc. 175). U ssaków są typu osłatecznego (ściślej zanerzca) i cechują się bardzo wysokim stopniem rozwoju.

CECHA NEREK SSAKÓW JEST ZDOLNOŚĆ DO ZAGĘSZCZANIA MOCZU

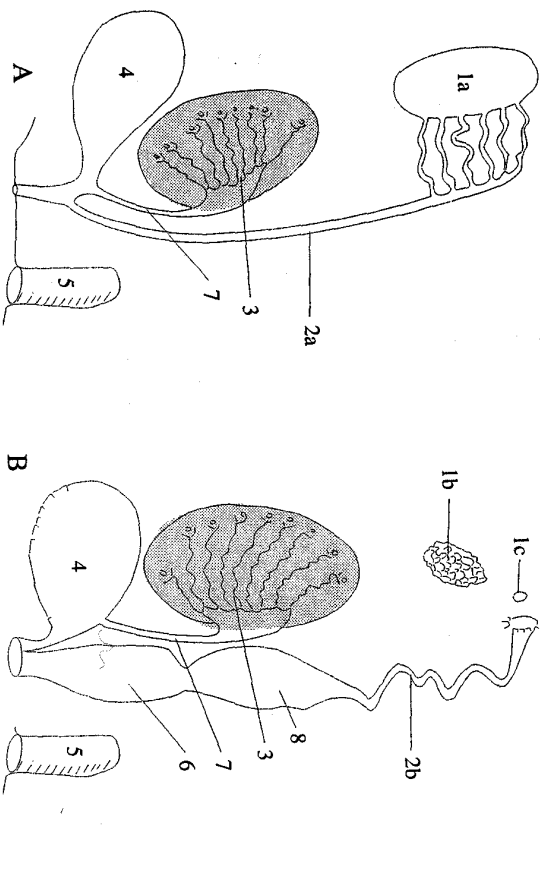
Parzyste nerki są fasolowatego kształtu. Budują je bardzo liczne **nefrony**. Dochodząca do nich krew ulega przefiltrowaniu w ciałkach nerkowych. Do światła kanalika nerkowego dostają się rozcieńczone składniki osocza. Specjalna budowa nefronów pozwala jednak wybiórczo zretorbować (zwrotnie wchłonąć) niezbędne składniki (głównie wodę, glukozę i ważne sole mineralne). Jeśli więc w kanalikach zostają zbędne i szkodliwe produkty przemiany materii, to ich siężenie roślinie. Jest to korzyśna cecha, gdyż ssaki wydają **mocz**.

B Rzecz w tym, że mocz jest dobrze rozpuszczalny w wodzie. Wyobraź sobie, że to ja-szczurka wydała mocz (to herezja, ale czytaj dalej). Jak wiesz, jej nerka nie resorbuje wody, tak więc rozcieńczony mocz (z moczniakiem) dostałby się do kloaki. Sprawność resorbcyjna klo-aki jest zbyt mała, aby była ona w stanie „wyciągnąć” taką ilość wody. Ale niech tam — założmy dalej, że woda jest w jakiś sposób resorbowana. W takiej sytuacji dobrze rozpuszczalny, drob-nocząsteczkowy mocz zostałby ponownie wchłonięty i wprowadzony do krwioobiegu. Jak więc widać, powstałoby błędne koło — nawet jeśli woda byłaby resorbowana w kloace to i tak razem z moczniakiem. Ten zaś musiałby zostać wydalony drogami nerkowymi i tak w kółko.

Wróćmy teraz do rzeczywistości — otóż nefrony w nerkach ssaków pozwalają na resorpcję wody bez moczniaka (!). Jest to ich zasadnicza zaleta. Wydalanie moczniaka ma swoje inne wady, przyjmij jednak „na słowo”, że dla zwierząt żyworodnych jest to najlepsze rozwiązanie (dokładne wyjaśnienia znajdziesz w kl. III).

Mocz z nerek odprowadzany jest moczowodem wtórnym do pęcherza moczowego i dalej do cewki moczowej. U samicy uchodzi ona do tzw. zatoki moczopłciowej. U samców końców

odcinek dróg moczowych służy także do wyprowadzenia nasienia. Jak więc widać, jest to inne rozwiązanie niż kloaka funkcjonująca u większości czworonogów, ze stekowcami włącznie. Przy-czyną rozchodzenia się dróg moczowych, rozrodczych i pokarmowych (u samicy łożyskowców jest ono całkowi-ce) była żyworo-dność. Drogi rodne nie mogą pokrywać się z moczowymi, ani tym bardziej z pokarmowymi.



Ryc. 175. Układ wydalniczy i rozrodczy u ssaków — samiec (A) i samica (B) (1a — jądro, 1b — jajnik, 1c — komórka jajowa, 2a — nasieniowód, 2b — jajowód, 3 — nerka, 4 — pęcherz moczowy, 5 — jelito tyjne, 6 — pochwa, 7 — moczowód, 8 — macica).

Ssaki są zwierzętami **rozdzielnopłciowymi**. U niektórych dość silnie zaznacza się dymorfizm płciowy (patrz np. człowiek). Wśród takich ssaków regulą są większe rozmiary samca niż samicy (por. to z bezkręgowcami). Jak zawsze są też wyjątki: u waleni, hipopotamów i tapirów większe są samice.

Jądra samców u ssaków najczęściej znajdują się poza jamą ciała, w workach mosznowych. Najprawdopodobniej niższa temperatura worka mosznowego sprzyja procesowi spermatogene-zy (Ogólnie: powstawaniu plemników).

Sperma (plemniki + wydzieliny gruczołów dodatkowych) wprowadzana jest do pochwy samicy przy pomocy wzwidzionego prącia. Tak więc zapłodnienie jest wewnętrzne. We wnętrzu parzystych jajników dojrzewają komórki jajowe. Z wyjątkiem stekowców, u pozostałych ssaków komórki jajowe są małe i zawierają niewiele materiału zótkowego (zaliczamy je do oligolecytal-nych). Dojrzała komórka jajowa (owocyt) wydostaje się z pękniętego pęcherzyka jajnikowego (owulacja, jajczkowanie) i trafia do jajowodu, gdzie może nastąpić zapłodnienie. Zarodek roz-wija się w ścianie specjalnego odcinka dróg rodnych — **macicy**. Jak już wiesz, w zaopatrywaniu zarodka uczestniczy **łożysko**. Macica może mieć różne kształty — przykładowo u naczelnych (a więc i u człowieka) występuje tzw. macica pojedyncza, prosta. Końcowym odcinkiem dróg rod-nych jest pochwa uchodząca do zatoki moczopłciowej. Do tej ostatniej uchodzi także cewka moczowa. Zatoka moczopłciowa ograniczona jest dwoma fałdami skórnymi, tzw. wargami stro-mowymi.

WIEKSZOŚĆ SSAKÓW WYKAZUJE TYLKO OKRESOWĄ AKTYWNOŚĆ ROZRODZCZĄ

Szczególnie widoczne to jest u gatunków zamieszkujących strefę umiarkowaną i chłodną — widać wyraźne korelacje sezonowe. Także cykle biologiczne sterowane są hormonalnie (por. płaki i gady). Mechanizm jest u wszystkich owodniowców dość podobny. Jednak u ssaków inny jest sposób hamowania szyszyńki. Czynnikiem sterującym jest oczywiście długość dnia i natężenie światła. Tyle, że w części gadów impulsy są odbierane bezpośrednio przez szyszyńkę. Grube, zwarte kości mózgowoczaszki ssaków na to nie pozwalają. Istotne są więc impulsy nerwowe generowane przez światłoczułe komórki siatkówki. Inaczej mówiąc ssaki widzą oczami, a ponadto poprzez oczy sterowana jest aktywność szyszyńki. Okres rozrodczy u ssaków nazywa się **rują**.

U ssaków żyjących w strefie równikowej takich okresów może być więcej. Stąd nazwa **wielorunowe**, czyli poliestralne. Przykłady: większość dużych ssaków tropikalnych, gatunki udomowione i człowiek. Samce tych ssaków są zwykle stale zdolne do rozrodu, a samice wykazują zdolność okresową, związaną z cyklem płciowym żeńskim. Drobní przedstawiciele, niezależnie od strefy klimatycznej, zwykle są w stanie kilkakrotnie w ciągu roku przejść cykl: ruja → ciąży → poród → opieka nad młodymi. Nazywa je się sezonowo-wielorunowymi. Z kolei wspomniane już większe ssaki zamieszkujące strefę umiarkowaną i chłodną zwykle są jednorunowe (odbywają rozród jeden raz w roku).

Układ pokarmowy

SSAKI MAJĄ BARDZO SZEROKĄ BAZĘ POKARMOWĄ

Inaczej mówiąc, odżywiają się bardzo różnorodnymi pokarmami. Jak już wspomniiano, wynika to m.in. z posiadania bardzo sprawnego aparatu obróbki pokarmowej (por. niżej). Młode ssaki odżywiają się mlekiem matki, które zawiera wszystkie niezbędne do rozwoju składniki. Ich ilość i proporcje są tak dobrane, aby umożliwić optymalny (a więc szybki i pełny) rozwój. Zwróć uwagę, że jest to jak gdyby kontynuacja pewnej strategii:

1. W życiu płodowym pobieranie substancji odżywczych zachodzi poprzez łożysko, bezpośrednio z krwioobiegu matki;
2. Składniki mleka także są produkowane przez organizm matki.

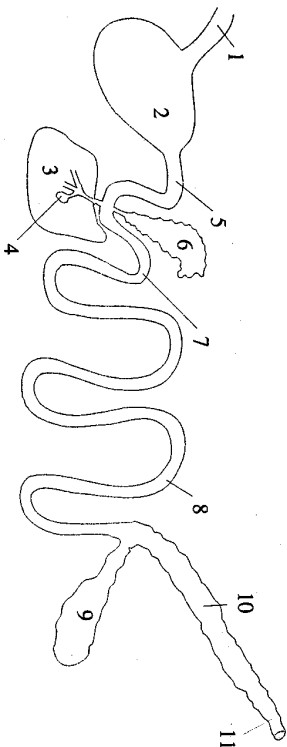
Tak więc w obu przypadkach młody organizm pobiera substancje łatwo przyswajalne, o odpowiednim składzie. Istotną różnicą występuje tylko w zaopatrywaniu w białko. W życiu płodowym do krwioobiegu zarodka przenikają wolne aminokwasy. Z kolei w mleku występuje rozpuszczalne białko — **kazeina**. Specjalnym przystosowaniem młodych ssaków jest wydzielanie **reniny** — enzymu wytrącającego białko mleka z roztworu. Umożliwia to następnie szybkie trawienie kazeiny do aminokwasów.

UKŁAD POKARMOWY SSAKÓW MA BUDOWĘ TYPOWĄ DLA KRĘGOWCÓW

Zmiany są tu związane ze statociepnością, która zmusza do przyjmowania i obróbki dużych ilości pokarmu. Przewód pokarmowy zaczyna się jamą gębową, która oddzielona jest od jamy węchowej wtórnym podniebieniem kostnym (por. Ryc. 173). Umożliwia to niezależne żucie pokarmu i oddychanie.

W jamie gębowej znajduje się heterodontyczne uzębienie i mięsisty język. Chwytanie pokarmu usprawniają też umieszczone **wargi**. Silne mięśnie szczęki dolnej umożliwiają sprawne chwytnie, ciecnie i obróbkę mechaniczną pokarmu. Polykany pokarm (zwlizony wydzieloną ślinianek) trafia do rury przełyku, a stamtąd do żołądka (por. Ryc. 176). Z niego przechodzi do

dwunastnicy, do której uchodzą wydzieliny trzustki i wątroby. Dalsze trawienie oraz wchłanianie odbywają się w jelicie cienkim. W jelicie grubym ma miejsce resorpcja wody i formowanie mas katowych.



Ryc. 176. Schemat budowy układu pokarmowego ssaka (1 — przełyk, 2 — żołądek, 3 — wątroba, 4 — woreczek żółciowy, 5 — dwunastnica, 6 — trzustka, 7 — jelito kręte, 8 — jelito czcze, 9 — jelito ślepe, 10 — jelito grube, 11 — odbytnica).

W miarę rozwoju zębów (początkowo **mlecznych**, później **stałych**) młode ssaki przechodzą na samodzielne odżywanie. Ssaki monofagów w tej gromadzie kręgowców prawie nie ma (np. wspomniana już panda wielka jest wyjątkiem). Większość gatunków może przyjmować różne pokarmy. Spróbujmy jednak podzielić ssaki na grupy o pewnej specjalizacji pokarmowej. Jest to o tyle istotne, że wykazują one różnice w budowie uzębienia, żołądka i jelit. I tak wyróżniamy ssaki: roślinożerne, mięsożerne, wszystkożerne.

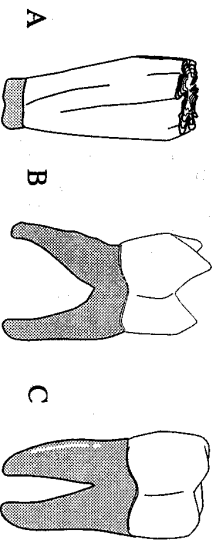
1. Roślinożerne — ich zęby przystosowane są do ciecicia i rozcierania pokarmu trudno przyswajalnego — generalnie zielonych części roślin. Kły nie odgrywają więc istotnej roli, dlatego często zanikają. Modyfikacje uzębienia prowadzą do zmiany podstawowego wzoru zębowego. Przykładowo, u gryzoni uzębienie przedstawia się następująco:

- 2033 (u królika)
- 1023 (u królika)

U roślinożerców przeżuwających może wyglądać tak:

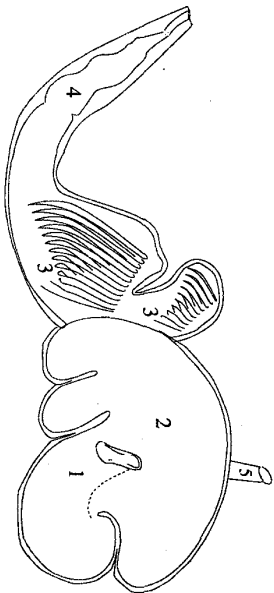
- 0033
- 3133 (u owcy)

Oprócz zmian w liczbie zębów pojawia się tendencja do różnicowania zębów policzkowych. U roślinożerców mają one wysokie korony (**hipsodontyzm**), co związane jest z ich silnym ścieraniem. Ponadto powierzchnia górna szklawa jest odpowiednio uformowana. Przykładowo, u przeżuwających najczęściej tworzą się polkسیczyowate fałdy (**selendontyzm**), a u koniowatych skomplikowane blaszki (**lofodontyzm**, por Ryc. 177 A). Wszystko to ma oczywiście usprawnić rozcieranie pokarmu.



Ryc. 177. Zęby trzonowe ssaków: A — lofodontyczny, B — sekodontyczny, C — bunodontyczny).

Przewód pokarmowy wszystkich roślinożerców jest długi. Nie inaczej sprawa przedstawia się u ssaków. Jednocześnie w grupie tej pojawiły się dodatkowe, unikalne przystosowania do trawienia celulozy. Ośrodek u przeżuwaczy powstał **wielokomorowy żołądek**, w którym trawienie odbywa się głównie na zasadzie symbiotycznej. Taki żołądek zbudowany jest z czterech części: **żwacza, czepca, ksiąg i trawieńca** (por. Ryc. 178). W pierwszych dwóch znajdują się liczne bakterie i orzęski zdolne do trawienia celulozy. Cykl przetrwania jest skomplikowany i pozostaje w kl. III.



Ryc. 178. Żołądek przeżuwacza (1 — żwacza, 2 — czepiec, 3 — księgi z widocznymi fałdami błony śluzowej, 4 — trawieniec, 5 — przekłk).

Kilkukomorowy żołądek występuje także u innych ssaków roślinożernych (np. u kangurów, leniwców) oraz waleni. Te ostatnie potykają pokarm w całości (niekoniecznie roślinny!), stąd potrzeba usprawnienia obróbki wewnętrznej.

U wielu roślinożernych kręgowców na granicy jelita środkowego i tylnego występuje uchyłek — **jelito ślepe**. U zajęcy, koni i zebra osiąga on znaczne rozmiary — w nim bowiem odbywa się trawienie symbiotyczne.

3. **Mięsożerne** — ich zęby przystosowane są do rozrywania i cięcia tkanek zwierzęcych, stąd silny rozwój kłów, które wyraźnie wystają ponad linie zgryzu. Zęby policzkowe mają niższe korony (**brachiodontyzm**) i ostre krawędzie (**sekodontyzm**; por. Ryc. 177 B). Modyfikacje podstawowego wzoru zębowego są mniejsze, ale także występują, np. u lisa zęby są następujące:

3142

3143

U drapieżnych ostatni, górny ząb przedtrzonowy i pierwszy, dolny trzonowy są większe niż pozostałe policzkowe. Nazywamy je łamaczami (zastanów się, dlaczego?). Żołądki mięsożerców są zasadniczo jednokomorowe (homologiczne z trawieńcem przeżuwaczy). Jelita są krótkie i słabo zróżnicowane.

3. **Wszystkożerne** — sposób wykształcenia ich uzębienia jest skutkiem kompromisowej strategii odżywiania. Dlatego zęby policzkowe mają guzki (**bunodontyzm**, por. Ryc. 177 C). Dość skutecznie można nimi żuć i ciąć pokarm. Wzór zębowy ulegał zmianom także u tych gatunków, przykładowo u człowieka przedstawia się następująco: 12C1P2M3. Z kolei u świni nie odbiega od pierwotnego wzorca zębowego wszystkich ssaków.

Układ nerwowy i narządy zmysłów

SSAKI WYKAZUJĄ NAJWYŻSZY POZIOM ORGANIZACJI OUN

Zwierzęta szybko i sprawnie przemieszczające się w środowisku, do tego endotermiczne, muszą posiadać sprawny system nerwowy. Wiesz już, że u ssaków osiąga on bardzo wysoki poziom rozwoju — stąd grupa ta wykazuje największą plastyczność zachowań. Podstawą systemu jest fantastyczny mózg o relatywnie dużej masie. Jego poszczególne części przedstawiają się następująco (por. Ryc. 179):

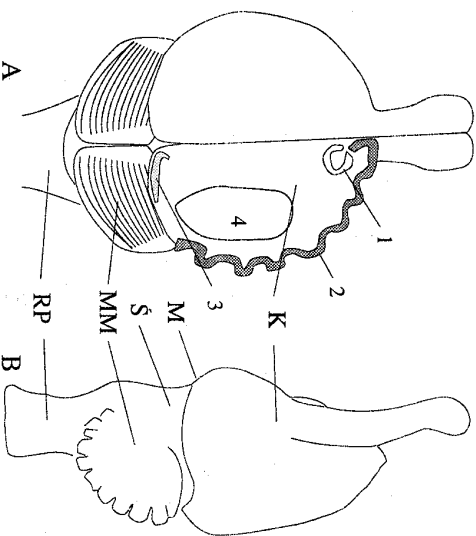
1. **Kresomózgowie** — jest to największa część mózgu. Budują je dwie półkule połączone u tożyskowców spoidłem wielkim. Powierzchnie półkuli zajmują głównie **kora nowa** o budowie sześciowarstwowej (*neocortex*) zawierająca bardzo liczne, miniaturowe neurony. U człowieka zajmuje ona ponad 90% powierzchni kresomózgowia. Dodajmy jeszcze, że u większości ssaków powierzchnia półkuli móżdżkowych jest silnie pofałdowana (nieco przypomina to wnętrze orzecha włoskiego). Ukształtowanie piaszcza półkuli pozwala wyróżnić tzw. **platy kresomózgowia**: czołowy, ciemieniowy, potyliczny i skroniowy. Umożliwiają one specjalizację w obrębie półkuli. Generalnie, np. płat skroniowy odpowiedzialny jest za słuch i pamięć, potyliczny za wzrok, ciemieniowy za czucie kontaktowe, a czołowy za „myślenie”. Kresomózgowie pełni więc nadzręczną rolę w mózgu ssaków (niezależnie od węchowej). Silny rozwój czynności nerwowych możliwy był dzięki wzrostowi objętości mózgu i miniaturyzacji neuronów w korze. Jest to odmienna strategia niż u płatków i gadów, ale możliwa, ponieważ grube kości móżgoczaszki dodatkowo chronią mózg. Rozwijające się półkule kresomózgowia całkowicie nakrywają między- i śródmózgowie, stąd całkowita zatarta linowego ułożenia części. Kora stara u tożyskowców wyraźnie traci na znaczeniu — jej resztki znajdują się na przyśrodkowej powierzchni podstawy mózgu.

2. **Międzymózgowie** — u ssaków jest małe i niewidoczne od góry. Szyszynka ukryta jest między półkulami kresomózgowia.

3. **Śródmózgowie** — jest to najmniejsza część mózgu ssaków, która wyraźnie straciła na znaczeniu. Wiąże się to z przejmowaniem przez ośrodkki płata potylicznego kresomózgowia funkcji analizatora wzrokowego.

4. **Móżdżek** — u ssaków jest duży, silnie pobrużdżony i stanowi drugą co do wielkości część mózgu. Dzieli się go na dwie półkule, które łączą ze sobą tzw. robak. Powierzchnię mózdzku pokrywa dobrze wykształcona, twardszawa kora mózdzku. Tak wysoki stopień rozwoju tej części mózgowia związany jest ze skomplikowaną i bardzo sprawną lokomocją ssaków.

5. **Rdzeń przedłużony** — jest normalnie rozwinięty, posiada charakterystyczne dla owodniowców wygięcia. Od góry jest słabo (albo wcale) widoczny, gdyż przykrywa go mózdzek. Z mózgu ssaków wychodzi **12 par nerwów czaszkowych**.



Ryc. 179. Mózgowie ssaków — widok z góry (A) i z boku (B): K — kresomózgowie, M — międzymózgowie, S — śródmózgowie, MM — mózdzek, RP — rdzeń przedłużony. Prawą półkulę przecięto dla pokazania lokalizacji substancji szarej (1 — kora stara, 2 — kora nowa, 3 — kora dawna, 4 — jądra podstawy).

NARZĄDY ZMYŚŁÓW SSAKÓW SĄ DOBRZE ROZWINIĘTE

Nie dziwi Cię to zupełnie — i słusznie. Nie wdając się w zawile komentarze, przejdźmy od razu do rzeczy:

1. **Narząd węchu** — większość ssaków to zwierzęta makrosmatyczne. Wielkość nabłonka węchowego w jamie węchowej i ilość komórek wrażliwych należą do największych wśród zwierząt. Do **mikrosmatycznych** należą tylko wyższe naczelnice, pletwonogice i walenie fiszbinowe. Ciekawostką są walenie zębowe, nazywane ssakami **anosmatycznymi**, gdyż nie mają wcale nabłonka węchowego;
2. **Narząd wzroku** — jest dobrze rozwinięty, chociaż nie tak jak u ptaków. U niektórych gatunków podziemnych oczy mogą być zredukowane całkowicie. Najlepszy wzrok mają naczelnice, co ma związek z nadrzewnym trybem życia. U tych zwierząt oczy przesunęły się na przednią stronę głowy, przez co pola widzenia oczu mocno zachodzą na siebie. Widzenie binokularne pozwala im na lepszą ocenę przestrzenną odbieranych obrazów (czasem nazywa się to stereoskopią). U większości ssaków oczy osłonięte są trzema powiekami (górną i dolną oraz przezroczystą mgokłą). Soczewka jest „klasycznie” dwuwypukła i jedynie u gatunków wodnych przycymuje kształt kulisty. Akomodacja odbywa się przez zmianę kształtu soczewki. Nocne ssaki, np. niektóre drapieżniki mają dodatkową warstwę barwnikową w naczyniówce. Odbija ona światło i pozwala na lepsze widzenie nocą. My rozpoznajemy obecność takiej warstwy po tym, że oczy tych zwierząt „świecą” w nocy;
3. **Narząd równoważno-słuchowy** — u ssaków jest dobrze rozwinięty. W narządzie słuchu funkcjonują wspomniane już: małżowina i kostki słuchowe. Zwraca też uwagę duże skrócenie ślimaka. Narząd równowagi jest konwencjonalny — taki jak u innych owodniowców. Wśród ssaków spotyka się rekordzistów w zakresie odbioru wrażeń słuchowych (wspominano już o tym wcześniej). W związku z dobrym słuchem u ssaków (tak jak u ptaków) rozwinięła się komunikacja przy pomocy dźwięków. Wydawanie ich związane jest ze specjalną budową krtani górnej, umieszczonej nad tchawicą, a więc inaczej niż u ptaków;
4. **Narząd smaku** — narząd smaku jest dobrze rozwinięty u wszystkich ssaków. Tworzą go kubki smakowe zebrane w tzw. brodawkach smakowych na języku i błonie śluzowej jamy gębowej.

Znaczenie ssaków

Grupa ta nie jest zbyt liczna, ale współcześnie dominuje wśród dużych zwierząt. Ssaki dzięki wspólniejszej konstytucji biologicznej opanowały wszystkie typy środowisk. Funkcjonują w nich na wszystkich poziomach konsumentów i są bardzo ważnymi składnikami biocenozy. Ssaki roślinożerne największą rolę odgrywają w ekosystemach trawiających, na pustyniach i w okolicach podbiegunowych. Drapieżniki można spotkać wszędzie.

GOSPODARCZE ZNACZENIE SSAKÓW JEST BARDZO DUŻE

Opisywanie roli ssaków w gospodarce człowieka zwiększyłoby objętość tego rozdziału kilkakrotnie. Żeby więc Cię nie nudzić przedstawiono je w punktach:

1. Zwierzęta udomowione, np. bydło, trzoda chlewna, owce, służą jako źródło mięsa, mleka, skór. Inne, takie jak pies i kot są towarzysznymi zwierzętami. Do pracy wykorzystuje się konie, wielbłądy, woły. Lokalnie, niecałkiem udomowione jaki (w Tybecie) i słonie (w Indiach);
2. Ssaki łowne są źródłem mięsa i skór;
3. Hodowle zwierząt futerkowych dostarczają poszukiwanych futer naturalnych (pytanie, czy jest to proceder moralny?);
4. Wiele ssaków służy także do testów laboratoryjnych. To także budzi kontrowersje, ale czasem po prostu nie ma innego wyjścia, np. przetestowanie nowego leku;

5. Niektóre gryzonię, np. szczury, myszy, chomiki, karczowniki są przy czyną bardzo poważnych szkód w rolnictwie. Co gorsza przenoszą także niektóre choroby (por. ROZDZ. 12);
6. Wśród ssaków jest też wielu naturalnych sprzymierzeńców człowieka. Należą do nich m.in. ssaki owadożerne i nietoperze, ograniczające populacje owadów szkodliwych.

Temple ssaków i zmiana warunków środowiskowych doprowadziły do znacznego przeobrażenia wielu gatunków. Sład regulacje prawne zmierzające do ich ochrony. W Polsce chroni się m.in. wszystkie jeże, kreta (ale poza ogródkami), ryjówkowate, susły, bobry, nietoperze, niedźwiedzia brunatnego, zająca białego, łasicę, gronostaja, kozioła i żbika.

PODSUMOWANIE

Do najbardziej charakterystycznych cech tej grupy należałoby zaliczyć:

1. Pokrycie ciała włosami, umożliwiające stworzenie lekkiej i skutecznej warstwy termooizolacyjnej;
2. Posiadanie licznych gruczołów w skórze (najważniejszymi z nich są gruczoły potowe);
3. Oddychanie wyjątkowo powietrzem atmosferycznym (narządem wymiany gazowej są pęcherzykowane płuca o dużej powierzchni czynnej);
4. Posiadanie miesięsto-ścięgienistej przepony, zwiększającej sprawność tłoczni Klatki piersiowej w czasie oddychania;
5. **Statoceplność**: Z niewielkimi wyjątkami ssaki należy uznać za zwierzęta endotermiczne. Ich średnia temperatura jest zwykle nieco niższa niż u ptaków;
6. **Dwuobiegowy układ krążenia**, z sercem całkowicie podzielonym na część lewą i prawą (tak jak u ptaków). Zachowuje się tylko **lewy łuk aorty**;
7. Posiadanie bezładziastych erytrocytów — zwiększa to sprawność transportowania tlenu;
8. **Heterodontyzm** — z nielicznymi wyjątkami uzębienie ssaków różnicowane jest na: kły, siekacze, przedtrzonowe, trzonowe. Uwagę zwraca też difiodontyzm — dwa pokolenia zębów: mleczne i stałe. Do tego istnieją różne drobne modyfikacje zębów policzekowych. W ten sposób powstaje najskrajniejszy aparat pobierania pokarmu;
9. Mocną żuchwę, zbudowaną tylko z jednej kości;
10. Posiadanie unikalnego stawu żuchwowego — tworzą go gałąź kości żuchwowej i łuska kości skroniowej;
11. Obecność trzech kostek słuchowych w uchu środkowym: młoteczka, kowadełka i strzemiączka. Sprawność układu słuchu wzmagają fałd skóry — **małżowina uszna**;
12. Dużą mózgową część z dwoma kłykcami potylicznymi (kłykcie odziedziczone są jeszcze po prymitywnych kotylozaurach);
13. Redukcję kości kruszej w obręczy barkowej (wyjątek — stekowce);
14. Prawie stałą (7) liczbę kręgów szyjnych, także odziedziczoną po gadziach przodkach;
15. Żyworodność i osobne ujście drog moczowo-płciowych oraz pokarmowych (znowu wyjątkiem są stekowce). Oczywiście wszystkie ssaki są owodniowcami;

16. Obecność **gruczołów mlecznych**, których wydzieliną — **mlekiem**, odżywiają się młode ssaki;

17. Wysoki poziom rozwoju OUN — szczególnie zaś kresomózgowia i pokrywającej go kory nowej. Doskonale wykształcony mózdzek, stąd też w tej grupie osiągnięty został najwyższy poziom czynności nerwowych. Zapewniło to bardzo dużą plastyczność zachowań. Ssaki (w większości) mają skomplikowaną lokomocję, opartą na przeciwstawności zgięciowej, całkowitym podciągnięciu kończyn pod ciało (wyjątek, a jakże, stanowią stekowce).

Pytania i polecenia kontrolne:

1. Omów typowe cechy ssaków.
2. Wykaż, że skóra ssaków jest organem wielofunkcyjnym.
3. Omów modyfikacje kończyn tylnych ssaków.
4. Przedstaw schematycznie i opisz budowę układu pokarmowego ssaków.
5. Jak ssaki przystosowały się do pobierania i trawienia pokarmu roślinnego?
6. Jak zbudowane jest kresomózgowie ssaków? Jakie ośrodki są w nim zlokalizowane?
7. Omów budowę i funkcje narządu równoważno-słuchowego ssaków.
8. Przedstaw schematycznie i opisz budowę układu wydalniczego ssaków?
9. Jakie są biologiczne konsekwencje zjawiska żyworodności?
10. Jakie cechy budowy i fizjologii umożliwiły ssakom opanowanie różnych środowisk?
- *11. Na wybranych przykładach wykaż związek typu użębienia z rodzajem pobieranego pokarmu.
- *12. Wykaż w budowie układu oddechowego ssaków przystosowania do sprawnej wymiany gazowej.
- *13. Sprobnij wyjaśnić, dlaczego brak jądra komórkowego w erytrocytach zwiększa ich sprawność transportową?
- *14. Wykaż podobieństwa i różnice w budowie i fizjologii układu krążenia gadów i ssaków.
- *15. Uzasadnij, że ssaki prezentują najwyższy poziom organizacji OUN.
- *16. Wykaż związek budowy z funkcją na przykładzie układu krwionośnego ssaków?

Tematy rozprawek podsumowujących wiadomości o strunowcach

1. Wykaż, że radiacja adaptacyjna jest jedną z prawidłowości ewolucyjnych strunowców.
2. Wskaż filogenetyczne powiązania strunowców.
3. Jakie konsekwencje wynikają z opanowania przez ssaki różnych środowisk i siedlisk?
4. Jak środowisko wyznacza sposób rozmnażania i rozwoju kręgowców?
5. Błony płodowe — geneza, rola i znaczenie w życiu organizmów.
6. Wykaż nadrzędną rolę układu nerwowego w prawidłowym funkcjonowaniu organizmu.
7. Jak strunowce przystosowały się do sprawnej wymiany gazowej w różnych środowiskach?
8. Omów anatomiczno-fizjologiczne uwarunkowania statocelności.

29. Podstawy ekologii

Ekologia (od greckiego słowa *oikos* — dom albo miejsce życia) jest nauką zajmującą się wzajemnymi zależnościami pomiędzy żywymi organizmami, a ich środowiskiem. Scislej mówiąc nauka ta bada korelacje między organizmami lub ich grupami oraz między nimi a ich środowiskiem życia. W badaniach szczegółowych wyróżnia się **autekologię** — zajmującą się poszczególnymi populacjami lub gatunkami, np. rybia albo jarzabu szwedzkiego oraz **synekologię**, która bada grupy organizmów tworzących pewne całości, np. nadmorski bór bażynowy. Według innych kryteriów wyróżnia się ekologię środowisk lądowych, wód słodkich oraz oceanów.

Sam termin **ekologia** zrobił w ostatnich latach zawrotną karierę i prawdopodobnie każdy uczeń w Polsce słyszał już to słowo wielokrotnie. To dobrze, chociaż pojęcie to jest dzisiaj wyrażenie nadużywane. Na rynku pojawia się duża ilość produktów reklamowanych jako ekologiczne, wiele firm chwali się ekologicznymi instalacjami produkcyjnymi, nawet partie polityczne mają „specjalne” programy ekologicznego rozwoju. Nieporozumienie polega na tym, że dla większości ludzi ekologia i ochrona środowiska to jedno. W rzeczywistości zaś podstawami ochrony przyrody i jej zasobów zajmuje się odrębna dyscyplina wiedzy — **sozologia**. Poza tym „ekologiczność” **większości** poczynań naszej cywilizacji jest wątpliwa. Tym niemniej nagłaśnianie problemów środowiska naturalnego wywołuje pozytywne zmiany światopoglądowe nawet w skali globalnej. Przykładem jest wielka akcja organizacji Green Peace przeciwko próbom atomowym Francji na Atolu Mururoa. Wybuchy przepowiedzono, ale cała sprawa uświadomiła milionom ludzi ogrom niebezpieczeństwa, a nawet wywołała oficjalne protesty niektórych rządów.

W tej części podręcznika mamy zająć się się podstawowymi zagadnieniami ekologicznymi. Na początek spójrzmy na uproszczony szereg przedstawiający wzrastające poziomy złożoności układów biologicznych:

cząstka nukleoproteidowa → organellum → komórka → narząd → organizm → **populacja** → **biocenoza** → ekosystem → biosfera

Podkreślono na nim te, którymi zajmuje się ekologia. Jak widać jest ona nauką ponadorganizmalną i nie zajmuje się procesami zachodzącymi w pojedynczych osobnikach.

PODSTAWOWYM UKŁADEM EKOLOGICZNYM JEST POPULACJA

Jedną **populację** tworzy ogół osobników danego gatunku zamieszkujących dany teren. Sformułowanie to jest bardzo proste, ale łatwo zauważyć jego ogólnikowość. Przede wszystkim dany teren może stanowić pojedyncze akwarium w Twoim gabinecie biologicznym albo cały kontynent. Nie możemy jednak wątpliwości i na razie poprzestaniemy na tym, że każda populacja jest jednogatunkowym zbiorem osobników, a jednocześnie zachodzi nie jest prostą sumą elementów składowych, czyli organizmów ją tworzących. Wynika to ze złożonych zależności międzyosobniczych i środowiskowych, które powodują wykształcanie charakterystycznych dla danej populacji cech takich jak, np. rozmieszczenie czy struktura wiekowa (poznasz je później).

POPULACJE TWORZĄ BIOCENOZY

Jedną **biocenoza** to ogół populacji żyjących na określonym terenie. Tak jak populacja nie jest prostą sumą osobników, tak biocenoza ma swoje cechy wynikające z wielorakich zależności

między populacjami. Za biocenozę można uznać, np. łąkę albo jezioro, a ściślej mówiąc ich biologiczne składniki.

BIOCENOZA WRAZ ZE ŚRODOWISKIEM ABIOTYCZNYM TWORZA EKOSYSTEM

Ekosystem jest kompletną jednostką ekologiczną, która obejmuje wszystkie żywe organizmy na danym terenie (a więc biocenozę) oraz ich środowisko nieożywione (abiotyczne). W ekosystemie łąceją się bardzo skomplikowane zależności wynikające z przepływu energii i krążenia materii. Prowadzą one do powstania charakterystycznej struktury troficznej i zróżnicowania biologicznego. Łąkę, czy środowisko jezioro trudno porównywać z oceanem. Wszystkie te twory są jednak przykładami ekosystemów.

UWAGA: Zapewne zauważyłeś, że w tym kontekście określenie takie jak, np. jezioro, brzmi niejednoznacznie. Dla uniknięcia nieporozumień lepiej więc używać pełniejszych sformułowań. W tym przypadku biocenoza jeziora albo ekosystem jeziora, zależnie od tego jaki poziom organizacji mamy na myśli.

EKOSYSTEMY TWORZA BIOM

Biom jest jednostką ekologiczną najwyzszego rzędu, na którą składają się całe zespoły ekosystemów określonego obszaru geograficznego. Praktycznie zaś tworzą taki jest łatwym do rozpoznania regionem biologicznym o charakterystycznych cechach morfologicznych, wynikających z dominacji określonej formacji roślinnej i charakterystycznej dla niej fauny. Tak więc biomami są, np. tundra, wilgotny las równikowy czy sawanna (zostały one skrótkowo przedstawione w ROZDZ. 31). Wszystkie biomy Ziemi wyznaczają strefę występowania życia, czyli biosferę.

Znajomość procesów zachodzących w pojedynczych ekosystemach, jak i w całej przyrodzie jest niezbędnym warunkiem przewidywania skutków działań gospodarczych człowieka. Umożliwia też podejmowanie racjonalnych decyzji chroniących środowisko naturalne i wspomagających jego resytującą (odtwarzanie). Ekologia nie jest więc sztuką dla sztuki, ale dyscypliną naukową, która integruje działania na rzecz naszej przyrody. Wiele uczniów nie lubi ekologii i uważa ją za nudny przedmiot. Ci młodzi ludzie zapominają o jednym — nie da się oderwać swoich wspólnot określonej wiedzy o otaczającym świecie, gdyż to umożliwiło im przetrwanie. Wbrew pozorom sytuacja współczesnego człowieka jest trudniejsza. Musi on wiedzieć więcej, ponieważ znacznie silniej wpływa na przyrodę, przede wszystkim niszcząc ją w zastraszającym tempie.

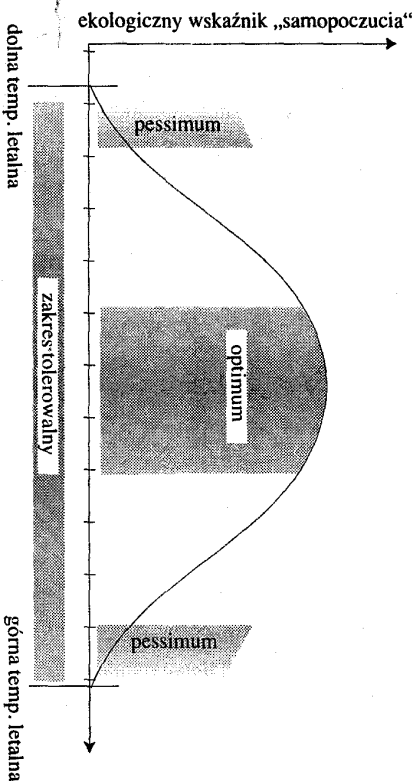
29. 1. Osobniki i gatunki w układach ekologicznych

KAZDY OSOBNIK FUNKCJONUJE W OBRĘBIE UKŁADU WYSZEZEGO RZĘDU

Możliwość realizowania czynności życiowych organizmu zależy od jego wymagań życiowych i od warunków panujących w danym środowisku. W zależności od tego, jaki to będzie organizm, jego wymagania będą miały cechy swoiste. Posłużmy się teraz pewnym przykładem. Dla przeciętnego, odpoczywającego i lekko ubranego człowieka temperatura otoczenia wynosząca 22—24°C oznacza minimalne wydatki energetyczne na utrzymanie procesów życiowych (por. Ryc. 180 i 181). Można powiedzieć, że jest to najkorzystniejszy zakres temperatury, czyli optimum termiczne albo inaczej strefa komfortu termicznego. Obniżenie ciepłoty otoczenia do ok.

18°C lub podniesienie do ok. 28°C wywoła niewielką reakcję korekcyjną organizmu. Ponieważ jest to strefa tolerowalna, poza wrażeniem chłodu lub gorąca, badana osoba nie powinna odczuć żadnych ograniczeń. Dalszy spadek do ok. 10°C albo wzrost do ok. 34°C utrudni np. naukę, czytanie lub zapamiętywanie, ale nie zagrazi podstawowym czynnościom życiowym. Nadal więc pozostajemy w strefie tolerowalnej przez organizm. Dopiero spadek do ok. 0°C lub wzrost do ok. 45°C w dłuższym czasie spowoduje wyziębienie albo przegrzanie, które doprowadzą do śmierci. W tej konkretnej sytuacji można przyjąć, że:

1. Zakres temperatur życiowych, w których może żyć człowiek, wynosi od 0°C do 45°C. Inaczej mówiąc, jest to nasz zakres tolerancji ekologicznej na temperaturę. Wynika on z określonych zdolności adaptacji do zmieniających się temperatur (por. Ryc. 180);
2. Temperatura ok. 0°C jest dolną granicą tolerancji czynnika (minimum życiowe). Poniżej tej wartości temperatury są letalne (następuje śmierć);



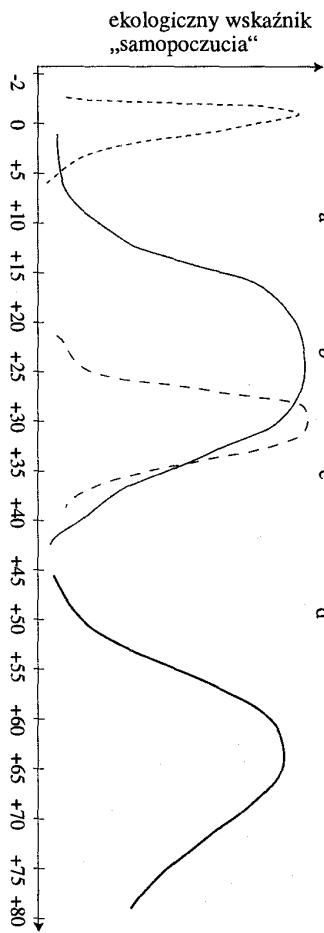
Ryc. 180. Średni zakres tolerancji ekologicznej przeciętnego organizmu z uwzględnieniem najważniejszych pojęć.

3. Temperatura ok. 45°C wyznacza górną granicę tolerancji czynnika (maksimum życiowe). Powyżej tej wartości temperatury są letalne (następuje śmierć);
4. Przedział 22—24°C wyznacza optimum termiczne;
5. Zmiana warunków w stronę bardziej niekorzystnych oznacza coraz większe ograniczenia czynności życiowych. Zakresy zbliżone do minimum nazywamy pessimami życiowymi.

Inny organizm może mieć odmienne zakresy tolerancji na zmiany temperatur środowiskowych. Dość skrajnym przykładem jest antarktyczna ryba *Trematomus bernacchi*. Jej tolerancja ekologiczna wynosi raptem ok. 4°C. Najdziwniejsze jest jednak to, że przedział ten rozciąga się od -1,8°C do +2°C. Normalna temperatura wody w tych okolicach wynosi właśnie ok. -1,8°C. Jeśli ją podniesiemy do 0°C, wspomnianie ryby zaczynają wykazywać nadmierny poziom metabolizmu. W temperaturze +2°C przestają się nawet ruszać, ponieważ znajdują się w górnym pessimum termicznym, w stanie szoku cieplnego. Dalsze podnoszenie temperatury wody do ok. 4—5°C powoduje śmierć z przegrzania.

Dość znaczne wymagania termiczne ma większość gadów, np. dla żółwi słoniowych temperatura minimalna wynosi ok. 21°C. Jednak rekordzistą wśród *Eucaryota* jest prawdopodobnie

niewielki skorpioniak z rodzaju *Triops* żyjący w Sudanie. W porze suchej jego jaja zagrożone są w wyschniętym mulle o temperaturze dochodzącej do $+80^{\circ}\text{C}$. Obniżenie jej do ok. 50°C spowoduje, że zarodki nie będą się rozwijały. Przedstawione przykłady dowodzą, jak różne mogą być wymagania względem danego czynnika środowiskowego. Tym niemniej pamiętajmy, że większość organizmów glinie już w temperaturach niezbędnych skrajnych.



Ryc. 181. Przykłady zakresu tolerancji względem temperatury (a — *Trematomus*, b — człowiek, c — *Triops*, d — żółw słonowy). Opis w tekście.

ZAKRESY TOLERANCJI SĄ RÓŻNE

Przedstawione przykłady tolerancji (albo inaczej, skali ekologicznej) zebrano na wspólnym wykresie (por. Ryc. 181). Widać na nim istotne różnice. Przede wszystkim człowiek ma znacznie szerszy zakres tolerancji — zaliczymy go do gatunków **eurytermicznych** (eury — szeroki). Jeszcze szerszą tolerancję mają np. tygrysy (naturalne występowanie tych drapieżników rozciąga się od Indochin do Mandżurii), puma (pierwotnie występowała od Alaski do Patagonii), zmięta zygakowata (południowa Europa aż za koło podbiegunowe), a nawet paproć orlica (rośnie od Półwyspu Skandynawskiego do Afryki równikowej). *Trematomus*, *Triops* i koral madeporowy mają dość wąskie zakresy tolerancji cieplnej — zaliczamy je więc do organizmów **stenotermicznych** (steno — wąski). Różnica polega na tym, że mają odmienne optima termiczne, dlatego *Trematomus* jest zwierzęciem oligotermicznym (zimnolubnym, ściślej oligostenotermicznym), a *Triops* i żółw słonowy politermicznymi (ciepłolubnymi, ściślej polistenotermicznymi). Organizmów mających wąskie zakresy tolerancji termicznej i preferujących niskie temperatury jest więcej, np. ryby głębinowe, kergulea (ryba znana wielu ze stółu), zając bielak, pingwiny oraz szereg ssaków pletwonogich. Jednak najlepsze warunki rozwoju organizmów panują w strefach ciepłych i tam występuje większość roślin i zwierząt politermicznych. Można do nich zaliczyć np. słone, mały Nowego Świata, goryle, z roślin zaś palmy kokosowe czy banany.

TOLERANCJĘ EKOLOGICZNĄ MOŻNA WYZNACZAĆ DLA RÓŻNYCH CZYNNIKÓW ŚRODOWISKOWYCH

Przed wszystkim zaś dla silnie działających takich jak, np. temperatura, zasolenie, światło, wilgotność czy kwasowość. Jak wiesz stopień zasolenia wody wpływa na gospodarę wodno-mineralną zwierząt i roślin. Niektóre gatunki występują w wodach pełnosłonych (ok. 35‰), inne w słodkich lub słonawych, jedynie nieliczne mogą bytować w wodzie, nie zważając na stężenie rozpuszczonych w niej chlorków. Te zwierzęta, które mają wąski zakres tolerancji względem

zasolenia, nazywamy **stenohalnymi**. Do form tolerujących jedynie zasolenie oceanów należą wiele gatunków zwierząt, czasem są to wręcz całe ich grupy, np. głowonogi, szkarłupnie, ostionice i bezczaszkwowce oraz wiele gatunków z pozostałych. Natomiast szeroki zakres tolerancji na zasolenie mają tylko nieliczne rośliny, np. morszczyk — brunatnica, występująca w Bałtyku i M. Północnym. Również zwierząt o podobnych możliwościach jest niewiele, wymienimy więc krązkopławy, np. chębnię oraz małże, np. omulka i ryby dwuśrodowiskowe, np. węgorza.

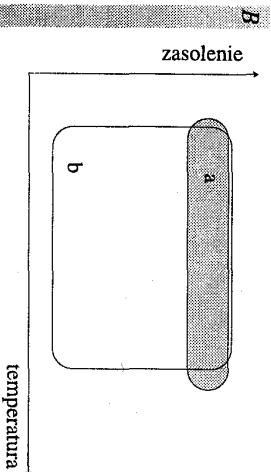
Dla roślin jednym z najważniejszych czynników środowiskowych jest światło. Nie dziwi więc także, że gatunki zamieszkujące gorące, odsonnione przestrzenie będą miały wysokie wymagania świetlne i nie będą tolerowały ocienienia. Rośliny te tworzą grupę ekologiczną określaną jako **światłoządne** (heliofilny bezwzględny), np. kaktusy, agawy, kukurydza, proso. Z drugiej strony są takie gatunki, które żyją wyłącznie w cieniu okapu drzew i nie znoszą pełnego oświetlenia. Nazywamy je roślinami **ciemnolubnymi**, czyli skiofitami. Do tej grupy zaliczamy m.in. większość mszaków, paprotników, a z roślin okrytozalążkowych np. salatanika leśnego. Jednak najważniejszą jest roślin o przeciwnych wymaganiach względem światła, znoszących pełną operację słoneczną, jak i częściowe zacienienie. Tworzą one grupę **światłolubnych** (heliofilów względnych).

Można też przeprowadzić podział organizmów na grupy ekologiczne względem wymagań wodnych. Gatunki o wąskiej tolerancji na zmiany wilgotności siedliska nazywane są **stenohydrycznymi**. Siłą rzeczy można zaliczyć do nich formy typowo wodne, a z organizmów lądowych, np. puszyste suchorośla albo wodolubnego hipopotama. Do form euryhydrycznych zalicza się m.in. sosnę, świerk, a ze zwierząt łosie i renifery. Jednak, tak jak w przypadku poprzednich czynników, większość gatunków ma przeciętne wymagania wilgotnościowe.

Dużą część organizmów lądowych wykazuje wrażliwość na zmiany pH podłoża. I znów liczne mają dość szeroką tolerancję na ten czynnik. Na przykład zwykła sosna toleruje zakres pH 3—9 i dlatego może rosnąć nawet na zakwaszonym torfowiskach wysokich i alkalicznych glebach wapiennych. Wąski i ogólne niski zakres tolerancji względem pH wykazuje większość roślin typowo torfowiskowych, np. welnianka, torfowce, bagno zwyczajne. Sporo drzew liściastych preferuje pH w okolicach neutralnego. Z kolei wapieniolubne: szarotka i dębek osmiopłatkowy wymagają pH 7,5—9. Duże znaczenie medyczne i gospodarcze ma znajomość zakresów tolerancji na zmiany pH różnych bakterii. Okazuje się, że dla większości drobnoustrojów chorobotwórczych i ich żywicieli optimum pH pokrywa się. Warto też wspomnieć, że wiedzę o tolerancji na zmiany odczynu można wykorzystywać do celów praktycznych. Przykładowo niskie pH kwasu octowego konserwuje żywność (marynowanie grzybów itp.). Wysokie stężenie jonów wodorowych jest tu barierą, która uniemożliwia rozwój bakterii gnilnych.

Problem tolerancji jest złożony z kilku powodów. Przede wszystkim zaś dlatego, że:

1. Każdy gatunek tworzą osobniki o nieco różnych wymaganiach i możliwościach adaptacyjnych;
2. Ten sam organizm wykazuje różną tolerancję na różne czynniki. Względem jednego może mieć zakres szeroki, zaś względem drugiego wąski, np. stenochohalne, eurytermiczne ryby takie jak: morszczyk, żarłacz błękitny czy rekin długoszar (por. Ryc. 182);
3. Wymagania życiowe organizmu zmieniają się wraz z wiekiem, np. młode świerki są cieniolubne, natomiast dojrzałe okazy już światłoządne. U wielu owadów (nie jest to reguła) imago jest znacznie bardziej odporne na działanie środków owadobójczych (są dla nich truciźnie tylko w bardzo wysokich stężeniach) niż larwy;

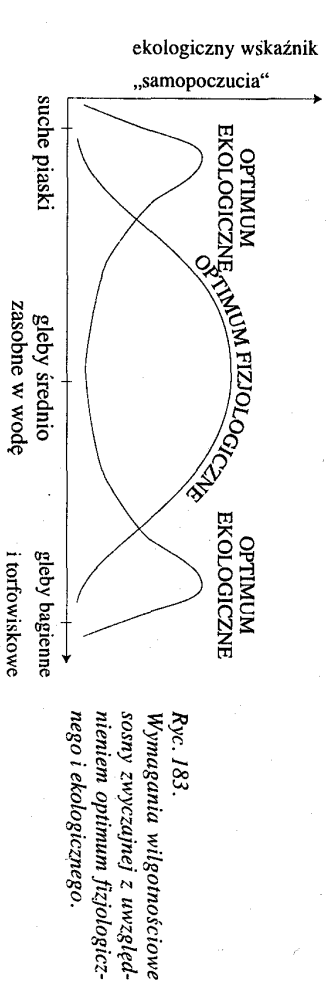


Ryc. 182. Zakres tolerancji ekologicznej na zmiany temperatury i zasolenia: eurytermicznego i stenohalnego żarłacza błękitnego (a) oraz eurytermicznego i euryhalnego lososia (b).

4. Czynniki środowiskowe oddziałują jednocześnie, ale ich efekt nie jest prostą sumą wpływów pojedynczych — nazywamy to zjawisko **synergizmem**. Przykładowo: trawy rosnące na glebach ubogich w azot są mało odporne na przesuszenie, zbyt duże stężenie jonów wodorowych na torfowisku ogranicza zdolność roślin do pobierania soli mineralnych i zaburza ich gospodarkę wodną. W pewnych sytuacjach możliwe jest jednak **kompensovanie** niedoboru jednego czynnika dużą ilością innego, np. rośliny wysokogórskie ograniczane są niskimi temperaturami otoczenia, ale mają do dyspozycji dużą ilość wody i światła.

Interesujących wniosków mogą dostarczyć np. badania sosny zwyczajnej. Jeśli sprawdzimy wymagania wilgotnościowe tego drzewa w warunkach laboratoryjnych, to okażą się one zupełnie przeciętne (por. Ryc. 183). Natomiast w warunkach naturalnych obserwuje się aż dwa optima siedliskowe: suche piaski oraz podmokłe, nieco zabagnione gleby torfowiskowe. W stosunku do wyznaczonego optimum fizjologicznego wygląda to co najmniej dziwnie, ale wyniki te stają się zrozumiałe po uwzględnieniu konkurencji międzygatunkowej. W naszych warunkach klimatycznych, na średnio zasobnych glebach sosna jest wypierana przez gatunki drzew liściastych. Ich skala ekologiczna jest węższa, ale w okolicach optimum wykazują one większą sprawność adaptacyjną. Sosnie pozostają więc siedliska, które są zasadniczo niedostępne dla większości drzew liściastych, tam więc osiąga maksimum ekologiczne.

UWAGA: Dzisiejsza dominacja sosny w lasach Polski jest wyłącznie skutkiem bardzo silnego preferowania tego gatunku przez służby leśne.



Ryc. 183. Wymagania wilgotnościowe sosny zwyczajnej z uwzględnieniem optimum fizjologicznego i ekologicznego.

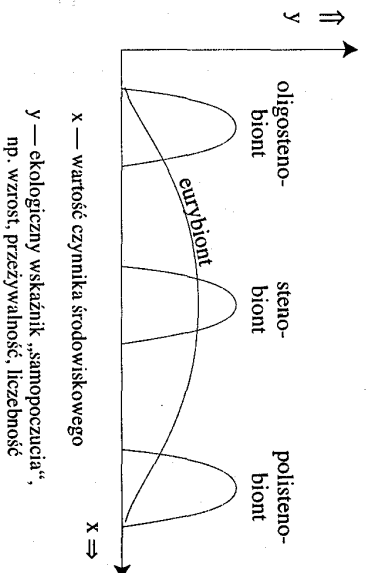
Z przedstawionych przykładów wynika jasno, że pewne czynniki środowiskowe mogą działać negatywnie na organizmy. Prekursorem badań nad tego rodzaju zagadnieniami był Joachim Liebig. Badając wpływ różnych pierwiastków na wzrost roślin badacz ten dostrzegł, że nawet niedobór tylko jednego z nich hamował ich wzrost i czynności życiowe. Dzisiaj wiemy, że każdy czynnik, którego jest najmniej, tzn. który jest w minimum, działa ograniczająco na dany

organizm. Jest to **prawo minimum Liebiga** i można je odnieść z powodzeniem do każdego żywego organizmu. Gdyby zaś sparafazować znane powiedzenie, stwierdziłbyśmy, że: każdy organizm jest tylko tak silny, jak jego najslabsze ogniwo. Przykładem ograniczającego działania niedoboru różnych czynników jest bardzo dużo. Ziemiaki rzymane w ciepłych piwnicach kielkują wiosną bez dostępu światła. Ich wzrost jest jednak ograniczony, łądy są wiotkie i nie ma w nich chlorofilu — mówimy wówczas, że jest to skutek etiologowania, czyli niedoboru światła. Zmniejszenie zawartości tlenu w powietrzu do ok. 17% wywoła u większości ludzi problemy z oddychaniem i zmniejszy ich odporność fizyczną. Jesienne obniżenie temperatury zmusza wszystkie nasze płazy i gady do ograniczenia aktywności życiowej i przejścia w stan letargu zimowego.

Spójrzmy na to z „drugiej strony” skali tolerancji ekologicznej. Wyobraźmy więc sobie, że kielki ziemniaków trzymany w piwnicy oświetlonej bardzo silnym światłem. Skutek będzie taki, że zamiast pobudzić je do rozwoju, spowodujemy uszkodzenia aparatu fotosyntezy i całe fragmety liści zaczną obumierać. Takie zjawisko nazywamy solaryzacją — czynnikiem ograniczającym jest tu nadmiar światła. W pewnym sensie, w podobnej sytuacji znajdźcie się człowiek umieszczony w atmosferze czysto tlenowej (szczególnie, jeśli podnieśmy jeszcze nieco ciśnienie). Najgłówniej mówiąc, będzie miał kłopoty z oddychaniem i może stracić przytomność. Domyśliłeś się już na pewno, że zmierzamy do wykazania szkodliwego (ściślej ograniczającego) wpływu nadmiaru czynników środowiskowych, np. CO₂, zasolenia, temperatury, a nawet wilgotności.

Limitujący wpływ zarówno niedoboru jak i nadmiaru różnych czynników po raz pierwszy wykazał V. E. Shelford na początku naszego stulecia. Dzisiaj koncepcja ta nazywana jest **prawem tolerancji Shelforda**.

Generalnie organizmy, które wykazują szeroką skalę ekologiczną wobec wikszości czynników środowiskowych nazywamy **eurybiontami** (por. Ryc. 184), a gatunki o wąskim zakresie tolerancji — **stenobiontami**. Należy odczekiwac, że formy eurybiotyczne będą mniej podatne na działanie czynników ograniczających, dlatego ich rozprzestrzenienie na kuli ziemskiej będzie znacznie szersze niż stenobiontów. Te ostatnie często, choć nie zawsze, występują na ograniczonych obszarach (por. ROZDZ.31).



Ryc. 184. Uogólnione zakresy tolerancji eurybiontów i stenobiontów. Niektóre gatunki o wąskiej skali ekologicznej nazywamy wskaźnikowymi, ponieważ są one pomocne w bioindykacji. Przykładowo porosty są bardzo wrażliwe na zanieczyszczenia atmosferyczne, m.in. związkami siarki, azotu. Największy zakres tolerancji, praktycznie zaś największą wrażliwość, wykazują gatunki o plechach krzaczkowatych, najmniejszą zaś o plechach skorupiastrych. Jeśli więc biolog analizuje skład gatunkowy i stosunki ilościowe porostów danego obszaru, będzie mógł szybko i tania określić względny stopień skażeń środowiska. Do analiz zanieczyszczeń wód wykorzystuje się m.in. glony z rodzaju *Chlorella*, skorupiakarozwielitkę (*Daphnia*) i rośliny wyższe, np. pakę wąskolistną.

O dobrym bilansie tlenowym i braku zanieczyszczeń informuje obecność gatunków ksenosaprobicznych, np. psitraga potokowego (por. klasy czystości rzek w Polsce). Z kolei obecność liczących larw owadów z rodziny ochotkowatych i eugleny świadczy o złym bilansie tlenowym i silnych zanieczyszczeniach zbiornika wodnego.

FUNKCJE DANEGO ORGANIZMU W ŚRODOWISKU OKREŚLA NISZA EKOLOGICZNA

Mając niewiele czasu i miejsca, bardzo trudno wyjaśnić czym jest nisza ekologiczna. Posłużmy się więc pewnymi analogiami i zacznijmy od próby postawienia takich pytań, które ułatwią nam pełny opis osobnika lub gatunku w jego otoczeniu:

1. Gdzie konkretnie dany organizm żyje? To tak, jak gdyby zapytać kogoś o jego adres. W ujęciu geograficznym jest to pewien punkt lub obszar przestrzeni, gdzie możemy go napotkać. To jest **stanowisko**, czyli miejsce występowania;
2. W jakich warunkach żyje? Jest to pytanie, jak wygląda jego dom lub ulica? W ujęciu biologicznym, zespół abiotycznych warunków przyrodniczych, w jakich żyje dany organizm to jego **siedlisko**;
3. Jakie warunki środowiska potrafi wykorzystać i jaką pełni w nim rolę? W przybliżeniu to tak jak gdyby zapytać kogoś o jego zawód. W rzeczywistości każdy organizm, wypełniając określoną niszę ekologiczną, zajmuje jakąś przestrzeń fizyczną, wpływa na siedlisko, zajmując pewną pozycję troficzną i pozostaje w zależnościach z innymi organizmami. Nisza jest więc złożonym pojęciem strukturalno-funkcjonalnym. Kiedyś pisano, że nisza ekologiczna to ogół wymagane danego organizmu. Jest to sformułowanie mylące, ponieważ sugeruje, że niszę tworzy wyłącznie sam organizm. W rzeczywistości konkretny osobnik lub szerzej gatunek zajmuje daną niszę. W takich skomplikowanych sytuacjach najlepiej posłużyć się obrazowym przykładem. Chyba najlepszym będą tu słynne **złoty Darwina**, z archipelagu Galapagos. Są to blisko spokrewnione gatunki o podobnym wyglądzie, rozmiarach, miejscach występowania obyczajach godowych i wielu innych cechach. Zajmują jednak odmienne nisze ekologiczne, ponieważ mają odmienne wymagania pokarmowe (można to łatwo wykazać, analizując kształty ich dziobów).

Najprawdopodobniej najlepszą, chociaż i tak trudną definicję niszy ekologicznej podał w 1957 r. G. Hutchinson. Wg niego jest to wielowymiarowa przestrzeń, w obrębie której środowisko umożliwia osobnikowi lub gatunkowi utrzymanie się przy życiu.

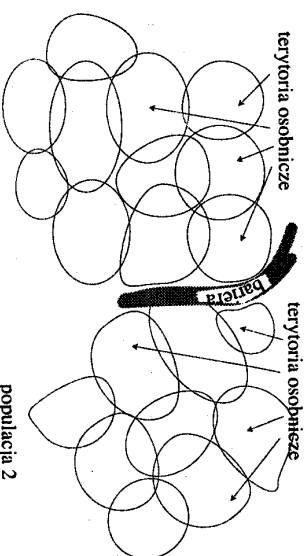
29. 2. Populacja

Jak już wspomniiano populację tworzą wszystkie osobniki jednego gatunku, żyjące na określonym terenie i powiązane wzajemnymi zależnościami. Takie ujęcie powoduje, że np. populacje będą stanowały wszystkie panofelki w jednym, szkolnym akwarium, jak i wszystkie wróble Europy. Naukowo przyjmuje się, że między osobnikami jednej populacji istnieje możliwość wymiany informacji genetycznej. Praktycznie oznacza to teoretyczną możliwość krzyżowania się osobników danej populacji. W tym momencie pojawia się kłopotliwe pytanie — jak może spaść się ze sobą para wróbli, gdy jeden jest z Madrytu, a drugi z okolic Gdańska? Faktycznie nie jest to prawdopodobne. Założymy jednak, że każdy z nich miałby potomstwo z „sąsiadami” zamieszkującymi nieco bliżej. I tak po kilkunastu pokoleniach potomkowie wróbla z Gdańska mogliby skrzyżować się z potomkami wróbla z Madrytu. Doszłoby wówczas do wymieszania ich informacji genetycznej. W innym ujęciu można powiedzieć, że osobniki populacji europejskiej wróbla nie są od siebie izolowane genetycznie.

Czy można więc wskazać własne, wyrażane cechy populacji? Tak, o ile posłużymy się tzw. parametrami grupowymi. Do najważniejszych należałoby zaliczyć:

1. **Strukturę przestrzenną;**
2. **Wewnątrz- i zewnątrzpopulacyjne mechanizmy regulacji liczebności;**
3. **Typ krzywej przeżywania;**
4. **Strukturę wiekową i płciową.**

Zacznijmy od analizy **struktury przestrzennej**. Jak doskonale wiemy, populację tworzą osobniki. Często zajmują one pewną powierzchnię, której stałe bądź okresowo aktywnie bronią. Są to **terytoria osobnicze** — rewiry. Ich wielkość i kształt zależą od właściwości biologicznych gatunku, ukształtowania powierzchni środowiska, warunków klimatycznych i wielu innych czynników. Część rewirów może nakładać się na siebie, co zwykle wynika z ograniczonej pojemności środowiska. Jeśli jednak odpowiednio zsuniemy powierzchnię rewirów, to otrzymamy areal przestrzennej populacji (por. Ryc. 185). Z kolei arealy wszystkich populacji tego samego organizmu wyznaczają granice obszaru zajmowanego przez gatunek i nazywane są **zasięgiem** (por. ROZDZ. 31).

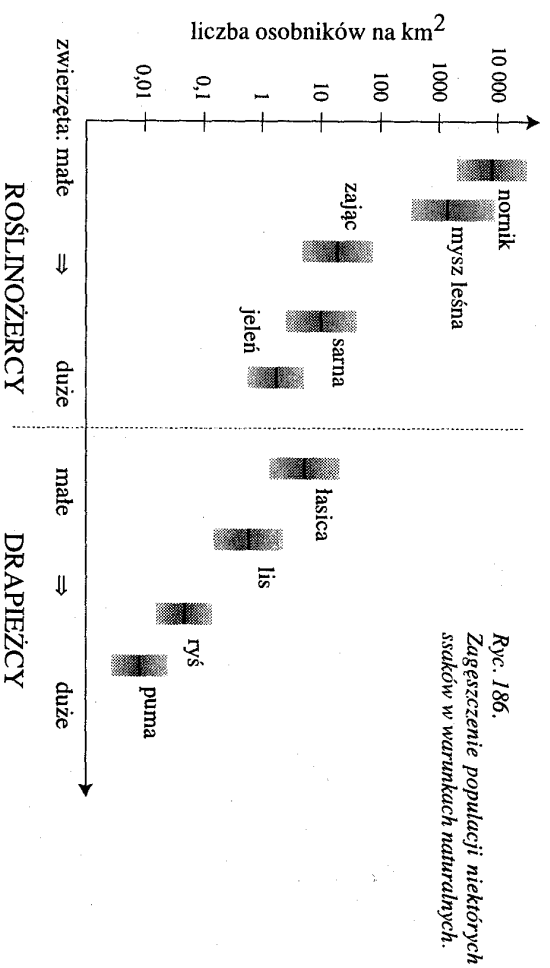


Ryc. 185.
Model obrazujący pojęcie populacji i gatunku w sensie ekologicznym.

Podstawą do analizy struktury przestrzennej populacji jest poznanie jej **liczebności i zagęszczenia osobników**. Pierwsze pojęcie to nic innego jak liczbę osobników tworzących daną populację. Parametr ten praktycznie nigdy nie jest wartością stałą i waha się pomiędzy dolną i górną granicą wielkości populacji (nazywaną to oscylacjami liczebności). Liczebność populacji zależy od wielu czynników, przede wszystkim zaś od gatunku (jego konstytucji biologicznej), zajmowanego poziomu troficznego i od warunków środowiskowych. Trudno byłoby więc porównywać liczebność populacji mrowiek i słoni zamieszkujących ten sam teren. To nie wszystko, jeśli bowiem nawet używaliśmy sobie, jaki gatunek badamy, samo policzenie osobników może być mylące. Przykładowo, jeśli stwierdzimy, że lokalna populacja wikałacza liczy sobie 1000 osobników, trudno będzie określić jej rolę w okolicznych ekosystemach. Problem polega na tym, że nie wiemy, czy ten tysiąc wikałaczy przypada na jedno pole prosa o pow. 20 ha, czy na wszystkie okoliczne, o łącznej powierzchni ok. 20 000 ha. Wreszcie określenie liczebności populacji napotyka na poważne trudności techniczne. Dla przykładu: policzenie wszystkich sosen w pobliskim lesie będzie już poważnym zadaniem, a jak policzyć wszystkie żyjące tam wije?

Zdecydowanie lepszym wskaźnikiem jest **zagęszczenie**, czyli liczba osobników danej populacji przypadająca na jednostkę powierzchni, zwykle na 1 m² lub na hektar (dla organizmów glebowych i wodnych na jednostkę objętości, np. dm³). Istnieje tutaj kilka prostych, ogólnych reguł. Po pierwsze — zagęszczenie osobników dużych jest z zasady mniejsze niż małych, np. sosny i czarnej jagody, myszy leśnych i zajęcy (por. Ryc. 186). Po drugie — zagęszczenie roślin

jest większe niż roślinożerców. Najmniejsze zaś jest wśród drapieżników. Można to dość łatwo wy tłumaczyć, jeśli uwzględnimy poziomy troficzne i dostępne na nich ilości energii.



Ryc. 186. Zagęszczenie populacji niektórych ssaków w warunkach naturalnych.

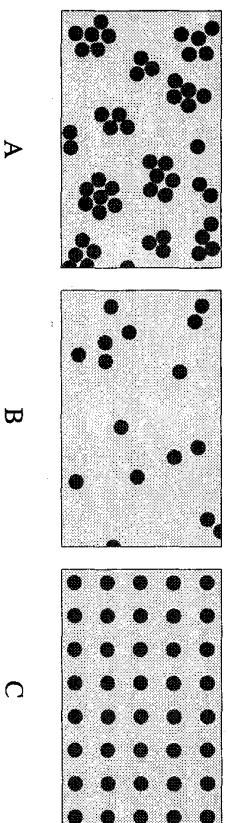
Dla określenia liczebności i zagęszczenia ważne jest uwzględnienie czynnika czasu. Najbardziej miarodajne są więc badania długookresowe, pozwalające wyeliminować błędy wynikające z sezonowych i losowych wahań liczebności.

Często wskaźników zagęszczenia używa się w celach porównawczych. Przykładowo informacja, że na polu A o pow. 10 ha stwierdzono 100 myszy polnych, a na polu B o tej samej powierzchni żyje ich 4 600 nasuwa przypuszczenie, że w tym drugim przypadku zbiory ziarna są poważnie zagrożone. Jeśli zdobalibyśmy ustalić przyczyny takiego stanu rzeczy, w przyszłości można byłoby uniknąć tak silnej gradacji szkodnika. Uzcziwie mówiąc, nie jest to takie proste, gdyż pole uprawne jest bardzo uproszczoną biocenozą, w której m.in. brak jest naturalnych wrogów myszy polnych.

OSOBNIKI DANEJ POPULACJI SĄ ROZMIESZCZONE W CHARAKTERYSTYCZNY SPOSÓB

Dużą trudność w pomiarach zagęszczenia stanowią rozmieszczenie osobników, czyli ich przestrzenny rozkład w obrębie arealu zajmowanego przez populację. Najczęściej spotykane jest **rozmięszczenie skupiskowe** (por. Ryc. 187 A). Prawdopodobnie u większości gatunków zależy bliskiego sąsiedztwa osobników przewidują nad wadami. U dużych, mobilnych zwierząt przejawem tendencji skupiskowej są stada, np. reniferów w Arktyce, antylop gnu w Afryce albo naszych szpaków (u ryb odpowiednikiem stad są ławice, np. dorszy czy śledzi). Skupiskowe rozmieszczenie jest też charakterystyczne dla owadów społecznych. U odmiennych gatunków grupy mają różną wielkość i organizację. Zasadniczo jednak uławwiają wyszukiwanie pokarmu, opiekę nad potomstwem, wzajemne ostrzeżenie przed niebezpieczeństwem i solidarną obronę. Duże stada ptaków albo ławice potrafią zdezorientować potencjalne drapieżniki, np. krogulce łatwo pochwyca samotnego szpaka, ale zwykle nie zaatakują całej grupy. Struktury skupiskowej często sprzyja też sposób rozrodu i niejednorodność środowiska. Nie dziwi więc, że w skupieniach

rosną ciężkoniemne dęby i buki, a także rozmazające się wegetatywnie toполе białe i stokrotki. Jeśli zaś szukalibyśmy porostnicy wielokształtnej, to tylko w wilgotnych, silnie ocienionych partiach lasów, wręcz przy przegach cieków wodnych. Podobnych przykładów dostarcza także świat zwierząt, przypomnijmy więc tylko kolonie koralowców.



Ryc. 187. Podstawowe rodzaje rozmieszczenia osobników w obrębie arealu populacji (A — skupiskowe, najczęściej spotykane w przyrodzie, B — losowe, C — równomierne, najrzadsze).

Skupiskowość prowadzi do lokalnego wzrostu zagęszczenia osobników. Najważniejsze wady takiej strategii życiowej to konkurencja o wodę (szczególnie silna u roślin), przestrzeń życiową, światło lub pokarm. U kręgowców stałocięplnych (szczególnie ssaków) duże zagęszczenie jest także czynnikiem stresującym. Z kolei zbyt małe zagęszczenie może np. utrudniać odnajdywanie pokarmu lub partnera płciowego albo zwiększyć śmiertelność. Generalnie, niezależnie od typu rozmieszczenia, okazało się, że zarówno przegęszczenie populacji, jak i niedogęszczenie mogą działać na populację ograniczająco. Jest to tzw. **zasada Allee go**. Doskonalem przykładem wspierającym to twierdzenie są wielkie skupiska ludzkie. Im większe jest miasto i im więcej liczy mieszkańców, tym większy jest w nim poziom stresu. Wyraża to się m.in. w zakłóceniach komunikacji społecznej, liczbie aktów agresji i nerwicy (pomijam, że podłożem tych zjawisk jest bardzo złożone).

Rozmieszczenie losowe występuje znacznie rzadziej (por. Ryc. 187 B). Przede wszystkim taki rozkład cechuje liczne bezkręgowce, np. większość pająków, krocionogów i wijów oraz paszory. Zwierzęta te najczęściej znajdują swoje ofiary lub żywicieli w sposób przypadkowy. Podobnie przedstawia się problem przemieszczenia na większe odległości, np. wędrówki młodych pająków sieciowych w lesie silnie zależą od kierunku i siły wiatru. O sposobie rozlokowania chitonów w strefie przybrzeżnej decyduje ukształtowanie podłoża. Cechą rozmieszczenia losowego jest duża nieregularność występowania osobników. W niektórych częściach arealu przestarnego populacji nie ma ich wcale, w innych jest niewiele, czasem zaś można natknąć się na spore skupienia. W takiej sytuacji średnie zagęszczenie osobników nie oddaje istoty struktury przestrzennej.

Rozmieszczenie równomierne jest w przyrodzie rzadkością (por. Ryc. 187 C). Możemy o nim mówić wówczas, gdy odległości pomiędzy poszczególnymi osobnikami populacji są mniej więcej równe. W warunkach naturalnych taką strukturę przestrzenną najczęściej stwierdza się w siedliskach jednorodnych i (lub) tam, gdzie napiecia konkurencyjne są bardzo duże. Na pusty niach piaszczystych zdarza się, że kaktusy rosną w bardzo regularnych odstępach. Zapewne wielu ludzi dziwiło się, kto mógł być na tyle szalony, żeby równo, jak „pod sznurkę” sadzić te rośliny i to w takich miejscach. Tymczasem rozmieszczenie to jest skutkiem ostrej konkurencji o wodę, gdy każdy dorosły osobnik kontroluje swoim systemem korzeniowym okiełsony, podobny obszar wokół siebie (wydziela do podłoża substancje hamujące rozwój innych roślin; por. niżej oddziaływania między populacyjnie). Z kolei regularne rozmieszczenie dojrzających okazów drzew w lasach Europy może być skutkiem konkurencji o światło (por. jednak niżej). Taki typ

rozmnieszczenia cechuje często zwierzęta wykazujące stale bądź okresowo silny terytorializm. Przykładami mogą być: samiczki morskie na plaży w okresie godowym, ryby zamieszkujące rafy koralowe, pingwiny w Antarktyce czy też tygrysy w dżungli (ten ostatni przykład może już być nieaktualny ze względu na znaczne przetrzebienie populacji tych drapieżników). Przyczyną rozmieszczenia równomierne może być także sposób rozrodu. Przykładowo u jaskra rozłogowego i wydymnuchczy piaszkowej nowe osobniki powstają w regularnych odstępach z rozłogów (pomi- jam rozmazanie płciowe).

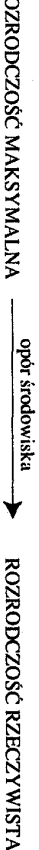
W warunkach naturalnych rozmieszczenie osobników praktycznie nigdy nie jest idealnie równomierne, choćby dlatego, że silniejsze są w stanie wywalczyć sobie większe rewiry. W biocenozach sztucznych, np. w sadach, czy w młodnikach sosnowych regularne odległości między poszczególnymi osobnikami są wynikiem zamierzonych działań człowieka.

Jak już wspomniano, struktura przestrzenna populacji wynika m.in. z liczebności. Głównymi czynnikami wpływającymi na tę cechę są:

1. **Rozrodczość** — liczba młodych osobników urodzonych w jednostce czasu, zwykle w ciągu roku;
2. **Śmiertelność** — liczba osobników populacji ginących w jednostce czasu;
3. **Migracje** — polegające na wywędrowywaniu osobników poza arenę przestrzenną populacji (emigracja) oraz na przybywaniu osobników z innych populacji (imigracja).

Rozrodczość można dokładniej określić jako właściwą dla danej populacji zdolność do wzrostu. Nie jest przy tym ważny sposób rozrodu. Jeśli dany gatunek rozmnaża się wegetatywnie i płciowo, to i tak liczy się tylko tempo powstawania nowych osobników. Zależy ono od dwóch czynników:

- A) **maksymalnej** (czasem absolutnej) **rozrodczości populacji** — teoretycznej zdolności do wytworzenia potomstwa. Przyjmuje się, że jeśli warunki ekologiczne są idealne, to jedynym ograniczeniem takiej rozrodczości są biologiczne możliwości osobników danego gatunku. W warunkach naturalnych sytuacja takie występują bardzo rzadko i dlatego najczęściej rozrodczość maksymalna wyznacza się w warunkach laboratoryjnych (por. jednak niżej);
- B) **oporu środowiska** — stanowią go wszystkie możliwe czynniki fizyczne i biologiczne ograniczające tempo rozrodu, np. niedobór jakiegos pierwiastka, wody lub pokarmu, nadmierne przegęszczenie, obecność drapieżników i pasożytów. Ograniczenia teoretycznego tem- pa rozrodu powodują, że w warunkach naturalnych obserwujemy **rozrodczość rzeczywistą** (ekologiczną). Praktycznie zaś można powiedzieć, że:



OPÓR ŚRODOWISKA NIE JEST WIELKOŚCIĄ STAŁĄ

Posłużmy się teraz znanym Ci już przykładem. Pierwsze przywiezione do Australii króliki znalazły tam wręcz idealne warunki do rozwoju. Można zażytkować stwierdzenie, że w tym czasie opór środowiska był bliski zeru (m.in. z powodu braku konkurencji pokarmowej ze strony stekowców i torbaczy oraz sprawnych drapieżników). Nastąpiła więc gwałtowna ekspansja królików, ale w miarę wzrostu liczebności populacji tempo rozrodu spadało, ponieważ rości opór środowiska (głównie przez wyczerpywanie zasobów pokarmowych zajmowanej niszy ekolo- gicznej). Gdyby nie hamujący rozrodzość opór środowiska, potomstwo jednej pary królików przykryłoby fizycznie powierzchnię kuli ziemskiej już po ok. 100 latach. Doskonałym przykładem

regulowania rozrodzości są sowy. Jeśli ilość dostępnego dla nich pożywienia spada, to część par wcale nie przystępuje do rozrodu.

Biologzy wyróżniają dwie podstawowe strategie rozrodcze. Jest to duże uproszczenie, ale ma istotne walory poznawcze. Przede wszystkim zakładamy, że dobór naturalny od początku ist- nienia życia preferował osobniki pozostawiające możliwie największą ilość zdrowego potom- stwa. Cel ten można osiągnąć na kilka sposobów:

1. W środowiskach niestabilizowanych, zmieniających się w sposób nieprzewidywalny prefe- rowana jest **strategia rozrodcza typu „r”**. Polega ona na tym, że osobniki osiągną szybko zdolność do rozrodu i jak najszybciej wydają dużo potomstwa. Takie gatunki wyka- zują mały stopień wyspecjalizowania i nie preferują konkretnych warunków. Ich szansa na sukces wynika więc głównie z szybkości rozrodu, wysokiej rozrodzości i małych wymagań życiowych. Dobrym przykładem są rośliny pionierskie, zasiedlające zdeprawowane przez człowieka tereny, np. wykopy ziemne, nasypy itd. Taką strategię wykazują też jednoroczne rośliny puszyste. Przeczekują one okres suszy w postaci nasion, a gdy tylko spadnie deszcz potrafią wykiełkować, zakwitnąć i wydać nasiona w ciągu kilkunastu godzin.

Wniosek: strategia typu „r” ma charakter ilościowy.

2. W środowiskach ustabilizowanych od wielu lat, gdzie konkurencja jest duża przeważa **strate- gia typu „K”**. W tropikalnych lasach równikowych, starych jeziorach Afryki i innych, podob- nie stabilnych ekosystemach większe korzyści przynosi wąska specjalizacja i wydawanie mniejszej liczby potomstwa. Taka strategia rozrodcza pozwala albo na zwiększenie poziomu ochrony potomstwa (np. u ssaków tropikalnych), albo na lepsze wyposażenie w materiały zapasowe (głównie w przypadku roślin okrytonasiennych). Jest to tym bardziej korzystne, że w tego typu układach ekologicznych gwałtowne zwiększenie liczebności populacji jest nie- możliwe (zbyt duży jest opór środowiska).

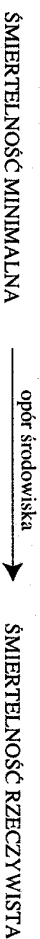
Wniosek: strategia typu „K” ma charakter jakościowy.

Drugim istotnym czynnikiem zmniejszającym liczebność jest **śmiertelność**, czyli tempo ubywania osobników populacji na skutek zgonów. Zależy ono od:

- A) **śmiertelności minimalnej** (teoretycznej). Wynika ona z zaprogramowanej genetycznie maksymalnej długości życia. Inaczej mówiąc, jeśli warunki ekologiczne są idealne, osob- niki wymierają tylko ze starości. Taka sytuacja praktycznie zdarza się jedynie w warun- kach sztucznych, np. w hodowlach, ogrodach zoologicznych. Tam myszy dożywają nawet 2 lat, koty ok. 15, a słonie ponad 90;
- B) **oporu środowiska** — zespołu wszystkich tych czynników, które skracają czas życia osob- ników w populacji. Wzrost śmiertelności mogą wywoływać np. drapieżniki, pasożyty, nie- dobyty pokarmowe, przegęszczenie albo nawet walki między osobnikami o partnera płciowego. Tempo wymierania osobników w warunkach naturalnych nazywamy **śmier- telnością ekologiczną**. Nienal zawsze jest ona większa niż śmiertelność minimalna.

Przykładowo, w średnowiecznej Europie epidemie czarnej ospy, cholery i dżumy wręcz dziesiątkowały naszą populację. Tym gwałtownym wzrostem śmiertelności sprzyjały: duże zagęszczenie i niski poziom sanitarny ówczesnych skupisk ludzkich.

Tak więc:



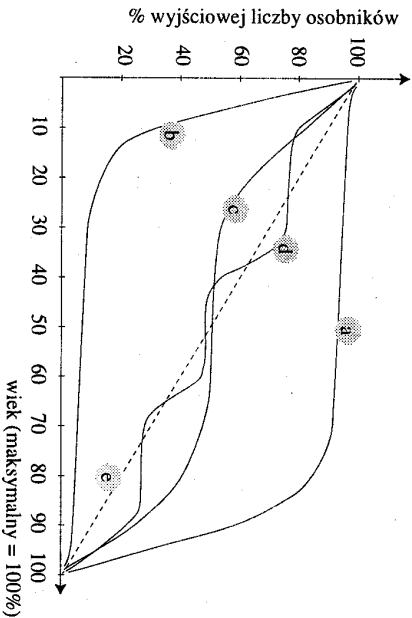
W równaniu tym śmiertelność minimalna przyjmuje wielkość stałą. Zmieniają się zaś rosnący lub malejący opór środowiska.

UWAGA: Pomiar wpływu tzw. oporu środowiska jest trudny, dlatego przedstawione równania mają charakter uproszczeń.

Do opisu śmiertelności rzeczywistej doskonale nadają się tzw. **krzywe przeżywania**. Sporządza się je na podstawie długotrwałych obserwacji prowadzonych przez ekologów. Wyróżnili oni kilka typowych krzywych, do których można dopasować większość gatunków (por. Ryc. 188):

— krzywa „wypunktka” jest charakterystyczna dla nielicznych gatunków zwierząt o znacznych rozmiarach, które dużo energii poświęcają na opiekę nad potomstwem. Z analizy krzywej wynika, że w takich populacjach śmiertelność jest niewielka we wczesnym okresie życia, później spada prawie do zera i dopiero wśród osobników starszych rośnie gwałtownie. Przykłady: słonie, nosorożce, człowiek współczesny (por. jednak niżej);

— krzywa „wklęsła” stanowi swego rodzaju odwrotność poprzedniej. Charakterystyczna jest głównie dla organizmów wydających na świat bardzo liczne potomstwo, najczęściej zupełnie pozabawione opieki rodzicielskiej. Przykłady: tasieniec, przywry, małże, pasikonki, sardynki, śledzie, większość żab i drobnych gryzoni (choć i u tych ostatnich opieka nad potomstwem jest różnielista). Taki typ krzywej przeżywania wykazuje większość roślin. Przykładowo: z dziesięciaków tysięcy nasion buka, dębu, które wysiewane są co roku, kiełkuje kilkaset. Z nich tylko jedna siewka na kilka lat ma szansę rozwinąć się w dojrzałe drzewo;



Ryc. 188.
Podstawowe rodzaje krzywych przeżywania: a — wypunktka, b — wklęsła, c — esowata, d — schodkowa, e — jednostajnie nachylna. Opis w tekście.

— krzywa „esowata” ma charakter pośredni. Wynika z niej, że śmiertelność jest duża wśród młodych osobników, stopniowo maleje u dorosłych i ponownie narasta w czasie starzenia. Tego rodzaju krzywe przeżywania ma wiele populacji zwierzęcych, np. pszczoł, mrówek, ptaków śpiewających, większych gryzoni czy też sasków kopytnych. Trzeba jednak pamiętać, że poszczególne gatunki mogą różnić się stopniem nachylenia tej krzywej. Czasami jej postać zbliża się do krzywej wypunktkei, np. u bawołu afrykańskiego, w innych raczej do krzywej wklęsłej, np. u wróbla. Dodajmy też, że mniej więcej do połowy XIX w. krzywa przeżywania populacji ludzkiej także miała charakter esowaty;

— krzywa „schodkowa” cechuje organizmy, których przeżywalność silnie zmienia się w kolejnych stadiach życiowych. Typowym przykładem mogą być tutaj owady holometaboliczne, np. motyle. U zwierząt tych śmiertelność jest bardzo duża (stromo odcinki krzywej) w fazie złożonych jaj, później także w czasie imien i wśród krótko żyjących osobników dorosłych. Natomiast obniżenie śmiertelności następuje w stadiach juwenilnych: gąsienic i poczwerek;

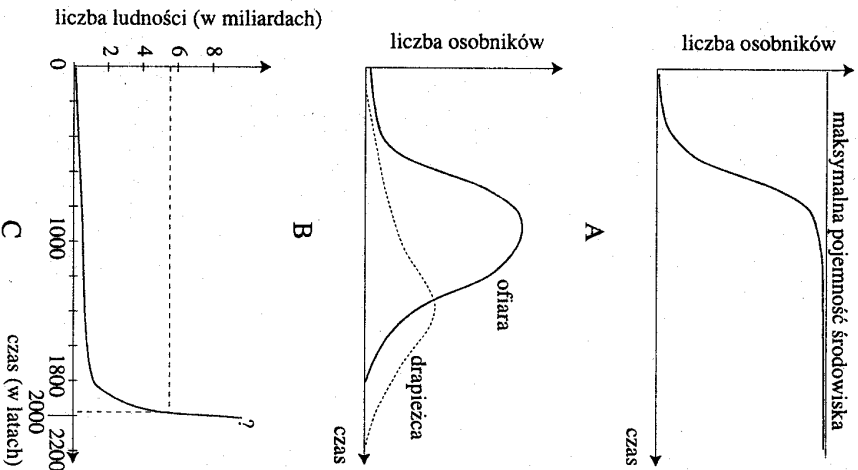
— krzywa „jednostajnie nachylna” jest zwykłą prostą, której przebieg wskazuje na brak zależności śmiertelności od stadium życiowego. Inaczej mówiąc, bez względu na wiek, tempo wymierania osobników jest stałe. Prawdopodobnie nie ma takiego gatunku, którego śmiertelność zupełnie się nie zmienia. Ten rodzaj krzywej należałoby raczej uznać za teoretyczny, chociaż przeczą temu wyniki badań przeżywalności gatunków jamochonow rozmnażających się przez pączkowanie, np. suthi. Dane te pochodzą jednak z laboratorium i nie uwzględniają tak istotnych czynników jak chociażby rozród płciowy.

Jeśli zbilansujemy rozrodność, śmiertelność i migracje w pewnym odcinku czasu, otrzymamy krzywą zmian liczebności populacji. W statycznym ujęciu można by przedstawić te zależności przy pomocy następującego równania:

rozrodność ekologiczna + imigracja – śmiertelność ekologiczna – emigracja = zmiana liczebności

PRZEDSTAWIONE WYŻEJ PARAMETRY EKOLOGICZNE ZMIENIAJĄ SIĘ I TWORZĄ RÓŻNE SCENARIUSZE ROZWOJU SYTUACJI

Przykładowo: gdy populacja zasiedla nowe, korzystne terytorium, zwykle rozrodność ekologiczna jest bliska maksymalnej, a śmiertelność ekologiczna bliska minimalnej. Wówczas następuje gwałtowny, wykładniczy wzrost liczebności takiej populacji (por. Ryc. 189 A). Niemal zawsze wraz ze wzrostem liczebności i zagęszczeniem tempo przyrostu liczby osobników maleje, ponieważ roślinie opór środowiska. W pewnym momencie osiągnięty zostaje stan dynamicznej równowagi liczebności i populacja stabilizuje się. Jedynym znany wyjątkiem od tej reguły jest populacja człowieka (por. Ryc. 189 C) — do tej pory jej wzrost nie został opóźniony. Do połowy XVIII w. przyrost naturalny był niewielki i niezbyt zagrażał środowisku naturalnemu. Postępy medycyny i nauk technicznych doprowadziły jednak do radykalnego spadku śmiertelności, któremu nie towarzyszył odpowiedni spadek rozrodności. W ten sposób wytworzył się stan, który musiał skończyć się **eksplozją demograficzną** na ogromną skalę. Oceńmy dzisiaj, że liczebność naszej populacji przekroczyła już pojemność środowiska, ale przyrost naturalny nie został zahamowany. Stawia to ludzką postać przed dramatycznymi wyborami — między prawami i wolnością, jednostki, a prawni populacji i koniecznością ochrony przyrody (por. ROZDZ. 30). W krajach zamorskich przyrost naturalny spada i liczebność populacji stabilizuje się na względnie niskim poziomie. Podobne zjawisko obserwuje się także w Polsce. W 1950 r. przyrost naturalny wynosił w naszym kraju 1,9%, ale w 1990 r. już tylko 0,4%. Na tym tle sytuacja państw biednych, szczególnie afrykańskich i azjatyckich jest alarmująca. Najwyższe wskaźniki notuje się dzisiaj w Afryce. Tam średni przyrost naturalny w 1990 r. wyniósł ok. 3% (policz, ilu lat potrzeba, aby populacja ta podwoiła się). Na całym świecie toczą się więc dyskusje, w których próbuje się wskazać drogi rozwiązania problemu przeludnienia. W zależności od światopoglądu, postaw filozoficznych i możliwości ekonomicznych pojawiają się propozycje trudne do zaakceptowania przez wszystkie narody. Natraże więc nie wypracowano żadnych porozumień w tym zakresie.

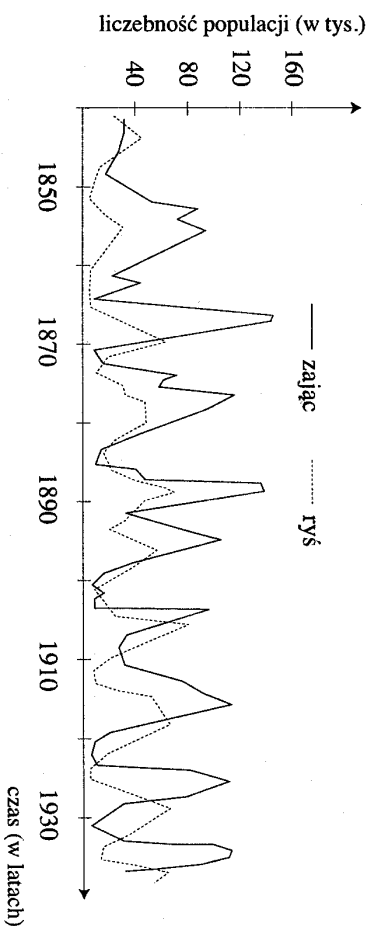


Ryc. 189. Zmiany liczebności populacji: A — naturalnej, zasklepiętej nowy, korzysny teren. B — populacji drapieżcy, izolowanej razem ze swoją ofiarą. C — populacji człowieka od czasów przedhistorycznych do dzisiaj. Zwróć uwagę, że krzywa „C” ma charakter wcięż rosnący.

Naturalną dynamikę liczebności starano się udokumentować doświadczeniami laboratoryjnymi. Okazało się jednak, że w populacjach izolowanych, gdy ofiara nie ma się gdzie ukryć, drapieżca wyniszcza ją zupełnie, a później sam ginie (por. Ryc. 189 B). Wynika to głównie z jednoniszowego charakteru takich eksperymentów. Dopiero gdy potencjalnej ofierze stworzono możliwość ukrycia się, wytworzył się chwytliwy stan równowagi pomiędzy tymi dwiema populacjami.

Zmieniająca się rozrodzoność i śmiertelność powodują, że naturalne, pozornie ustabilizowane populacje ulegają fluktuacjom liczebności. Częstość i skala ich występowania są różne i zależne od całego szeregu okoliczności. Konkretnym przykładem mogą być cykliczne wahania liczebności populacji zająca białaka i rysia w Kanadzie (por. Ryc. 190). Przypadek ten został dobrze udokumentowany dzięki zapisom prowadzonym przez urzędników firmy Hudson Bay Company od

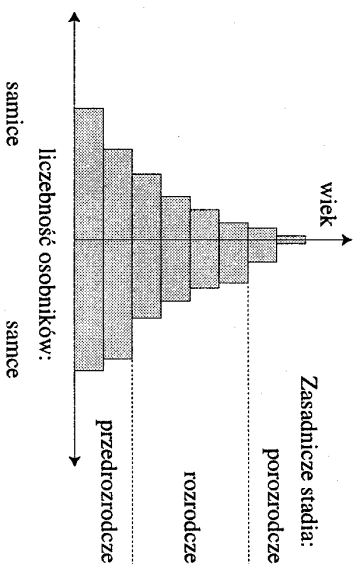
1845 r. Przez długi czas sądzono, że jest to typowa oscylacja wynikająca ze sprzężeń pokarmowych. Wg tej tezy wzrost liczebności zające pozwał na zwiększenie populacji rysia. Później nadmierny wzrost liczby polujących drapieżników miał prowadzić do znacznego przetrzebienia populacji zające. Jej zmniejszenie ograniczałoby bazę pokarmową rysia i z pewnym opóźnieniem spowodowałoby znaczny spadek ich liczebności (głównie wzrost śmiertelności i spadek rozrodzoności) i tak w kółko. Rzeczywistość okazała się nieco inna. Rysie jako drapieżniki nie są w stanie tak ograniczać populacji zające. W tym przykładzie populacja drapieżnika zmienia więc swoją liczebność tak jak populacja ofiary. Jednakże wahania liczebności zające są powodowane dostępnością jadalnych pędów roślin. W niektórych latach było ich dużo i liczebność zające szybko rosła. Intensywne podgryzanie roślin powodowało odkładanie w młodych gałązkach trujących związków fenolowych. Gdy liczebność zające osiągała maksimum, ilość jadalnych gałązek zmniejszała się niemal do zera. Towarzyszył temu wzrost śmiertelności i populacja roślin nożericy ulegała zatamaniu. Mała ilość zające była w stanie obgryźć jedynie drobną część gałązek, przez co inne rozwijały się bez przeszkód i nie zawierały żadnych trucizn. Tak więc po kilku latach zatamania liczba zające mogła ponownie szybko wzrosnąć, a wraz z nią liczba rysia. W ten sposób cykl powtarzał się regularnie przez wiele lat. Przykład ten nie dowodzi jednak, że oscyla-



Ryc. 190. Okresowe zmiany liczebności populacji zająca białaka i rysia w Kanadzie. Zwróć uwagę na charakterystyczne zależności pomiędzy drapieżcą i jego ofiarą.

NA STRUKTURĘ WIEKOWĄ POPULACJI WPŁYWA SZEREG RÓŻNYCH CZYNNIKÓW

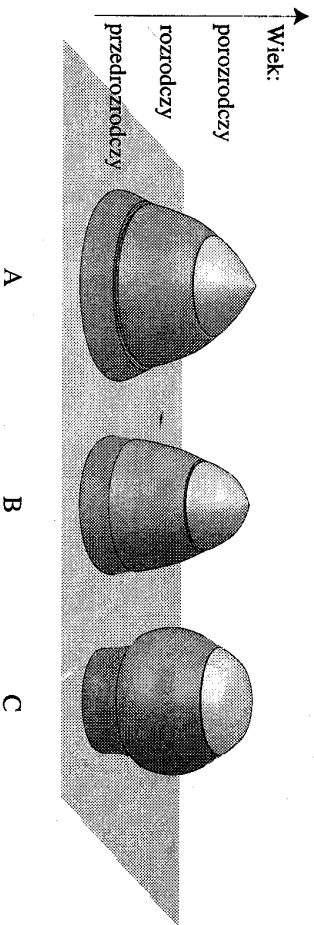
Struktura wiekowa to nic innego jak udział różnych grup wiekowych w populacji. Parametr ten jest z jednej strony dość stałą cechą gatunkową, z drugiej podlega silnym wpływom takich czynników jak: rozrodzoność, strategia rozrodu i śmiertelność. Ocena rozkładu wiekowego osobników dostarcza więc wielu informacji o aktualnej kondycji danej populacji. Należy jednak pamiętać, że badanie struktury wiekowej powinno obejmować dłuższe okresy czasu. Jeśli bowiem zbadano by populację jętek w 48 godzin po rójce, to mogłoby się okazać, że nie ma w niej wcale osobników dorosłych (por. ROZDZ. 11). Taki obraz struktury wiekowej prowadziłby do fałszywych wniosków.



Ryc. 191. Prosta piramida wiekowa uwzględniająca rozkład płci.

W życiu każdego osobnika można wyróżnić trzy podstawowe okresy wiekowe: **przedrodzcy**, **rodzocy** i **porozrodzcy**. Podobnie można pogrupować osobniki w populacji na: młodociane, dojrzale i starzejące się. Liczba klas wiekowych może jednak być większa. Wszystko zależy od tego jak szczegółowe kryteria pomiaru wieku klasach zostały zliczone, wyniki można przedstawiać w postaci **piramid wieku** (por. Ryc. 191). W czasie obliczania struktury wiekowej populacji można uwzględnić liczebność osobników różnej płci. Mówimy wówczas o ustalaniu struktury płciowej populacji.

Dane dotyczące struktury wiekowej i płciowej odniesione do ogólnych właściwości gatunku umożliwiają ocenę stanu populacji. I tak, relatywnie duży udział osobników młodocianych i mały starszych oznaczać będzie, że populacja rozwija się (por. Ryc. 192 A). Gdy udział klas wiekowych będzie proporcjonalny: więcej młodocianych, średnia liczba dorosłych i młodszych osobników starszych, to taka populacja zostanie uznana za ustabilizowaną i zdolną do przetrwania (por. Ryc. 192 B). Dopiero gdy relatywny udział osobników w wieku przedrodzicielskim jest niewielki, oznacza to istnienie poważnych zaburzeń, np. rozrodzności. Taką populację nazwiemy wymierającą (por. Ryc. 192 C).



Ryc. 192. Piramidy wieku dla populacji: A — rozwijającej się, B — ustabilizowanej, C — wymierającej.

29. 3. Biocenoza

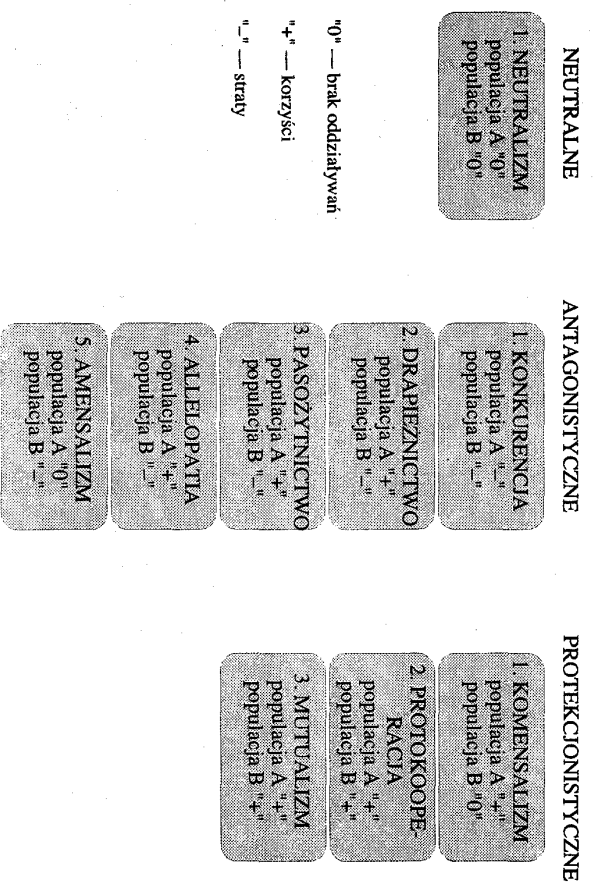
BIOCENOZA JEST SWEGO RODZAJU WSPÓLNOTĄ WSZYSTKICH ORGANIZMÓW ZAMIESZKAJĄCYCH DANY TEREN

Biocenoza jest układem ekologicznym stworzonym przez wszystkie populacje organizmów występujące w określonym biotopie. Jednocześnie wykazuje ona własne cechy charakterystyczne, których nie mają ani poszczególne osobniki ani populacje. Wzajemne oddziaływanie komponentów biocenozy prowadzi więc do powstania pewnej całości o określonym poziomie dynamicznej równowagi biologicznej.

Biocenoza jest naturalnym pojęciem o szerokim zakresie, które może z powodzeniem służyć do opisu organizmów, zamieszkujących jeden zwalony pień, jak i żyjących w oceanie. Pomimo podobieństw różnica między nimi będzie jednak dość wyraźna. Biocenozy małe (czasem nazywane zespołami populacji) są mniej lub bardziej uzależnione od biocenozy sąsiadujących. Z kolei biocenozy duże cechują się względną niezależnością od innych układów. Tak czy inaczej, określony poziom niezależności i samowystarczalności biocenozy wynika z występowania w nich różnorodnych organizmów ze wszystkich poziomów troficznych: producentów, konsumentów i reducentów. Organizmy te nie są zebrane w sposób przypadkowy, ale tworzą wspólnotę działającą w sposób dobrze zorganizowany, stąd istnieje duże prawdopodobieństwo, że pewne gatunki będą ze sobą występowały razem, a inne nie.

Do najważniejszych zależności w każdej biocenozie należą stosunki pokarmowe, ponieważ decydują one o liczebności i biomasie poszczególnych populacji. Zanim przyjrzymy się tym

złożonym relacjom, zanalizujemy jakie są możliwe **typy oddziaływań między populacyjnymi** w biocenozie (w tym przypadku można też mówić o interakcjach międzygatunkowych).

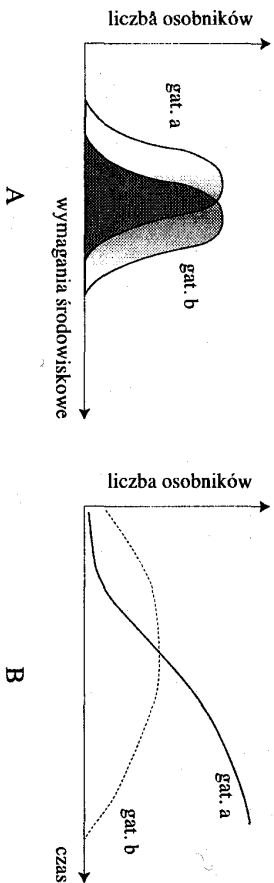


Ryc. 193. Możliwe oddziaływania między populacyjnymi lub międzygatunkowe. Opis w tekście.

W skład dużej biocenozy może wchodzić nawet kilka (lub więcej) tysięcy gatunków. Większa ich część jest w stosunku do siebie obojętna, ponieważ ich nisze ekologiczne w żaden sposób nie zachodzą na siebie. Sytuację, w której populacja A w żaden sposób nie oddziałuje na populację B i odwrotnie, nazywamy neutralizmem (por. Ryc. 193). Często jednak populacje różnych gatunków pozostają w stosunkach antagonistycznych. Oznacza to, że ich wzajemny wpływ przynosi jednej albo obu jakieś straty. Te ostatnie przejawiają się, np. w ograniczeniu liczebności, przeżywalności czy też rozrodzności. Istnieje kilka możliwych oddziaływań antagonistycznych. Oto najbardziej typowa klasyfikacja.

1. **Konkurencja** — pojawia się zawsze, gdy osobniki lub populacje ubiegają się o ten sam ekwiwalent środowiska. Prościej mówiąc, ich wymagania życiowe są na tyle podobne, że konkurują ze sobą, np. o światło (szczególnie rośliny), wodę, składniki mineralne, a nawet zyczący nie — o miejsce.

Konkurencja może prowadzić do osłabienia obu populacji chyba, że któraś z nich wyprzedzi drugą. Taka sytuacja wynika z teoretycznego założenia, że jedną niszę ekologiczną zajmuje tylko jeden gatunek. W warunkach naturalnych stwierdzono, że prawie 80% przypadków konkurencji między gatunkami blisko spokrewnionymi prowadzi do tzw. konkurencyjnego wypierania.



Ryc. 194. Skutki konkurencji dwóch wyspecjalizowanych gatunków o bardzo podobnych wymaganiach ekologicznych (A — zakres tolerancji ekologicznej obu form, B — skutki konkurencji).

Eksperymentalnych dowodów dostarczyły prace rosyjskiego biologa Gause'go, m.in. nad wyspecjalizowane i zajmują niemal identyczne nisze ekologiczne (por. Ryc. 194 A). Hodowane oddzielnie wykazywały normalne krzywe wzrostu i liczebności. Jednak gdy do hodowli *P. caudatum* wprowadzono *P. aurita*, ten drugi zupełnie wypierał pierwotnego gospodarza tego terenu (por. Ryc. 194 B). Ważne jest tutaj także to, iż zwycięstwo *P. aurita* nie wydzielało do podłoża szkodliwych substancji. Prawdopodobnie ten pierwszy gatunek rozmaża się szybciej i przejmując zasoby pokarmowe drugiego. W warunkach naturalnych sytuacja taka może wydarzyć się, gdy do lokalnej biocenozy zostanie zawleczony nowy przybysz. Znakomitym przykładem jest tutaj przypadek szczura śniadego i szczura wędrownego. Ten pierwszy był uciążliwym synantropem (gatunkiem towarzyszącym człowiekowi), który wykorzystywał domostwa i zagrody Europejczyków od początku istnienia cywilizacji. Jego wytepienie wydawało się niemożliwe. Dopiero zawleczenie do Europy silniejszego konkurenta — szczura wędrownego doprowadziło do niemal zupełnego wyniszczenia szczura śniadego. Problem zaś tkwi w tym, że nowy przybysz jest bardziej szkodliwy z każdego punktu widzenia. Przykładów, gdy konkurencja, jedynie ograniczając populację, także jest dużo. Oto np. w miastach gołębie odpędzają wróble od ziarna, które wysypują im ludzie, na sawannach hiemy walczą o padlinę z sępami, a nawet z lwami, a na polach uprawnych chwasty konkurują z roślinami zbożowymi.]

Mimo wszystko:

W WARTUNKACH NATURALNYCH NAPIĘCIA KONKURENCYJNE CZĘSTO SĄ MNIEJSZE NIŻ MOŻNA BY OCZEKIWAĆ

Zanalizujmy teraz przykład, który może wyjaśnić, dlaczego tak się dzieje. Na terenie Wielkiej Brytanii gnieźdzą się dwa gatunki kormoranów o bardzo podobnych wymaganiach życiowych: kormoran czarny (*Phalacrocorax carbo*) i kormoran czubaty (*P. aristotelis*). Oba gatunki są rybożercami, gnieźdzącymi się w takich samych siedliskach, na tych samych obszarach. Jednakże współlegają już od bardzo dawna i nie obserwowano żeby jakiś gatunek wypierał konkurenta. Okazało się, iż w rzeczywistości ich nisze ekologiczne nie nakładają się całkowicie. Pierwszy gatunek żywi się głównie rybami i bezkręgowcami złapanymi blisko dna, drugi zaś preferuje ofiary pływające bliżej powierzchni. Ponadto miejsca ich gniazdowania okazały się także nieco odmiennie. Prawdopodobnie jest więc, że nacisk selekcyjny w postaci konkurencji międzygatunkowej doprowadził do zwiększenia stopnia specjalizacji i „rozsunęcia się”

nisz ekologicznych. Wnioski te potwierdzono w kolejnych eksperymentach laboratoryjnych i okazało się, że możliwość unikania konkurenta pozwala na osiągnięcie pewnej równowagi.

2. **Drapieżnictwo** — polega na tym, że przedstawiciele jednego gatunku odżywiają się osobnikami drugiego gatunku. Pewnym problemem jest tu odróżnienie drapieżnika od paszytyta. Przyjmijmy więc, że ten pierwszy zabija swoją ofiarę na późniejszej w trakcie konsumpcji, drugi zaś zwykle tylko nieco osłabia swoje gospodarza. Wreszcie drapieżca najczęściej jest większy od swojej ofiary, a paszytyt zawsze jest mniejszy. [Drapieżnikiem jest więc np. lew polujący na antylopy, pijawka atakująca młode bioniatki czy też płoć polująca na dafnie.]

UWAGA: Termin drapieżnik ma dwa znaczenia. Jako pojęcie systematyczne oznacza przedstawiciela np. rzędu ssaków drapieżnych (*Carnivora*) lub rzędu ptaków drapieżnych (*Falconiformes*). W ujęciu ekologicznym drapieżnik to zwierzę zjadające inne zwierzę.

W zależności od możliwości drapieżnika i ofiary

ISTNIEJĘ WIELE STRATEGII POLOWANIA

Zawsze jednak obowiązuje zasada, że koszty energetyczne zdobycia pożywienia muszą być mniejsze niż zysk. Dlatego zwierzęta drapieżne zwykle starają się, w miarę swoich możliwości, polować na ofiary jak największe (choć niekiedy niekiedy niekiedy). Posiłkiem się tutaj przykładem jastrzębia polującego na zające lub na polne myszy. Jak na tego drapieżnika dorosłego zająca o masie ok. 2 kg wynosi x . Mysz jest znacznie więcej i zwykle wystarczy jeden nalt do zdobycia jednej ofiary o masie ok. 20 g. W tym drugim przypadku koszt jest ok. 50 razy mniejszy (1/50x). Jeśli jednak porównamy masę obu zdobycy, to okazuje się, że trzeba byłoby złapać ok. 100 myszy, żeby korzyść energetyczną była taka, jak w przypadku jednego zająca (przyjmujemy porównywalną wartość energetyczną jednostki biomasy obu ofiar). W ogólnym bilansie zając okaże się posiłkiem dwakroć bardziej opłacalnym energetycznie.

Z podobnych przyczyn nasze leszcze i płocie wołą największe dafnie, a watacha wilków atakuje dorosłego losia. W tych starych los ofiar nie jest jednak przesądzony i tylko pozornie drapieżniki znajdują się w lepszej sytuacji. Większość drapieżników spełnia w biocenozach istotną rolę regulującą liczebność populacji ofiar. Wyłapując osobniki mniej sprawne fizycznie (stare, chore, ale także najmłodsze), zwiększają nacisk selekcyjny środowiska. Taka strategia cechuje np. lwy, a nawet nasze wilki. Do tego wszechstronny drapieżnik wpływa na liczebność kilku różnych populacji, a ponieważ kieruje się zasadą minimalizowania nakładów na zdobycie pożywienia, wybiera te ofiary, które może najłatwiej schwytać. Zwykle zaś są to osobniki najliczniejszej populacji. Jeśli liczebność i zagęszczenie populacji takiej ofiary zmaleje, drapieżnik „zmienia menu”. W ten sposób zachowana zostaje równowaga w układzie ekologicznym. Chyba najpogardzi myślą leśną, a nawet dżdżownicami. Czasem wręcz wspomaga dietę pozostankami i jagodami. Funkcjonuje wówczas jako roślinożerca! Dla takiego wszechstronnego organizmu załamanie się jakiegos źródła pożywienia nie jest groźne. Gatunki mniej wszechstronne albo żyjące w uboższych biocenozach są w trudniejszej sytuacji (przyjmuńmy sobie przypadek rybia w Kanadzie). Funkcje regulacyjne organizmów drapieżnych są ważne, ale czasem mało widoczne. Przykładowo: w „normalnym” nie zanieczyszczonym jeziorze jeden z możliwych łańcuchów troficznych przedstawia się następująco:

miłkowane sinice → dafnie → leszcze → szczupaki

Jeśli taki zbiornik wodny zostanie nadmiernie używany, spowoduje to wzrost fitoplanktonu, m.in. wspomnianych sinic. Powiększanie się tej populacji zwiększy bazę pokarmową dafni, później lęszczy i ostatecznie szczupaków. Ponieważ przedstawiciele każdego wyższego poziomu troficznego kontrolują niższy, równowaga zostanie wrócić przywrócona, chociaż na nieco wyższym poziomie. Jeśli usuniemy z jeziora szczupaki i inne duże ryby drapieżne, niekontrolowana populacja lęszczy zacznie wymuszać dafnie, zacinając od największych gatunków. Ponieważ małe gatunki dafni nie są w stanie konsumować dużych plech glonów i sinic, dojdzie do nadmiernej rozwoju sinic. Przejawem tego są zielone „zakwity”, które mogą przekształcić najgłębsze jezioro w cuchnącą „zupę”. Przywrócenie równowagi w takiej biocenozie może być bardzo trudne, a czasem niemożliwe. Wielu ludzi sądzi, że rozwiązaniem jest wprowadzanie do takich zbiorników gatunków ryb roślinożernych, np. amura. Lepiej jednak nie zamierzyszcać jezior oraz dbać o szczupaki i sandacze.

WYSPECJALIZOWANE DRAPIEŹNIKI MOGĄ BYĆ UŻYWANE DO BIOLOGICZNEGO ZWALCZANIA SZKODNIKÓW UPRAW

Klasycznym już przykładem była dramatyczna walka, którą stoczono o cytrusowe sady w południowych stanach USA pod koniec XIX w. Wszystko zaczęło się, gdy ok. 1870 r. z Australii zawleczono do Kalifornii dość niepozornego owada — czerwca białego. Podobnie jak jego bliski krewni — mszyce, czerwiec biały wysysa soki roślinne i w sadach cytrusowych znalazł idealne warunki do rozwoju. Wykładniczy wzrost jego populacji doprowadził już po kilku latach do uszkodzenia większości drzew cytrusowych na tych terenach. Po licznych, nieudanych próbach czerwca — biedronkę-rodiole. Drapieżnik ten rozmnożył się błyskawicznie i już po jednym sezonie radykalnie ograniczył populację szkodnika. Po kilku latach równowaga w układzie ofiara-drapieżnik ustaliła się na bardzo niskim poziomie. I wszystko byłoby dobrze, gdyby nie kolejny „epokowy” wynalazek człowieka — DDT. Jest to środek owadobójczy (insektycyd) masowo stosowany od końca lat czterdziestych do tej pory różnymi szkodnikami i komarów. Po początkowej euforii okazało się, że ta chlorowa pochodna węglowodorowa jest niezwykle niebezpieczną substancją. W warunkach naturalnych związek ten rozkłada się bardzo wolno i ma tendencję do nagromadzenia się w ciążach roślin i zjadających je zwierząt. Ponieważ DDT stosowano na ogromnych obszarach (niektóre państwa Afryki do dzisiaj), **akumulacja** w łańcuchach pokarmowych osiągnęła poziom toksyczności. Przykładowo wykazano, że przy siewzie DDT 0,00001 ppm w wodzie, w komórkach organizmów planktonowych wynosi ono już 0,04 ppm. W ciążach planktonożernych rybek wzrasta do 0,23, a u ryb drapieżnych takich, jak szczupaki nawet do 0,94 ppm. Najwyższe okazało się jednak w ciążach kormoranów żyjących się dużymi rybami i osiągnęło poziom 26,4 ppm! Dane te pochodzą z terenów USA, a przecież DDT stosowały głównie kraje Afryki, Azji i Ameryki Południowej. Dane te są tym bardziej wymowne, gdy uświadomimy sobie, że człowiek zwykle znajduje się na wyższych poziomach troficznych. Wróćmy teraz do przypadku czerwca i biedronki. Ta ostatnia okazała się mniej odporna na DDT i jej populacja uległa drastycznemu zahamowaniu. Oczywiście, po kilku latach w sadach cytrusowych ponownie doszło do inwazji czerwca białego. Wnioski pozostawiam Tobie.

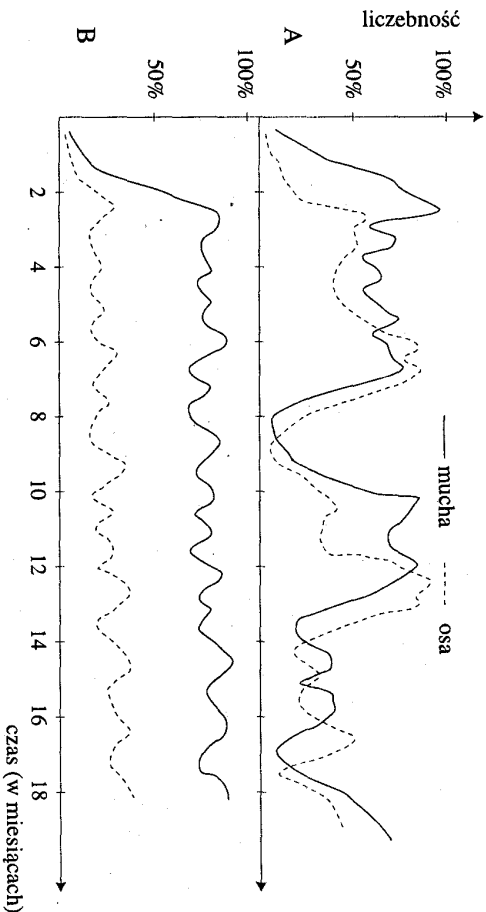
Pojęcie drapieżnictwa odnoszone jest czasem do układu: roślina — wyspecjalizowany roślinożerca. Tak można określić, np. relację nitkowate sinice — dafnie. Przykładem wykorzystania preferencji pokarmowych roślinożercy do przywracania równowagi w biocenozach stanowi przykład opuncji w Australii. Rośliny te sprowadzono jako ozdoby z Ameryki Północnej, ale wkrótce potem okazało się, że nowi, prężni przybysze wyparli na ogromnych obszarach niemal całą roślinność rodzimą. Rozwiązano ten problem po sprowadzeniu z USA małego kaktusowego. Mógł ten składa jaja na opuncjach, a jego gąsienice wżerają się w miękką, niszcząc całe osob-

niki. Po kilku latach okazało się, że równowaga została przywrócona ku zadowoleniu wszystkich farmerów. Jeśli teraz porównamy przykłady stosowania walki chemicznej i biologicznej, to wyższość tej ostatniej metody stanie się oczywista. Można chyba już teraz zaryzykować stwierdzenie, że przemysłowe działania człowieka, wykorzystujące wiedzę z pogranicza ekologii są zdecydowanie tańsze i skuteczniejsze niż metody proponowane przez wielkie koncerny chemiczne.

Czasem jednak, na szczęście bardzo rzadko, środowisku naturalnemu szkodzą szczytne idee ochrony przyrody. Oto w niektórych rezerwach roślinności ciepłolubnej nad Wisłą zlikwidowano stały, niewielki wypas bydła. Brak ograniczającego wpływu roślinożercy na populację roślin doprowadził na tych terenach do wzrostu napięcia konkurencyjnych. Następnie pewne gatunki zostały zagłuszone przez sprawniejszych konkurentów. Inaczej mówiąc: ograniczenie spasma spowodowało spadek różnorodności gatunkowej i zróżnicowania biocenozy. Jak się już zapewne domyśliłeś, wypartymi gatunkami były te, które próbowano chronić.

3. Pasożytnictwo — wyjaśnienie samego pojęcia znalazło się przy opisie drapieżnictwa.

Pasożytnictwo jako strategia życiowa funkcjonuje najprawdopodobniej od początku istnienia żywych organizmów. W przypadku układów gospodarz — pasożyt istniejących od bardzo dawna wytworzyła się swoista równowaga. Jej ciekawą cechą jest to, że napięcia pomiędzy komponentami układu są na tyle niewielkie, że pasożyty nie zabija swojego żywiciela (nie ogranicza więc znacząco jego populacji). Okazało się, że pasożyty może spełniać funkcje regulatora zagęszczenia tak jak drapieżniki. Brzmi to nieco przewrotnie, ale spójrzmy na tę sprawę inaczej. Jeśli populacja A (żywiciela) ograniczana jest przez populację B (pasożyta), obie osiągną pewien stan równowagi, wyrażający się w liczebności, zagęszczeniu i strukturze wiekowej. Jeśli z układu wyeliminujemy populację B, to może dojść do niekontrolowanego wzrostu populacji A, która zniszczy swoje środowiska i sama zginie. Jak widać w przypadku tego typu interakcji osobniki żywiciela zawsze ponoszą straty, ale cała populacja zyskuje. Przypomnij sobie teraz „typowe, stare” pasożyty człowieka, np. tasiemca nieuzbrojonego.



Ryc. 195. Mikroewolucja równowagi w układzie żywiciel — pasożyt (A — po połączeniu dziko żyjących populacji, które nie miały wcześniej ze sobą kontaktu, B — po dłuższej hodowli selekcyjnych grup). Opis w tekście.

W nowo powstałych układach żywicieli — pasożyt napięcia są z reguły znacznie większe, ponieważ nie zadziałyby jeszcze mechanizmy dostosowawcze. Skutkiem może być zupełne wyniszczenie żywiciela, a co za tym idzie także pasażera. Przykładów, jak niebezpieczne bywają takie oddziaływania, dostarczają żywicieli przygodni (por. ROZDZ. 7). Przedstawione powyżej tezy postanowiono sprawdzić w warunkach eksperymentalnych. W klasycznym już doświadczeniu badano ukłaki: *Funcha domowa* (żywiciel) i pasażer — os (*Nasonia vitripennis*; pasażer). Uzyskane wyniki potwierdziły przyjęte założenia. Świeże połączenie dziko żyjących populacji obu gatunków doprowadziło do gwałtownych oscylacji liczebności (por. Ryc. 195 A).

Zależności pokarmowe i rozrodcze były w tym przypadku tak silne, że zahamowaniu populacji much towarzyszył zawrzeszcz, z pewnym opóźnieniem, spadek liczebności populacji osy. Około 10 miesięcy i potem między 16 a 18 miesiącem doszło do niemal zupełnego wyniszczenia populacji żywiciela i potem pasażera. Po dwóch latach współżywania wybrano parę much i os do dalszej hodowli (por. Ryc. 195 B). Uwagę badaczy szybko zwróciły znacznie mniejsze oscylacje liczebności obu populacji oraz wyraźne zmniejsza rozrodczość pasażera. Prawdopodobnie doszło do wykształcenia się pewnej odporności adaptacyjnej żywiciela. Doświadczenie to pozwala nam sądzić, że takie adaptacje zachodzą także w procesach ewolucji gatunków.

Podsumowując — drapieżnictwo i pasażernictwo w biocenozach ustabilizowanych spełnia korzystną rolę regulacyjną. Groźne stają się praktycznie tylko w biocenozach sztucznych i (tub) uproszczonych, np. w monokulturach sownych czy też na polach uprawnych. Układy te są bowiem pozbawione większości systemów regulacyjnych i ich podatność na zakłócenia jest bardzo wysoka. Powinnością o tym pamiętać, gdy beztrudno zmieniamy lasy na pola uprawne, a potem stosujemy na nich środki ochrony (?) chemicznej.

4. **Allelopatia** — jest pewną odmianą antybiozy, czyli sytuacji gdy populacja A wytwarza substancje szkodliwą dla konkurującej populacji B.

Allelopatia odnosi się głównie do substancji chemicznych wydzielanych do podłoża, które hamują wzrost innych organizmów w bezpośrednim otoczeniu (głównie roślin i bakterii). Najbardziej znanym przejawem oddziaływań allelopatycznych są **antybioyki**, wydzielane przede wszystkim przez grzyby. Biologicznym zadaniem tych substancji jest hamowanie wzrostu bakterii i innych grzybów, np. przez blokowanie w nich biosyntezy białek. Na ok. 3 000 znanych antybiotyków naturalnych ponad 720 wytwarzają grzyby. Pewną część z nich wykorzystuje się w farmakologii, np. penicylinę wytwarzaną przez *Penicillium*, czy cefalosporynę otrzymywaną z gatunków *Acremonium*. Tego rodzaju substancje mogą także produkować rośliny wyższe. Przykładem bylicie (*Artemisia*) rosnące na półpustyniach wydzielają do podłoża terpeny (np. kamfory i alkaloidy (np. absyntyne), które pozwalają im kontrolować bezpośrednie otoczenie (por. rozmieszczenie równomierne).

5. **Amensalizm** — polega na tym, że czynności życiowe jednej populacji szkodzą drugiej, przy czym jest to tylko relacja jednostronna. Odróżnienie amensalizmu od innych oddziaływań antagonicznych może być trudne. Dość prostym przykładem są bobry, których żeremia zmieniają warunki wodne w biocenozach leśnych (zbývá duża wilgotność siedliska jest niekorzystna dla wielu roślin i zwierząt).

WAŻNĄ ROLĘ W PRZYRODZIE ODGRYWA TEŻ WSPÓŁPRACA

Obok interakcji antagonistycznych w biocenozach często wykształcają się **oddziaływania protekcyjnistyczne**. Można sobie łatwo wyobrazić sytuację, gdy współpraca międzygatunkowa jest opłacalna dla obu stron i większa ich możliwości adaptacyjne. Interakcje protekcyjnistyczne można ułożyć w pewien ciąg logiczny, odzwierciedlający określone tendencje ewolucyjne:

1. **Komensalizm** — najbardziej pierwotny typ oddziaływań protekcyjnistycznych, gdy populacja A odnosi korzyści z istnienia populacji B. Dla tej drugiej zaś istnienie i funkcjonowanie populacji A są obojętne.

Komensalizm jest zjawiskiem często spotykanym zarówno w świecie roślin jak i zwierząt. Najlepszym przykładem są tu przetrzani „dzicy lokatorzy”, wykorzystujący wytwory innych zwierząt lub nawet same osobniki jako miejsca schronienia. Tak żyje wiele chrząszczy i pająków w mrowiskach oraz termiterach. Liczne gatunki drobnych bezkręgowców zamieszkuje ciała gąbek i zakatki rafy koralowej. Nasza różanka (nie wielka rybka) składa swoją lkrę w skrzelach małży studkowodnych. Dzięki temu młody narybek znajduje ochronę w pierwszych dniach życia. Później opuszcza on ciało gospodarza, nie wyrządzając mu żadnej szkody. Z kolei sporo gatunków po prostu sprząta reszki „ze stołu” pozostawione przez silniejsze drapieżniki. Tak czynią np. kraby, wieloszczep, ryba pilot (ta ostatnia sprząta po rekinach). W tej sytuacji nie dziwi nawet zródłość terminu komensalizm od łacińskiego *cum* — razem i *mensa* — stół. Komensalami są także: nuzeniec ludzki, niektórzy mieszkający wosów i naskórka oraz przewodu pokarmowego, np. część bakterii jelitowych człowieka. Trzeba jednak pamiętać, że czasem trudne jest postawienie wyraźnej granicy, np. pomiędzy komensalizmem a pasażernictwem.

2. **Protokooperacja** — polega na współdziałaniu, w którym obie populacje odnoszą wzajemne korzyści. Jest to jednak dość luźny związek i oba gatunki potrafią się bez niego obejść (można byłoby nazwać to czasowym sojuszem). Przykład współżycia kraba pustelnika z ukwiatem zna chyba każdy uczeń, podobnie jak często pokazywane bąkojadki żółtodziobe, które oczyszczają skórę nosorożców i bawołów afrykańskich z larw bąków i kleszczy;

3. **Mutualizm** (od łac. *mutuus* — wzajemny) — jest najwyższą formą współpracy. Korzyści dla obu stron układu są wymierne, a wzajemne przystosowania tak silne, że życie poza układem praktycznie nie jest możliwe.

Do tego typu oddziaływań zalicza się m.in. [m]korzyzy (układy korzeń rośliny wyższej — grzyb), takie jak naszej sosny i dębów z przewdzikami, podgrzybkami, a nawet z maślakami] (por. klasa D) [Mutualizmem są także układy przezwawcze — ich „flora” żołądkowa (por. ROZDZ. 28), termity — wiciowce jelitowe (por. ROZDZ. 11)] [Te ostatnie związki zwykle są tak silne, że w czasie linii larw termitów pierwotniaki ulegają incystacji. W ten sposób unikają strawienia w czasie rozpuszczania nabołka jelita gospodarza. [Niektóre gatunki mrówek tropikalnych wręcz „uprawiają” w swoich gniazdach poletkę grzybów.] Praca tych owadów przypomina zabiegi agrotechniczne — jest więc nawożenie własnym kałem, dostarczanie liści jako pożywki i zbiór nadwyżki przyrostu, czyli płonu. Korzyści dla grzybów także są ewidentne — mrówki tworzą im bardzo korzystne warunki rozwoju, same zaś uzyskują dostęp do ogromnej bazy pokarmowej, jaką stanowi celuloza w liściach. Dla porównania związki pomiędzy niektórymi mrówkami, a mszycami mają już nieco luźniejszy charakter. Te pierwsze bromią roślin zajętych przez mszycę, w zamian otrzymują soki o dużej wartości odżywczej. Przykład ten jest o tyle nietypowy, że obie populacje mogą żyć osobno. Należałoby więc uznać go za protokooperację, jednak czasem, w tropikach zależność ta przybiera postać mutualizmu (usuniecie jednej populacji prowadzi do praktycznego wymarcia drugiej). Można unikać tego rodzaju problemów, używając pojęcia **symbioza** dla określenia wzajemnych stosunków protekcyjnistycznych. Jest to dopuszczalne, chociaż wyróżnia się symbiozy luźne i ... mutualistyczne.

W przypadku porostów mówienie o mutualizmie wydaje się oczywiste. Przypuszcza się bowiem, że długotrwała ewolucja pasażerów grzybów i ich gospodarzy doprowadziła do powstania zupełnie nowych, dwuskładnikowych organizmów. Plecha każdego porostu składa się z komponentu heterotroficznego — grzyba i autotroficznego — glonu albo sinicy. Jednak u

wielu gatunków porostów symbioza trwa dopóty, dopóki warunki są znośne dla grzyba. W czasie długotrwałego głodowania może on po prostu skonsumentować swojego partnera. Wreszcie, co ciekawsze, w porostach płciowo rozmnażają się tylko grzyby, dlatego niektórzy biolodzy nazywają tę zależność niewolnictwem (helotyzmem).

UWAGA: Jak widać próby „sznuflakowania” procesów zachodzących w przyrodzie napotykalą czasem na ograniczenia, które zmuszają do stosowania radykalnych uproszczeń lub wręcz naciągania faktów. Nie jest to rozwiązanie idealne, ale inaczej jednak trudno byłoby uporządkować naszą wiedzę.

Ten krótki przegląd możliwych relacji między populacyjnymi powinien uświadomić Ci, że w każdej biocenozie wykształcają się zależności o wielkiej skali złożoności. Tym bardziej, że np. jeden z dwóch protekcyjnystycznie nastawionych gatunków może być dla trzeciego ofiarą, dla czwartego zaś drapieżcą. W ten sposób tworzą się skomplikowane sieci zależności pokarmowych, które przedstawiono w następnym podrozdziale.

29. 4. Ekosystemy i ich rozwój

EKOSYSTEM JEST NAJPEŁNIEJSZĄ JEDNOSTKĄ EKOLOGICZNĄ

Ekosystemem nazywamy układ ekologiczny, który obejmuje wszystkie żywe organizmy żyjące na danym obszarze (a więc biocenozę), współdziałające ze środowiskiem nieożywionym (ogólnie: biotopem) w taki sposób, że przepływ energii i krążenie materii prowadzi do powstania wyraźnego źródnicowania biologicznego na wszystkich poziomach troficznych. Pomimo dużych różnic ekosystemem można nazwać las, ocean, łąkę, a nawet akwarium w twoim gabinecie biologicznym (jest ono jednak raczej mikrosystemem o stosunkowo niewielkiej samodzielności).

Z definicji wynika, że ekosystem tworzą dwa elementarne komponenty:

1. Biocenoza;
2. Środowisko nieożywione.

Zapewne pamiętasz, w obrębie tej pierwszej wyróżnić można trzy grupy organizmów: producentów, konsumentów i reducentów (por. Ryc. 196). Wiessz także, że ekosystem jest układem otwartym i wymaga stałego dostarczania energii z zewnątrz. Wykorzystują ją producenci, głównie fotoautotrofy, dlatego ich „zielona” biomasa skoncentrowana jest w najwyższych partiach ekosystemu — tam, gdzie dociera światło. Rozmieszczenie przestrzenne konsumentów jest już bardzo różne — widać to zarówno w lesie, jak i w zbiornikach wodnych. Organizmy ostatniego poziomu troficznego — reducenty z zasady bytują w najniższych partiach ekosystemu, tam gdzie gromadzi się martwa materia organiczna. Przestrzenne źródnicowanie ekosystemów widać szczególnie dobrze w zbiornikach wodnych, na przykład w jeziorach wyróżnia się trzy główne strefy:

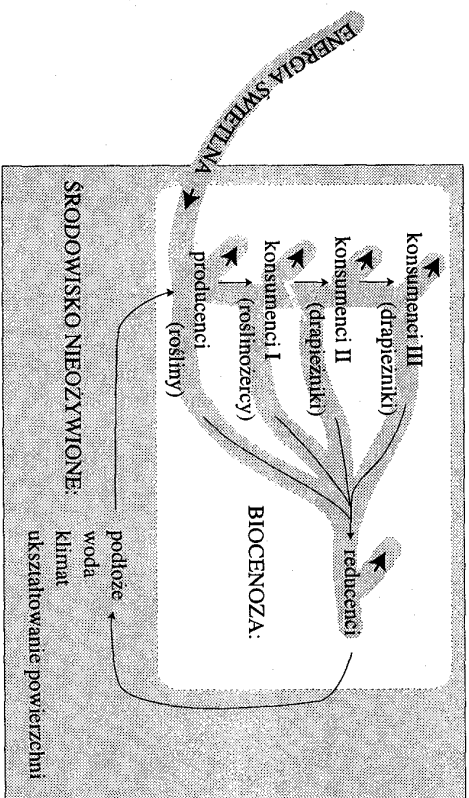
A) **litoralną** — płytkiej wody prześwietlonej do dna. Zajęta jest głównie przez roślinność wynurzoną (np. trzcinę, tatarak lub sitowie). Przejściowy charakter warunków powoduje, że można tu spotkać szereg wilgociolubnych zwierząt: ważki, łąki, ślimaki, żaby. Głębsze partie litoralu zajmują rośliny o liściach pływających (np. grążel żółty lub grzybień biały). W przybrzeżnej wodzie mogą żyć m.in. wypławki, pijawki, małże, larwy owadów i ryby: płoć, leszcz czy okoń;

B) **limnetyczną** (czasem pelagiczną) — otwartej toni wodnej do głębokości efektywnego przenikania światła. Większość mieszkańców tej strefy stanowią organizmy biernie unoszone w wodzie — **plankton**. Fitoplankton złożony jest z glonów, np. okrzemek, zieleńce i bruzdnice oraz z sinic (producenty). Z kolei zooplankton tworzą wrotki i bardzo drobne skorupiaki, np. wioślarki, takie jak dafnie oraz wioślonożki, do których zaliczamy np. oczliki. W polskich jeziorach **nekton** — organizmy aktywne poruszające się w toni wodnej tworzą wyłącznie ryby;

C) **profundalną** — obszaru głębokich wód poniżej poziomu efektywnego prześwietlenia oraz dna. Płytkie zbiorniki o przejrzystych wodach mogą nie mieć tej strefy. Profundal zamieszkuje przez heterotrofy. W toni wodnej są to: plankton zwierzęcy oraz nieliczne ryby, np. sielawa. Dno zamieszkuje **bentos** — organizmy związane z podłożem, np. tubifeksy, larwy ochokowatych.

Środowisko morskie jest mocniej źródnicowane, dlatego podział na strefy jest bardziej złożony. Tym niemniej można w nim wyróżnić podobne grupy ekologiczne organizmów takie jak w jeziorach.

UWAGA: Dany poziom troficzny tworzą wszystkie organizmy, zajmujące taką samą pozycję w łańcuchach pokarmowych (por. też niżej).



Ryc. 196. Słudniki ekosystemu.

Analizę struktury ekosystemu można przeprowadzić w kilku płaszczyszach problemowych:

1. Przepływu energii i krążenia materii;
2. Łańcuchów i sieci pokarmowych;
3. Rozwoju ekosystemów.

Nawet najprostszы organism żywy jest w rzeczywistości bardzo skomplikowanym, wyso- ce uporządkowanym układem, zbudowanym z ogromnej ilości cząsteczek. W zależności od po- trzeb związki te muszą być nieustannie syntetyzowane, przyswajane lub rozkładane, a nawet usuwane. Sterują tym bardzo złożone instrukcje zawarte w DNA. Niezależnie od tego jak skom- plikowane są to procesy, muszą one przebiegać zgodnie z podstawowymi prawami fizyki i che- mii. Przynajmniej utrzymanie wysokiego poziomu uporządkowania cząsteczek wymaga nie- ustannych nakładów energii. Przedstawmy tu pewne porównanie. Gdyby Twoje mieszkanie po- zostawić zupełnie bez opieki, to za kilkanaście lat panowałaby tam straszny brud. Bałagan byłby tym większy, że nie konserwowane okna rozpadłyby się i wewnątrz hulałyby wiatry. O porządku i czystości moglibyśmy zapomnieć. To zaś, że w naszych domach wciąż jest schludnie, za- wdzięczamy najczęściej wysiłkom mam, które ... dzień w dzień wydatkują swoją energię na utrzymanie wysokiego stopnia uporządkowania materii w naszych pokojach. Gdy zepsuje się krzesło lub lampa wkracza ojciec — on też ma swój udział w utrzymaniu porządku i wydatko- wuje na to energię. Jeśli naprawa nie jest możliwa, zniszczony przedmiot usuwa się, a na jego miejsce kupuje nowy. Można to porównać do wymiany materii. Jak widać zwykle gospodarstwo domowe jest niezłym modelem funkcjonowania układu biologicznego. Przykład ten powinien także uświadomić Ci, że układy tego rodzaju są zawsze otwarte energetycznie.

PRAWOM FIZYKI I CHEMII PODPORZĄDKOWANE SĄ WSZYSTKIE UKŁADY ŻYWE

Ogólnie wynika to z faktu, że wszelkim przejawom życia towarzyszą zawsze przemiany energii i materii. Rzecz w tym, iż na wszystkich poziomach ekologicznych mamy do czynienia z wielką złożonością budowy i komplikacją oddziaływań wewnątrzsystemowych (większą niż w pojedynczym organizmie), dlatego zbadanie, np. przemian energetycznych w populacji, nie mówiąc już o całym ekosystemie napotyka na poważne trudności metodologiczne. Z koniecz- ności więc próby opisu funkcjonowania przyrody zawsze mają charakter uproszczeń, podobnie jak modele wykorzystywane do ich obrazowania.

Przejdźmy teraz do zagadnień związanych z energią i zacznijmy od tego, że jej „zachowa- nie się” opisują prawa termodynamiki. Wynika z nich, że energia:

1. Nigdy nie powstaje, ani nie znika;
2. Przyjmuje różną postać, która może się zmieniać (np. elektryczna w mechaniczną);
3. Ulega samorzutnemu rozpraszaniu. Podstawową przyczyną tego zjawiska jest wydajność pro- cesów zachodzących w przyrodzie. Nigdy nie wynosi ona 100% i dlatego zawsze jakaś część energii jest tracona.

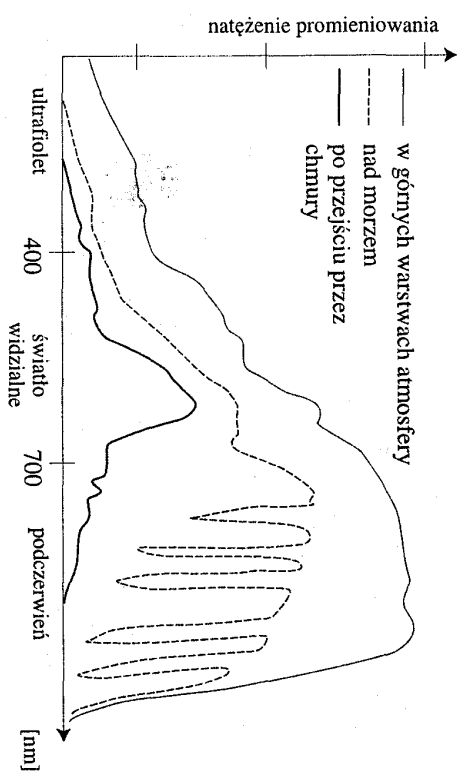
Dodajmy do tego problemy wynikające z „delikatnej” budowy chemicznej wszystkich zna- nych organizmów. Podstawowe związki, czyli białka są makrocząsteczkami o złożonej budowie chemicznej i fizycznej. Jednocześnie łatwo ulegają denaturacji, np. pod wpływem temperatury wyższej niż 50°C, dlatego organizmy żywe mogą funkcjonować tylko w pewnym, wąskim za- kresie poziomów energetycznych i to, jeśli zachodzące w nich przemiany nie będą zbyt gwałtowne.

Wszystkie układy żywe, w tym ekologiczne, są zdolne do przekształcania różnych form energii. Przemianom tym zawsze towarzyszą straty, dlatego istnieje konieczność stałego dostar- czania energii z zewnątrz. Podobnie jest z pojedynczym mieszkaniem, jak i z całą cywilizacją człowieka — mogą one funkcjonować tylko wtedy, jeśli dysponują określonymi źródłami ener- gii. Różnica polega na tym, że przyroda korzysta głównie z „czystej” energii słonecznej, a my z energii chemicznej paliw kopalnych oraz jądrowej.

Organizmy żywe preferują pewne formy energii, ponieważ mogą je dość łatwo przekształcać i magazynować. Większość energii, która jest do dyspozycji organizmów żywych, stanowi **światło** i inne rodzaje promieniowania słonecznego. Aktywność naszej gwiazdy macierzystej powoduje, że do górnych warstw atmosfery ziemskiej dociera średnio ok. 8,3 J/cm²/min. energii. Przy prze- chodzeniu przez atmosferę straty wynoszą 30—33%. Później pewna część energii absorbowana jest przez chmurę i wilgoć w powietrzu (15—50% ilości początkowej). W sumie więc w strefie klimatu umiarkowanego do powierzchni roślin zielonych dociera ok. 4,46—6,10 kJ/m²/rok. Naj- prawdopodobniej większa część promieni naszego globu (z wyjątkiem okolic okołobieguno- wych i tropikalnych pustyń) otrzymuje energię świetlną w ilości od 1,52 do 1,22 kJ/m²/rok. Są to tylko wartości średnie, ponieważ to, jaką dawkę energii otrzyma konkretny teren, zależy od wie- lu czynników, np. położenia geograficznego, warunków pogodowych i ukształtowania powierzchni (por. Ryc. 197).

Energia dochodząca do powierzchni Ziemi składa się z: promieni ultrafioletowych (ok. 10%), widzialnych (ok. 45%) i podczerwonych (ok. 45%). Ogólną sytuację można przedstawić następująco:

1. Skodliwe dla żywych organizmów **promienie ultrafioletowe** o dł. fali do 400 nm są silnie pochłaniane przez warstwę ozonu (O₃, por. jednak ROZDZ. 30);
2. **Promienie pasma widzialnego** najsilniej pochłaniane są przez rośliny zielone, ponieważ ich **chlorofil** ma maksima absorpcji dla fal o dł. ok. 450 nm (światło niebieskie) i dł. ok. 680 nm (światło czerwone). Stąd bierze się wysoka użyteczność tej formy energii dla fotoautotrofów. Cechą promieni w paśmie widzialnym jest ponadto duża zdolność przenikania przez powłokę cinnur. Dzięki temu skuteczna fotosynteza może zachodzić także w dni pochmurne;
3. **Promienie pasma podczerwieni** o dł. fali powyżej 700 nm, szczególnie tzw. bliższej, są silnie absorbowane przez chmurę, parę wodną i wodę w liściach. W tym zakresie widma niesione są największe dawki energii termicznej. Ciepło zaś jest niezbędne do przeprowadzania czynno- ści życiowych (przypomnij sobie możliwości adaptacyjne zimno- i stałocieplnych). Problem tkwi w tym, że energię ciepłą trudno przekształcać w inne formy, a nawet magazynować. Jednocześnie większe odchylenia temperatury są bardzo niebezpieczne dla wszystkich *Euca- ryota*.



Ryc. 197. Energia słoneczna docierająca do Ziemi w strefie umiarkowanej. Zwróć uwagę na zmiany po przej- ściu przez atmo- sferę.

ENERGIE ŚWIETLNA MOŻNA UZNAĆ ZA WYSOCE UŻYTECZNĄ DLA ROŚLIN

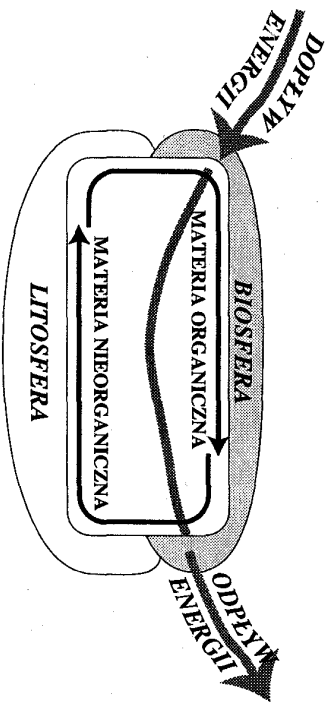
Aparat fotosyntezy roślin zielonych pozwala im zamieniać energię świetlną Słońca na chemiczną asymilatów. W samym procesie fotosyntezy wydajność tych przemian sięga tylko (lub aż) ok. 30%. Reszta energii rozprasza się, głównie w postaci ciepła. W rzeczywistości, w warunkach naturalnych straty są jeszcze większe. Jeśli weźmiemy pod uwagę ogólną ilość energii docierającej do warstwy autotrofów, to wydajność spada do kilku procent (zastanów się, dlaczego?). Tym niemniej w skali globalnej ilość energii chemicznej związanej w asymilatach jest ogromna i w zupełności wystarcza do pokrycia zapotrzebowania heterotrofów, stąd wziął się podział organizmów na producentów i konsumentów.

Wniosek: Jeśli przyjąć, że w przyrodzie dostępne są głównie trzy formy energii, to:

- światła jest wysoce użyteczna dla fotoautotrofów;
- chemiczna jest wysoce użyteczna dla wszystkich organizmów;
- ciepła jest mało użyteczna, chociaż niezbędna.

PRZEMIANY ENERGII TOWARZYSZĄ PRZEMIANOM MATERII

Każdy żywy organizm cechuje zdolność do przemiany materii i energii, czyli **metabolizmu** (pomijam tu kontroleryjne wirusy). Jego intensywność zależy m.in. od sposobu oddziaływania, wielkości, wieku i warunków siedliskowych danego organizmu. Podobnie rzecz ma się z systemami ekologicznymi, takimi jak biocenozy i ekosystemy. W zależności od wielkości, składu gatunkowego, relacji wewnętrznych i warunków abiotycznych przemiany przebiegają w nich nieco odmiennie.



Ryc. 198. Krążenie materii i przepływ energii w przyrodzie.

Podstawę funkcjonowania prawie wszystkich ekosystemów stanowią rośliny zielone. W ciągu roku potrafią one wytworzyć około 10¹⁷ g (100 miliardów ton) materii organicznej. Tym samym tworzą ogromną bazę pokarmową dla wszystkich heterotrofów. Procesy życiowe, takie jak oddychanie, prowadzą rokrocznie do rozłożenia podobnej ilości materii organicznej na dwutlenek węgla i wodę. W ten sposób utrzymuje się globalna równowaga w bilansie kluczowych pierwiastków biogenych: węgla, tlenu, wodoru i azotu. Materia krąży więc w środowisku głównie dzięki przemianom żywych organizmów (por. Ryc. 198). Dla ekologicznych bardzo ważna jest możliwość śledzenia dróg krążenia poszczególnych pierwiastków. W ten sposób można ocenić, m.in. skutki eksploatacji i przemysłowego wykorzystania złóż surowców mineralnych.

GLOBALNY OBIEG PIERWIASTKA NAZYWAMY CYKLEM BIOGEOCHEMICZNYM

W każdym cyklu dość łatwo można wyróżnić dwie części zasobów danego pierwiastka:

1. **Pulę zasobów**, czyli podstawową część całkowitej ilości pierwiastka, która znajduje się w formie nieorganicznej poza ciałami organizmów żywych. Przemiany w niej zachodzące mają charakter abiotyczny;

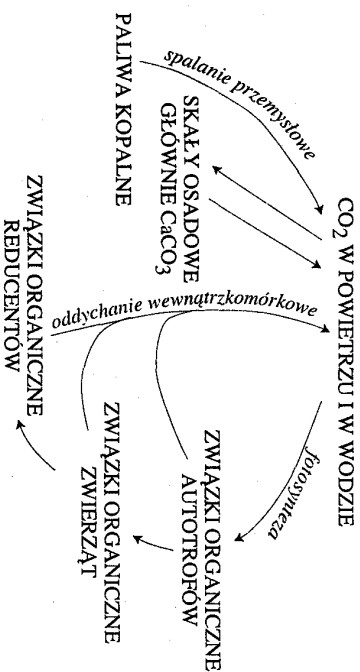
2. **Pulę wymienną**, czyli tę część pierwiastka, która znajduje się w żywych organizmach i ich bezpośrednim środowisku. Cechują ją znacznie szybsze przemiany o charakterze biotycznym.

W zależności od tego, jakiego typu jest pula zasobów, cykle biogeochemiczne dzieli się na:

1. **Gazowe** — podstawowy zapas pierwiastka znajduje się w atmosferze lub jest rozpuszczony w oceanach, np. C, N₂ i O₂;

2. **Sedymentacyjne** — tutaj pula zasobów znajduje się w skorupie ziemskiej, np. P, S, Fe.

Dla naszych celów wystarczy poznanie obiegu dwóch ważnych pierwiastków biogenych: węgla i azotu. W pierwszym przypadku mamy do czynienia z nietypową sytuacją. Równowaga pomiędzy pulą zasobów, a pulą krążącą wynika głównie z dużej intensywności fotosyntezy i procesów oddychania (por. Ryc. 199). Dwutlenek węgla rozpuszczony w wodzie i zawarty w atmosferze jest bardzo skutecznie asymilowany i jego zapas szybko uległby wyczerpaniu. Wyczerpaniu puli zasobów przeciwdziała jedynie wysokie tempo procesów oddychających. W ostatnich latach równowaga przesuwana jest w stronę CO₂ w atmosferze. Przyczyną jest emisja tego gazu przez przemysł i środki transportu oraz wycinanie lasów. Niebezpieczeństwo tkwi zaś w narastającym efekcie cieplarnianym.

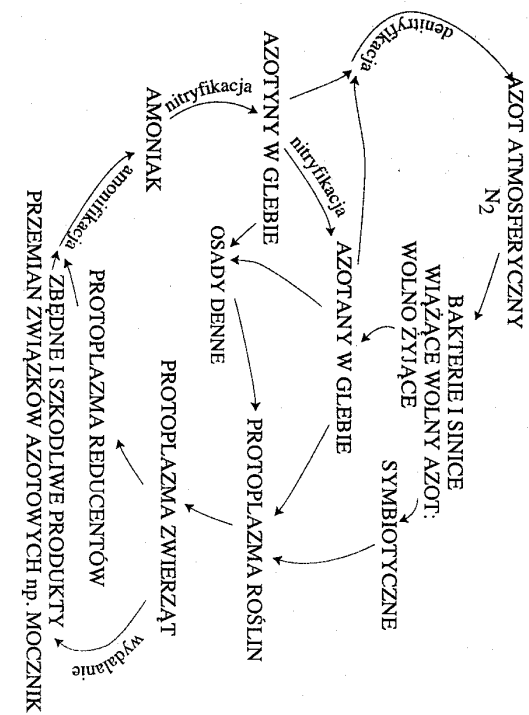


Ryc. 199. Cykl biogeochemiczny węgla w przyrodzie.

W przypadku azotu pula zasobów jest zdecydowanie bardziej stabilna (por. Ryc. 200). Przede wszystkim dlatego, że azot atmosferyczny jest praktycznie nieprzyswajalny dla organizmów wyższych. Wbudowanie tego pierwiastka w proto-

plazmę wymaga dużych nakładów energii i specyficznego aparatu enzymatycznego. Dysponują nim wyłącznie niektóre bakterie i sinice. Szczególnie duże znaczenie mają te pierwsze. Do najpospolitszych zaliczamy *Cyanozomy*, wolno żyjące w glebie z rodzajów: *Azotobacter* (tlenowe) i *Clostridium* (beztlenowe). Jeszcze więcej wolnego azotu wiążą symbiotyczne bakterie brodawkowe z rodzaju *Rhizobium*, które rozwijają się w korzeniach roślin motylkowych, stąd celowe jest stosowanie w rolnictwie płodociznianów z udziałem takich gatunków. W Azji wykazano, że to sinice warunkują żyźność pól ryżowych, a przeciwieś stosowanie niektórych środków ochrony roślin zabija je skutecznie. Jak wykazały badania przeprowadzone w latach sześćdziesiątych obróbkę biochemiczną azotu cząsteczkowego potrafią skutecznie przeprowadzać także inne *Procarvoria* i to zarówno heterotroficzne, jak i autotroficzne.

Oceńa się, że średnio ok. 95% azotu wiąże żywe organizmy, a jedynie ok. 5% pochodzi z wyładowań elektrycznych i zjawisk fotochemicznych w atmosferze. Sprowadzony do postaci jonowej azot jest wbudowywany w białka i kwasy nukleinowe roślin, a następnie zjadających je zwierząt. Związki organiczne zawierające azot znajdują się w wydalinach zwierząt i stanowią sporą część biomasy obumarłych organizmów. Ulegają one rozkładowi, a azot ulega mineralizacji do amoniaku — nazywamy to **amoniifikacją**. W takiej postaci ulega **nitryfikacji** do azotynów i dalej do azotanów. Oba etapy przeprowadzają chemoautotrofy: pierwszy z rodzaju *Nitrosomonas*, drugi z rodzaju *Nitrobacter*. Sole azotowe są zaś przyswajalne dla roślin zielonych i w ten sposób cykl się zamyka. Nie zapominajmy jednak, że wiązane wolnego azotu równoważone jest przez procesy denitryfikacyjne przeprowadzane przez niektóre bakterie. Ponadto część materiału organicznego opada na dno oceanów i ulega wycofaniu z obiegu. Częściowo zapobiegają temu zjawisku prądy morskie, które wynoszą wody z głębin pod powierzchnię. Tam sole azotowe wykorzystywane są głównie przez fitoplankton i w ten sposób wprowadzane ponownie do puli krążącej.



Ryc. 200. Obieg azotu w przyrodzie.

UWAGA: 1. Krążenie pierwiastków można wykażać także na poziomie ekosystemalnym.
2. Krążenie wody w przyrodzie jest także cyklem biogeochemicznym i zostało zanalizowane w ROZDZ. 30.

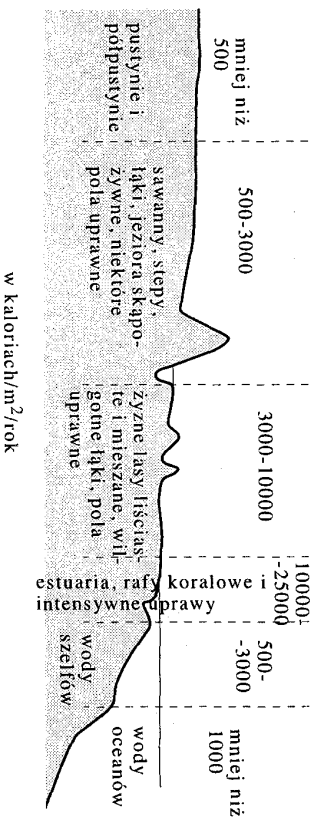
Jak widać, obieg materii w przyrodzie wynika głównie z przemian biochemicznych zachodzących w organizmach żywych. Naturalnie pojawia się też kilka zasadniczych pytań, dotyczących bilansów energetycznych i oceny wpływu człowieka na cykle biogeochemiczne. Jest to tym ważniejsze, że w wielu przypadkach eksploatacja surowców mineralnych i niewłaściwe ich wykorzystanie prowadzi do zaburzenia równowagi pomiędzy pulami. Z jednej strony w wielu miejscach Ziemi gromadzone są odpady zawierające, np. duże ilości cynku, żelaza, magnezu i miedzi, a z drugiej w innych zupełnie ich brakuje. Przemysłowa działalność człowieka przyspiesza większość obiegów i powoduje poważne zaburzenia w funkcjonowaniu ekosystemów, dlatego musimy w przyszłości ograniczyć zużycie surowców i upowszechnić metody odzyskiwania ich z odpadów — celem wielokrotnego użycia (w języku angielskim nazywa to się *recycling*).

Dla naszej cywilizacji ważne jest też oszacowanie energetycznych możliwości układów ekologicznych naszej planety. Od tego zależy bowiem m.in. odpowiedź na pytanie: jak dużo ludzi można wyżywić na naszej planecie (pomijając zupełnie standard życiowy)? Jeśli pod koniec lat sześćdziesiątych średnio 1 człowiek przypadł na 4 ha łądu, to w latach 90-tych już tylko

na nieco ponad 2 ha. Biorąc zaś pod uwagę stale zmniejszanie arealu gruntów rolniczych i wzrost obszarów skażonych, proporcje te są bardzo złe. Oprócz działań ochroniarskich (por. ROZDZ. 30) ważne są także badania możliwości troficznych różnych biocenoz i ekosystemów.

PODSTAWĄ JEST ZROZUMIENIE ZNACZENIA PRODUKTYWNOŚCI

Zacznijmy jessze raz od tego, że producenci przekształcają energię świetlną w energię chemiczną związków organicznych. Wskaznikiem tempa, w jakim to czynią, jest **produktywność pierwotna**. Z kolei część zgromadzonej w ten sposób materii jest wykorzystywana przez konsumentów do produkcji ich własnej biomasy. Szybkość, z jaką tego dokonują, to **produktywność wtórna**. W rzeczywistości przyrost biomasy autotrofów w jednostce czasu, który obserwujemy i możemy bezpośrednio określić, jest tylko **produktywnością pierwotną netto**. Realne tempo fotosyntezy jest zawsze większe, ale część zakumulowanej energii rośliny muszą przeznaczyć na pokrycie własnych procesów oddechowych. Gdybyśmy więc zdołali poznać koszty utrzymania, pozwoliłoby to na określenie **produktywności pierwotnej brutto** danego układu biologicznego (produktywność pierwotna netto + koszty utrzymania = produktywność pierwotna brutto). Podobnie przedstawia się sytuacja na poziomach konsumencckich. Przyrosty biomasy heterotrofów w jednostce czasu obserwowane w przyrodzie to produktywność wtórna netto. Jeśli dodamy do tego koszty utrzymania, uzyskamy **produktywność wtórną brutto**. Jak już wspomniano, producenci są w stanie zakumulować ok. 1—5 % energii docierającej do ich poziomu (nazywamy to **wydajnością ekologiczną** pierwszego poziomu troficznego). Z tej ilości ok. 50% zużywają na własne potrzeby, tak więc dla heterotrofów pozostaje 0,5—2,5%. W wartościach bezwzględnych przedstawia się to następująco: na ok. 5 x 10⁶ kJ/m²/rok energii promieniowania słonecznego produkcja pierwotna brutto obszarów łądowych wynosi ok. 4,2 x 10⁴ kJ/m²/rok, a netto jest dwa razy mniejsza. Nie możemy też zapominać, że produktywność różnych ekosystemów waha się w dużych granicach (por. Ryc. 201).



Ryc. 201. Produktywność niektórych typów ekosystemów. Zwróć uwagę na skalę różnic.

Wydajność ekologiczna kolejnych poziomów konsumentów wynosi ok. 10—20%. W znacznym stopniu zależy to od przyswajalności pokarmu, a także od strat energii na utrzymanie równowagi cieplnej (zastanów się, jakie to zależności?). Graficzny obraz ilości energii przyswajanej i akumulowanej na danym poziomie przyjmuje więc postać piramidy ostro zwężającej się ku szczytowi (por. Ryc. 202). Zauważ, że ilość dostępnej energii maleje w tempie wykładniczym i dlatego w przyrodzie maksymalnie (i to bardzo rzadko) funkcjonuje 10 poziomów troficznych. Zwykle są zaś trzy do pięciu (por. niżej analiza biocenoz). Poza tym większa liczba poziomów

nym zastępowaniu określonych zbiorowisk roślinnych i tworzących ich populacji zwierzęcych przez zbiorowiska roślinne i populacje zwierzęce coraz bardziej złożone. Przejściowe stadia sukcesyjne określa się mianem seralnych, a cały ich szereg to sera. Ostateczna postać ekosystemu, która wykształca się w określonych warunkach klimatyczno-geologicznych nazywa się **klimaksem** (por. Ryc. 204). Tak więc uproszczony schemat ogólny sukcesji można przedstawić następująco:

stadium seralne 1 → stadium seralne 2 → stadium seralne 3 → → klimaks

UWAGA: Pojęcia sera i klimaks można odnosić zarówno do ekosystemów, jak i do biocenoz.

Sukcesja może zaczynać się na terenie uprzednio nie zajętym przez żadną biocenozę. Wówczas nazywamy ją **sukcesją pierwotną**. Przykładami mogą być: zarastanie odśnieżonego zbocza klifowego albo stoków wulkanu pokrytych popiołami wulkanicznymi. Znacznie częściej mamy jednak do czynienia z **sukcesją wtórną**. Sytuacja taka wydarza się gdy biocenoza rozwija się na terenie zajętym wcześniej przez inną. Przykładów jest wiele, wspomnijmy więc tylko kilka: wyręby, obszary okresowo zalwane, pożaryska, ugory.

Trzeba pamiętać, że sukcesja jest procesem długotrwałym. W naszych warunkach klimatycznych sukcesja pierwotna od piasku do lasu trwa ok. 1 000 lat. Jeśli las rozwijać się będzie na porzuconym polu sukcesja wtórna zajmie już tylko (?) ok. 200 lat (zarastanów się, dlaczego?). Znacznie gorzej przedstawia się sytuacja w strefach tropikalnych, szczególnie wilgotnych lasów równikowych (por. ROZDZ. 31). Wycinanie tych lasów prowadzi do odśnieżenia gleb, które są bardzo podatne na erozję wodną. Przy tej ilości opadów skutkiem jest gwałtowne ubożenie podłoża. W takich warunkach sukcesja wtórna prowadzi do wykształcania formacji zarostowych i lasopodobnych. Wielu ekologów jest zdania, że pierwotna postać tych ekosystemów nie zostanie odtworzona wcześniej niż za 10 000 lat albo wcale!

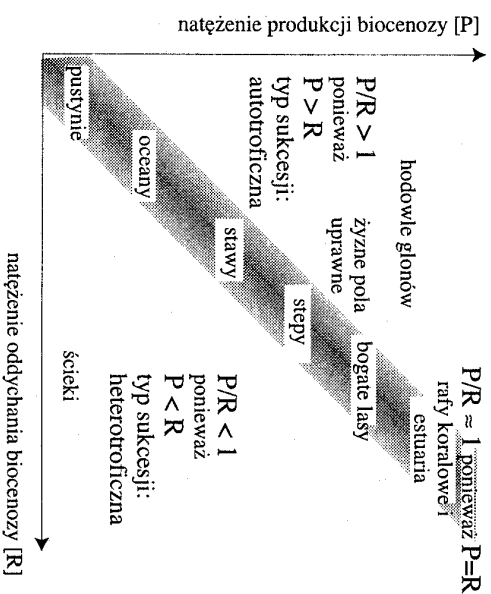
Prześledźmy teraz uproszczony opis zarastania nadmorskiej wydmy jako przykładu sukcesji pierwotnej. Materiałem budulcowym podłoża wydmy jest jałowy piasek. Dodatkowo problem stanowi duża przesłalność piasku i jego zasolenie. Organizmami pionierskimi, które rozwijają się w takich warunkach są głównie trawy psakolubne (zw. psammofity), umacniające podłoże. Wśród pionierów wkrótce pojawiają się m.in. porosty, turzycy psakolubne, młokotki nadmorskie. Przywędrują one z różnych okolic, początkowo z najbliższej położonych później także z dalszych. Ci pierwsi przybysze wywierają niły wpływ na siebie i na podłoże. W miarę zwiększania się liczebności populacji zagęszczenie będzie rosnąć i oddziaływanie nasili się. Umożliwia to gromadzenie nawiewanego pyłu i niewielkich ilości detrytusów wokół organizmów pionierskich. Już te drobne zmiany siedliskowe pozwalają wkróczyć na wydymę innym gatunkom traw, koczankom i bratkowi nadmorskiemu.

Po jakimś czasie ich rozwój ograniczy występowanie gatunków pionierskich, gdyż następcy osiągną większą biomasę i intensywniej fotosyntetyzują. W ten sposób nasila się odkładanie materiału organicznego w podłożu. Umożliwia to wkraczanie licznych drobnych organizmów przyspieszających procesy glebotwórcze (np. wrotków i nicieni). W tym momencie można już powiedzieć, że pierwotnie martwe podłoże zmienia swoje właściwości fizyko-chemiczne nabierając cech gleby piaszczystej. Kolejne stadium seralne wykazywać już będzie dominację krzewinek i krzewów, np. wrzośtu i wierzby psakolubnej. Wzrośnie wówczas liczba gatunków owadów i pajęczaków. Zmiany mikroklimatyczne i rozwój gleby zwiększą atrakcyjność siedliska, dlatego coraz więcej gatunków będzie ze sobą konkurowało o pokarm, wodę, światło itd. Zmiana warunków umożliwiłi później wzrost sosen. W naszym przykładzie stadium najpełniej rozwiniętym, klimaksowym będzie nadmorski bor sosnowy. Jak widać, skład gatunkowy oraz dominacja form

w kolejnych stadiach sery ulegają zmianie, podobnie jak warunki siedliskowe. W przybliżeniu można byłoby przedstawić to następująco: piasek wydmy, zbiorowiska traw psakolubnych, zbiorowiska roślin zielnych i traw, zbiorowiska krzewiaste i na końcu las.

SUKCESJA JEST TAKŻE ZARASTANIE JEZIOR

Jest to normalny proces zachodzący w naszej strefie klimatycznej, wynikający głównie z gromadzenia się osadów na dnie zbiorników wodnych. Akumulacja prowadzi do spłycania toni wodnej i umożliwia porastanie dna roślinnością podwodną. Jednocześnie od strony brzegu jezior śródleśnych często nasuwają się torfowiska, które zmniejszają powierzchnię toni lustra wody jeszcze bardziej. Poza tym w starszych partiach torfowiska sukcesja umożliwia wchodzenie sosen, co dodatkowo umacnia podłoże. W ten sposób po kilku tysiącach lat może dojść do całkowitego zarosnięcia dużego jeziora. Ogólnie rzecz biorąc naturalne tempo tych procesów jest wolne i nie stanowi problemu gospodarce ani społecznej. Niestety chemizacja rolnictwa oraz przemysłu spożywczego wywołała w Polsce (i nie tylko) bardzo niekorzystne zmiany. Tak się bowiem składa, że np. nadmierne nawożenie pól prowadzi do wymywania znacznej części soli mineralnych (głównie azotowych i potasowych). Siłą rzeczy trafiają one do zbiorników wodnych, wywołując zjawisko przenawożenia, czyli **eutrofizacji**. Wzrastająca żywność zbiornika wodnego jest powodem gwałtownego rozwoju glonów, szczególnie nitkowatych i sinic. Gdy tak duża biomasa obumiera, destruenti szybko zużywają cały zapas tlenu rozpuszczonego w wodzie. Wówczas rozpoczynają się procesy rozkładu beztlenowego, co prowadzi do zaturcja zbiornika. Głównie w nim zwiększają się procesy rozkładu beztlenowego. Jednocześnie akumulacja materiału na dnie wielokrotnie przyspiesza zarastanie. Przeciwdziałanie eutrofizacji jest więc bardzo ważnym zadaniem gospodarcy. Osiąganie tego celu możliwe jest m.in. poprzez racjonalizację nawożenia pól, utworzenie pasów roślinności wysokiej wokół jezior i na brzegach rzek oraz oczyszczanie ścieków. W polskich warunkach należy jeszcze uwzględnić procesy restrykcji już zanieczyszczonych jezior i rzek (por. ROZDZ. 30).



Ryc. 204.

Podział ekosystemów uwzględniający bilans produkcji (P) i rozkładu, czyli kosztów utrzymania (R). Zwróć uwagę, że na przekątnej umieszczono ekosystemy klimaksowe.

W przeciętnych warunkach sukcesja ma charakter **autotroficzny** (por. Ryc. 204). Oznacza to, że rozwój przebiega od biocenozy prostszej do bardziej złożonych dzięki przewadze akumulacji własnej (wynikającej z produktywności fotoautotrofów). Innymi słowy, w takich biocenozach produkcja pierwotna brutto (P) jest większa od zużycia energii na utrzymanie całego układu (R). Sukcesja autotroficzna trwa dopóki wartość przyrostu biomasy autotrofów przeważa nad kosztami oddychania (respiracji) całego układu (por. lewa strona Ryc. 204). Po osiągnięciu stadium klimaksowego P/R = w przybliżeniu 1. Do sukcesji **heterotroficznej** dochodzi tylko w

bardzo specyficznych warunkach, tam gdzie niemożliwa lub bardzo ograniczona jest aktywność autotrofów. Takie układy mają P mniejsze od R i dlatego uzależnione są od dostaw materii i energii z zewnątrz. W naturze sytuacja taka występuje np. w jaskiniach i strefie afotycznej zbiorników wodnych. Przyczyną mogą być także ścieki odprowadzane przez człowieka.

Porównanie stadiów seralnych i klimaksowych prowadzi do kilku spostrzeżeń. Przede wszystkim te pierwsze mają mniejszy poziom zakumulowanej biomasy. Te ostatnie są zasobniejsze w gatunki, interakcje międzygatunkowe są bardziej złożone (np. przewidują sieci zależności pokarmowych), a warunki preferują selekcję typu „K”. Wreszcie stadia klimaksowe mają wyższy poziom ogólnej homeostazy i są bardziej odporne na działanie czynników zakłócających. Powinno o tym dobrze pamiętać, np. gdy tworzymy głównie monokultury sosnowe nieodporne na zanieczyszczenia i gradacje szkodników. Nie powinno też dziwić nas używanie tak dużych ilości środków ochrony (najczęściej silnych trucizn) na naszych polach uprawnych. Te ostatnie są przecież pyimitywnymi **agrocenozami** sztucznie utrzymywanyimi na niskim poziomie sukcesji. Na koniec dodajmy jeszcze, że na obszarach silnie zdewastowanych powstają **biocenozy kadłubowe**, które nie mogą spełniać swoich funkcji biologicznych.

Pytania i polecenia kontrolne:

1. Jakie zjawiska bada ekologia?
2. Wyjaśnij pojęcie niszy ekologicznej.
3. Omów rodzaje rozmieszczenia osobników w obrębie arealu populacji.
4. Omów cechy charakterystyczne populacji.
5. Jak wpływa na populację nadmierne zagęszczenie?
6. Jakie czynniki wpływają na strukturę populacji?
7. Przedstaw typy oddziaływań w biocenozie.
8. Podaj przykład konkurencji dwóch wyspecjalizowanych gatunków o podobnych wymaganiach ekologicznych. Jakie mogą być skutki tego zjawiska?
9. Wykaż istotne różnice między drapieżnictwem a pasażerostwem.
10. Jakie jest znaczenie zjawiska allelopatii w przyrodzie? Jak człowiek wykorzystuje to zjawisko?
11. Na wybranych przykładach wskaż podobieństwa i różnice między protokooperacją i mutualizmem.
12. Na wykresach przedstaw zakresy tolerancji na zmiany temperatury środowiska dwóch wybranych gatunków: eurytermicznego i stenotermicznego.
13. Zinterpretuj prawo minimum Liebiga.
14. Jakich zjawisk dotyczy prawo tolerancji Shelford'a?
15. Wyjaśnij różnice między stanowiskiem a siedliskiem.
16. Od jakich czynników zależy rozrodność organizmów?
17. Wyjaśnij termin „śmiertelność minimalna” i „śmiertelność ekologiczna”.

18. Przedstaw schematycznie piramidę wiekową populacji ludzkiej w XX wieku.
19. Wykresł krzywe przeżywania zwierząt:

- a) o dużej rozrodności i rozwiniętej opiece nad potomstwem;
- b) wydających liczne potomstwo pozabawione zupełnie opieki;
- c) u których śmiertelność jest duża u młodych, maleje wśród dorosłych i wzrasta w czasie starzenia się.

20. Omów strukturę ekosystemu.
21. Przedstaw schematycznie obieg materii i przepływ energii w ekosystemie.
22. Jaki wpływ na prawidłowe funkcjonowanie ekosystemu mają redukcenci?
- *23. Na wybranych przykładzie wyjaśnij, jak może dojść do zachwiania równowagi w biocenozie?
- *24. W jaki sposób człowiek może przywrócić równowagę w biocenozie?
- *25. Na wybranych przykładzie wykaż, że opór środowiska nie jest wielkością stałą.
- *26. Omów strategie rozrodcze zwierząt.
- *27. Na wybranych przykładzie wyjaśnij, co oznacza termin „optimum siedliskowe”?
- *28. Wyjaśnij, w jaki sposób pasażerostwo może spełniać funkcję regulatora zagęszczenia?
29. Przedstaw wykresy zakresów tolerancji przykładowych oligostenobiontów i polistenobiontów?
- *30. Jakie znaczenie medyczne i gospodarcze ma znajomość tolerancji różnych bakterii na zmiany pH środowiska?
- *31. Który sposób rozmieszczenia przestrzennego populacji uważasz za najkorzystniejszy dla organizmu — odpowiedź uzasadnij.

30. Ochrona środowiska

Środowisko tworzą wszystkie otaczające nas, wzajemnie powiązane elementy, takie jak: warunki geologiczne, hydrologiczne, atmosferyczne i przyrodnicze. Do wymienionych czynników zalicza się także człowieka i jego działania.

PRZYRODA JEST NIEZASTĄPIONYM ŚRODOWISKIEM ŻYCIA DLA KAŻDEGO CZŁOWIEKA

W świadomości większości ludzi ochrona otaczającego nas świata jest naturalną koniecznością. Z tej przyczyny w konstytucjach wszystkich państw rozwiniętych wpisane są artykuły o szczególnej trosce i opiece nad przyrodą. Natomiast jak wygląda rzeczywistość, większość z nas może zobaczyć na własne oczy. Musimy już dzisiaj powiedzieć sobie wprost:

NIE KOEGZYSTUJEMY Z PRZYRODĄ — MY JĄ RABUNKOWO EKSPLOATUJEMY

Z całą pewnością, jeśli nie zmienimy globalnej strategii rozwoju, zniszczymy świat jaki znamy. Nie są to tylko czcze słowa, ale realna groźba. Zanim jednak zastanowimy się, co robić, spróbujmy przedstawić ogólną sytuację.

Środowisko przyrodnicze kształtowało się w procesach geologicznych, klimatycznych i ewolucyjnych przez wiele milionów lat. Osiągnięty stan homeostazy globalnej przez większą część czasu istnienia naszej cywilizacji pozostawał nie zakłócony. Co prawda już kilka tysięcy lat temu doszło do odlesienia wybrzeży M. Śródziemnego, ale tego typu zakłóceń było mało i nie miały one istotnego wpływu na stan równowagi ogólnej. Praktycznie dopiero rewolucja naukowo-techniczna XIX w. zapoczątkowała proces gwałtownych zmian, których tempo wciąż się nasila.

Obecnie zagrożone są wszystkie zasoby przyrody, na które składają się elementy mierzalne i niemierzalne. Do tych pierwszych zaliczamy różne rodzaje energii (np. spadku i falowania wód, wiatrową, słoneczną i geotermiczną) oraz materii (np. bogactwa naturalne, wodę, glebę, powietrze i organizmy żywe). Do tych drugich zaś np. krajobrazy.

Z gospodarczego punktu widzenia zasoby przyrody można podzielić na:

1. Niewyczerpalne takie jak: prądy mójrz i falowanie, energię spadku wód, wiatry oraz energię słoneczną;

2. Wyczerpalne, które dzieli się na:

A. **Nieodnawialne** — te elementy środowiska, których użytkowanie prowadzi do ich wyczerpywania się. Dzieje się tak, ponieważ zasoby te powstają w bardzo długich okresach geologicznych, trwających często miliony lat (np. węgiel kamienny powstaje ok. 300 mln lat). Do zasobów nieodnawialnych zalicza się paliwa stałe (węgiel kamienny i brunatny), ropę, złoża rud żelaza, manganu, cynku itd.

B. **Odnawialne** — takie elementy środowiska, które ulegają ciągłemu, dość szybkiemu odnawianiu. Zalicza się tu rośliny, zwierzęta, wody powierzchniowe, gleby i powietrze atmosferyczne. Dodajmy od razu, że jeszcze niedawno wielu ludzi traktowało sformułowanie „odnawialne” totalnie. Człowiek miał ujarzmić i czerpać z niezniszczalnej przyrody wszy-

stko — w zasadzie więc podział zasobów był potrzebny tylko dla celów statystycznych. Niektórzy z nich wręcz cieszyli się widokiem dymiących kominów.

Problem polega na tym, że nadmierna eksploatacja środowiska zachodzi na całym świecie i doprowadziła już dzisiaj do poważnych zaburzeń globalnej równowagi ekologicznej.

30.1. Zasoby nieożywione

ZASOBY PRZYRODY NIEOŻYWIWIONEJ MUSZĄ BYĆ CHRONIONE

Zasoby surowców rozminieszczone są na Ziemi nierównomiernie, stąd np. koncentracja wydobycia paliw mineralnych w kilkunastu miejscach naszej planety. Kraję zasobne w węgiel kamienny, ropę naftową oraz gaz wydobywają je na swoje potrzeby i najczęściej także eksportują. Chodzi jak zwykle o pniańdże — im większy jest własny eksport, tym większe są zyski. Zarabianie pieniędzy jest zjawiskiem normalnym, ale ekwiensywny rozwój gospodarczy naszej cywilizacji prowadzi wciąż do wzrostu zapotrzebowania na energię. W ten sposób „nakręca się” spirala popytu na nośniki energii. Na szczęście w krajach rozwiniętych udało się go ograniczyć, a niektóre państwa wręcz zmniejszają swoje zużycie energii. Mimo to złoża paliw mineralnych mogą już wkrótce się wyczerpać. Przykładowo w 1900 r. całe światowe wydobycie węgla wynosiło ok. 21 mln ton, ropy ok. 20 mln ton, natomiast gazu ziemnego praktycznie nie pozyskiwano. W 1991 r. wydobycie już 3423 mln ton węgla, 2965 mln ton ropy i 1980 mld m³ gazu ziemnego. Szacuje się, że całkowita wielkość opałalnych złóż tego ostatniego paliwa wynosi niespełna 60 000 mld m³. Oznaczałoby to, że jego zasoby zostaną wyczerpane już za 30 lat (ceny te mogą być zaniżone, gdyż dość słabo poznano wielkość złóż rosyjskich na Syberii). Widmo światowych kryzysów energetycznych stało się już rzeczywistością, np. kryzys naftowy z 1973 r. Recept na rozwiązanie tego problemu jest wiele, przedstawimy więc tylko niektóre:

1. Najprostszym i najszybszym posunięciem jest obniżanie energochłonności gospodarki każdego państwa. Przykładowo w Polsce, jeszcze w 1989 r. zużycie energii na wytworzenie takiego samego produktu jak w Szwajcarii było prawie 7 razy większe. Dzisiaj jest nieco lepiej, ale kłopot polega na tym, że nowoczesne, energooszczędne technologie kosztują. Powstaje więc swoiste błędne koło — kraje biedne rozwijają „brudne” i energochłonne gałęzie gospodarki, podczas gdy bogate czynią odwrotnie. Jeśli ta tendencja się utrzyma, za kilkadziesiąt lat państwa „biednego Północy” będą zużywały więcej energii niż „bogatej Północy”, a mimo to dystans cywilizacyjny między nimi zwiększy się.

2. Rozwój innych, alternatywnych źródeł energii — wspomniemy tu o energii atomowej, mocno lansowanej jeszcze kilka lat temu. Na nasze szczęście (?) katastrofa w Czernobylu w 1986 r. uodowodniła jak dalecy jesteśmy od panowania nad nią (por. Ryc. 208 B). Jeśli więc ktoś długo i gdzie bezpiecznie należałoby przechowywać wypalone paliwo jądrowe? W Polsce Ludowej budowano już elektrownię atomową w Żarnowcu, projektowano w Kłempiczu nad Wartą, Karolewie nad Wisłą, Matkini nad Bugiem, w okolicach: Koszalina, Darłowa, Konia, Wyszogrodu i jeszcze w kilku miejscach. Zalamanie się tych planów uratowało nas przed nieobliczalną katastrofą w przyszłości. Nie jestem ekspertem ani w dziedzinie atomistyki, ani energetyki, ale mam prawo uważać, że budowa elektrowni atomowych w pobliżu wielkich rzek i to wg sowieckiej technologii jest niedorzecznością.

Natomiast zdecydowanie należałoby rozwinąć małe elektrownie wiatrowe (np. nasze wybrzeże ma bardzo korzystny rozkład wiatrów) i wodne na rzekach. Do tego potrzebna jest mądra polityka podatkowa i kredytowa. Już dzisiaj istnieją techniczne możliwości zamiany energii

stonecznej na elektryczną w tzw. fotoogniwach. Jeśli technologia ich produkcji stanie, mogą one pokrywać zapotrzebowanie na większą część energii w sferie międzyzrotłkowej. W Europie już w 1993 r. pojawiły się kolektory słoneczne, które można instalować na dachach domów jednorodzinnych. Instalacje te są drogie, ale już niedługo pozwolą ich właścicielom oszczędzać rocznie kilkadziesiąt procent wydatków na ogrzewanie.

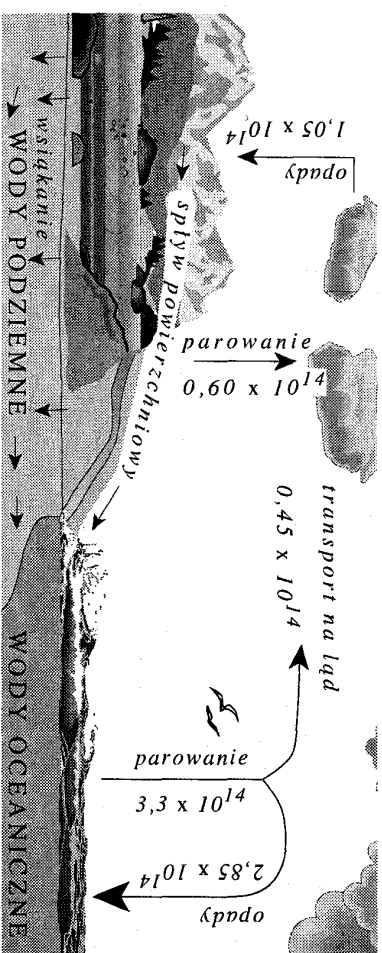
3. Powinno się dążyć do zmiany zachowań ludzi, np. kupowania jedynie produktów energooszczędnych, rozsądnego korzystania z prywatnych środków transportu czy nawet wyłączenia światła w nie używanych pomieszczeniach.

CWICZ. 1. Korzystając z atlasu geograficznego, znajdź ważniejsze centra wydobycia węgla kamiennego, ropy naftowej i rud żelaza w świecie. Porównaj je z lokalizacją okręgów przemysłowych. Zastanów się, jaki miało to wpływ na środowisko w tych rejonach.
2. Zapropionuj działania zmniejszające zużycie energii elektrycznej i ciepłej we własnym domu.

W przypadku większości surowców nienowoczesnych problem wyzwywania się za sobą nie jest tak ostry jak w paliwach. Tym niemniej także tutaj niezbędne są poważne działania mające na celu obniżenie zużycia tych substancji i zmniejszenie uciążliwości związanych z samym wydobyciem i transportem. Sprzyja temu rewolucja informacyjna, która pozwala na dalece idącą miniaturyzację urządzeń oraz podniesienie precyzji procesów sterowania produkcją. Dzięki temu np. dziesięć samochodów są lżejsze, trwałe, oszczędniejsze i wykonane częściowo z materiałów, których można używać wielokrotnie (ang. *recycling*).

ZASOBY WODY NA ZIEMI SĄ POWAŻNIE ZAGROŻONE

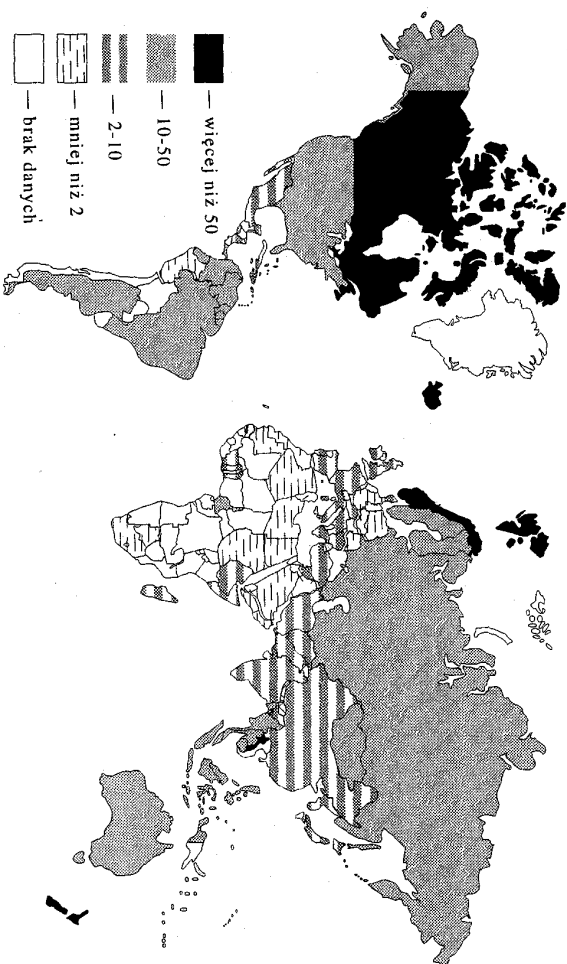
Z wody korzysta każdy żywy organizm, a jeśli żyje na lądzie, wymaga konkretnie wody słodkiej. Problem tkwi w tym, że 97% wszystkich zasobów stanowią wody słone. Z pozostałych 3% wód słodkich aż 3/4 zapasu związane jest w obszarach podbiegunowych. Wniosek jest prosty: zasoby wody słodkiej stanowią niepełna 1% ogólnej ilości tej substancji. Jeśli pominać organizmy morskie, musi to wystarczyć roślinom, zwierzętom i... naszej cywilizacji.



Ryc. 205. Model obrazujący krążenie wody w skali globu. Zwróć uwagę na rolę oceanów w utrzymaniu prawidłowego bilansu wodnego (m^3).

Woda krąży w biosferze z dość dużą wydajnością (por. Ryc. 205). Opady atmosferyczne dostarczają rocznie na powierzchnię Ziemi ok. $3,85 \times 10^{14} m^3$ wody, z czego tylko $10^{14} m^3$ na ląd. Większość wilgoci odparowuje do atmosfery, w znacznej mierze dzięki transpiracji pokryw roślinnej. Reszta spływa rzekami do mórz (spływ powierzchniowy) albo wsiąka do wód gruntowych.

Światowe zużycie wody sięga $4 \times 10^{12} m^3/rok$. Jest to ogromna ilość, zbyt duża jak na możliwości większości ekosystemów. Wbrow pozorom najwięcej wody słodkiej zużywa rolnictwo (ok. 73%), dalej przemysł (ok. 21%), pozostałe 6% to woda pita. Proporcje te są jednak różne — zależy to od zasobów danego kraju, poziomu rozwoju jego gospodarki i załadunka. Największe zużycie wykazują kraje uprzemysłowane, np. w USA wynosi ono ok. $467 \times 10^9 m^3$. Nie jest to reguła, gdyż w Szwecji zapotrzebowanie wynosi tylko $3 \times 10^9 m^3$. Mimo różnicy wielkości tych krajów liczby te mają swoją wymowę.



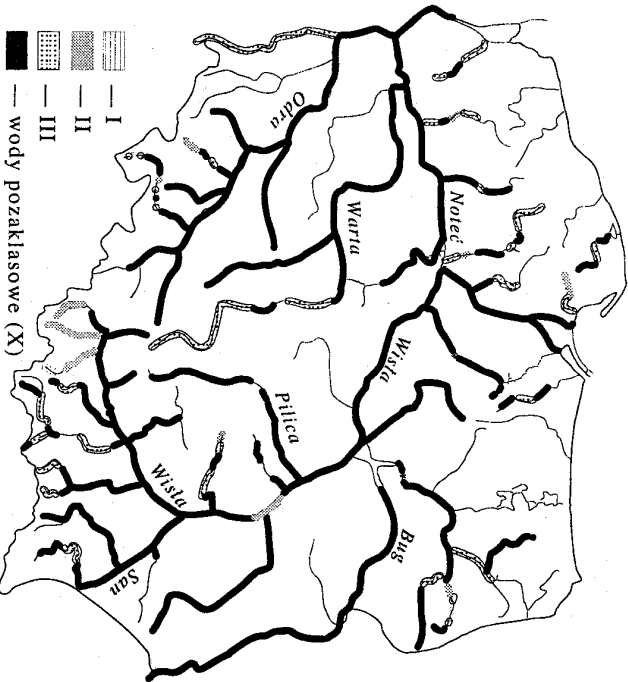
Ryc. 206. Odnawialne zasoby najwyższej jakości wód podziemnych w tys m^3/rok w przeliczeniu na 1 mieszkańca. Zwróć uwagę na sytuację Polski.

Wobec narastającego zanieczyszczenia wód powierzchniowych szczególnie ważne stają się czyste wody podziemne. Do krajów najzasobniejszych zalicza się tutaj Kanada, Rosję i USA (por. Ryc. 206). Postulujemy się teraz pewnym przykładem. Otóż w centralnej części USA znajdują się jedne z największych pokładów wodonosnych, tzw. **warszwa Ogallala**. Tylko przez ostatnie 30 lat Amerykanie zdobili wypompuwać z niej ok. 25% całego zapasu wody. Tymczasem złoża te formowały się prawie pół miliona lat! Tak ogromne zapotrzebowanie na wodę w Ameryce Pn. wiąże się m.in. z nawadnianiem pól uprawnych. Rzecz w tym, że irygacje prowadzi (obok wycofania wody z intensywnie nawadnianych pól odparowuje, zostawiając coraz większą ilość soli). Po kilkudziesięciu latach prowadzi to do zasolenia gleb. Problem dotyczy dzisiaj nie tylko Ameryki Pn. (dolny bieg rzek Kolorado i Rio Grande), ale także Europy (Ukraina), Afryki (delta

Nilu), Azji (dolny bieg rzek Indus, Huang-Ho i Jangcy), Australii (dolny bieg rzeki Murray). Jeśli dojdzie do zamknięcia upraw na tych terenach, z głodu zginą miliony ludzi. To jessze nie wszystko. Rosjanie dokonali w okolicach jeziora Aralskiego zupełnie nieprawdopodobnych zniszczeń. Już w latach 20-tych naszego wieku władze Związku Radzieckiego postanowiły stworzyć w dorzeczu Amu-darii i Syr-darii wielkie centrum uprawy bawełny. Nakładem ogromnych kosztów program prawie zrealizowano — większość wód Amu-darii skierowano na pustynie tamtego regionu. Ubożnym skutkiem było odcięcie jeziora Aralskiego od zasilania w świeżą wodę. Doprowadziło to do kilkukrotnego zmniejszenia jego powierzchni i zniszczenia całego ekosystemu (m.in. wyginęło 20 z 24 gatunków ryb). Mimo woli odsłonięto ogromne obszary ziemi, które nie są niczym więcej jak tylko słoną pustynią.

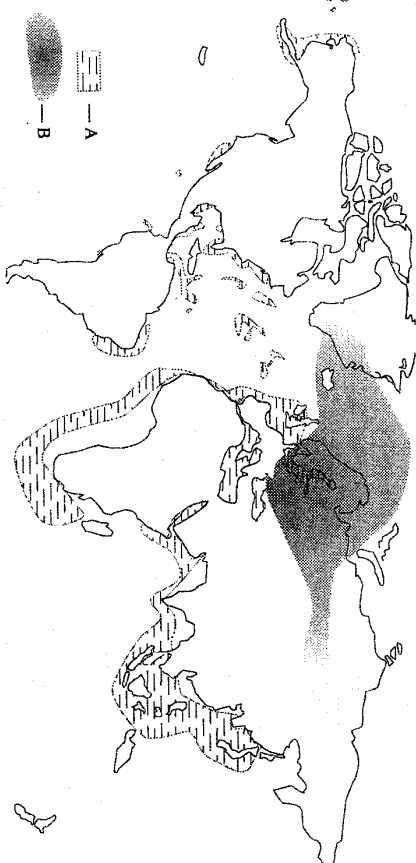
Już dzisiaj w wymienionych wcześniej miejscach koncentracja soli utrudnia uprawy, a wkrótce może je uniemożliwić. Stosowane technologie rozwiązuja ten problem częściowo. Tym niemniej, np. nawadnianie każdej rośliny z osobna zmniejsza zużycie wody kilkukrotnie. Wadą takich systemów irygacyjnych jest ich gigantyczny koszt — znajdują więc one zastosowanie tylko w krajach najzamożniejszych. Innym sposobem jest stosowanie odmian odporniejszych na zasolenie — to jednak także nieczego nie rozwiązuje (zastanów się, dlaczego?).

Zasoby powierzchniowych wód słodkich w Polsce ocenia się na niewiele ponad $59 \times 10^9 \text{ m}^3$. To bardzo mało — znacznie poniżej $2\,000 \text{ m}^3/\text{rok}$ na jednego mieszkańca i lokuje nas wśród krajów ubogich w wodę (przykładowo Egipt ma bilans wodny niewiele gorszy niż Polska). Jednocześnie mieszkańcy Kaliforni zużywają ok. $49 \times 10^6 \text{ m}^3$ wody rocznie tylko w swoich basenach kąpielowych! Wnioskując pozostawiam Tobie. Zużycie tej bezcennej substancji jest w Polsce wciąż zbyt wysokie, a na deficyt wody nakłada się problem poważnego zanieczyszczenia wód powierzchniowych. Odprowadzane (do dzisiaj) słone wody z kopaliń węgla kamiennego doprowadziły do kurioznej sytuacji. W latach 80-tych, na niektórych odcinkach, Wisła i Odra były prawie tak zasolone jak Baltyk.



Ryc. 207. Klasy czystości większych rzek w Polsce (I klasa — wody zdane do picia, w których naturalnie mogą być towardć ryby łososiowate, II klasa — wody nadające się do kąpielii pojęcia zwierząt hodowlanych, III klasa — wody przydatne jeszcze do potrzeb technologicznych i nawadniania, X — wody poza klasowe, nieprzydatne nawet w gospodarce). W latach 80-tych te ostatnie stanowią nawet 30% długości wszystkich rzek. Mapa nie uwzględnia jezior.

Przykładów źródeł zanieczyszczeń wód można wymienić wiele. Oto niektóre z nich: sztućne nawożenie pól, zrzut wód przemysłowych, zanieczyszczenia motoryzacyjne i okrętowe, kwaśne deszcze, detergenty stosowane w gospodarstwach domowych itd. Ostry Kryzys ekonomiczny i pewna zmiana warunków działalności gospodarki doprowadziły do zmniejszenia stopnia zanieczyszczenia naszych rzek i jezior. Wymusiły też stosowanie oszczędniejszych technologii produkcji oraz budowanie zamkniętych obiegów wody w instalacjach technologicznych, ale w 1991 r. tylko 5% wody używanej przez przemysł krążyło w takich systemach. Dopiero w latach 90-tych ruszyła budowa wielu nowoczesnych oczyszczalni ścieków. Na razie jednak stan czystości naszych rzek jest wciąż zły (por. Ryc. 207), a proces poprawy wymaga czasu i pieniędzy. Naszego kraju nie stać na tak kosztowną operację jaką w ostatnich 30-tu latach przeprowadzili Brytyjczycy. Udało im się bowiem zmienić Tamizę ze zwykłego ścieku w normalną rzekę (w 1993 r. żyło tam już 100 gat. ryb, w tym także łosose). Warto tu jednak dokonać pewnego porównania. W 1985 r. w Polsce odprowadzono $12,9 \times 10^9 \text{ m}^3$ ścieków przemysłowych i komunalnych, z czego ok. 15% zupełnie nie oczyszczonych. Natomiast w 1992 r. odpowiednie liczby wyniosły 10, $1 \times 10^9 \text{ m}^3$ i 9,9%. Niestety wciąż zbyt mało jest dróg, wielostopniowych oczyszczalni zdolnych do usuwania zanieczyszczeń mechanicznych, biologicznych i chemicznych.



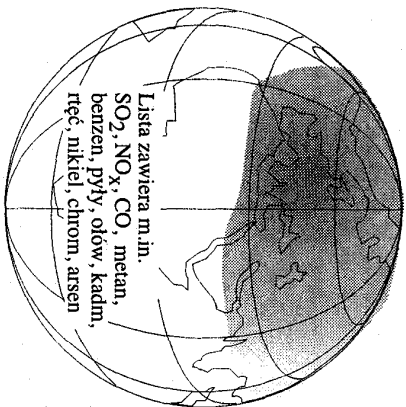
Ryc. 208. Przykłady zanieczyszczeń w skali globalnej: obszary mórz zanieczyszczone ropą naftową (A) oraz ogólny zasięg skażeń radioaktywnym cezem po wybuchu w Czarnobylu (B).

ZANIECZYSZCZENIA STWIERDZA SIĘ WE WSZYSTKICH MORZACH I OCEANACH

Szczególne trudna sytuacja występuje w Baltyku. Ten mały i prawie zamknięty akwen odbiera zanieczyszczenia ze wszystkich państw nad nim położonych. Większość z nich (szczególnie była NRD, Polska i Związek Radziecki) produkowała ich tyle, że niemal zupełnie zniszczyły ten ekosystem. W Baltyku było wszystko: od nawozów mineralnych, przez detergenty, do węglowodorów, pestycydów i soli metali ciężkich. Część z tych substancji kumuluje się w tkankach ryb, które potem zjadamy. Doszło do tego, że pod koniec lat 80-tych stan sanitarny liczących kąpielisk nadmorskich dyskwalifikował je z powodu wirusów, bakterii i grzybów wywołujących poważne choroby, np. cholera!

ZANIECZYSZCZENIA ATMOSFERY NIE ZNAJĄ GRANIC

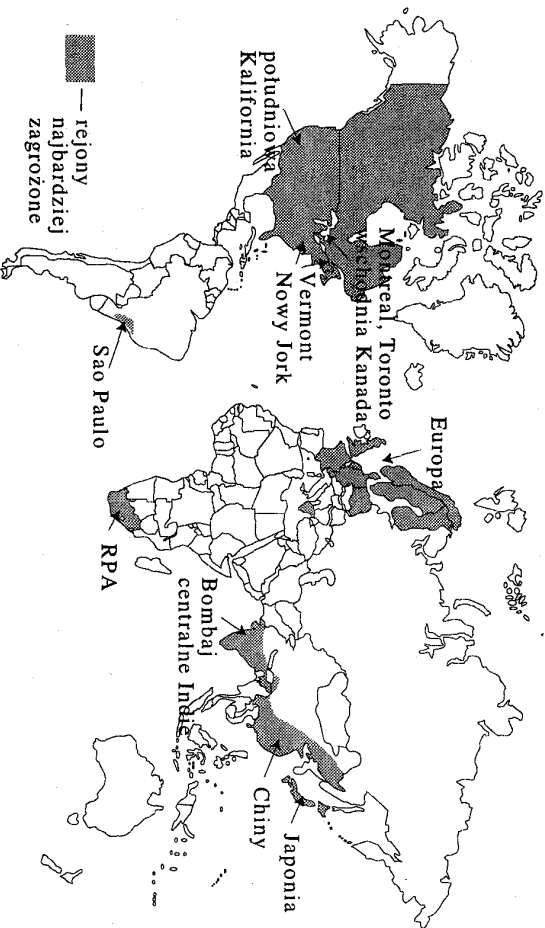
Dla niemal każdego organizmu powietrze wraz z zawartym w nim tlenem jest niezbędne do życia. Jakość powietrza w ciągu ostatnich lat uległa znacznemu pogorszeniu. Główną przyczyną są zanieczyszczenia antropogeniczne, generowane przez państwa wysoko uprzemysłowione i rozwijające się (por. Ryc. 209).



Ryc. 209. Zasięg powolnych zanieczyszczeń powietrza. Zwróć uwagę na asymetrię ich występowania.

Rozwój przemysłu i motoryzacji jest podstawowym źródłem takich substancji jak:

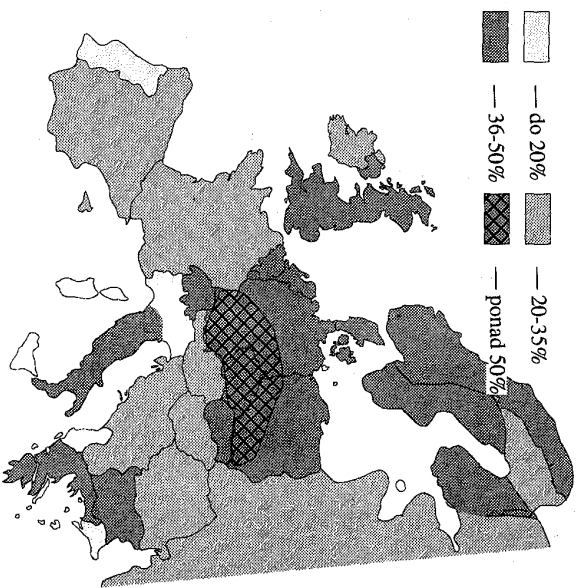
— **dwutlenek węgla (CO₂)** — to przede wszystkim jego obecność w atmosferze wywołuje tzw. efekt cieplarniany, grożący globalnym ociepleniem i wysuszeniem klimatu. W połączeniu z innymi zagrożeniami (np. odlesianiem) prowadzi do zmian makro-klimatycznych. M.in. skutkiem jest pustynienie ogromnych połaci Afryki. Grozi też roztopieniem pokrywy lodowej biegunów i podniesieniem poziomu oceanów;



Ryc. 210. Obszary zagrożone kwaśnymi deszczami. Strzałki pokazują miejsca, gdzie kwaśne deszcze powodują masowe uszkodzenie drzew, a nawet uszkodzenie budynków i urządzeń przemysłowych.

— **dwutlenek siarki (SO₂) i tlenki azotu (NO_x)** — są głównie produktami ubocznymi spalania paliw: węgla kamiennego i benzyny (por. Ryc. 210). W Polsce dopiero od niedawna stosuje się wysokogatunkowe, znacznie odsiarczone paliwa samochodowe.

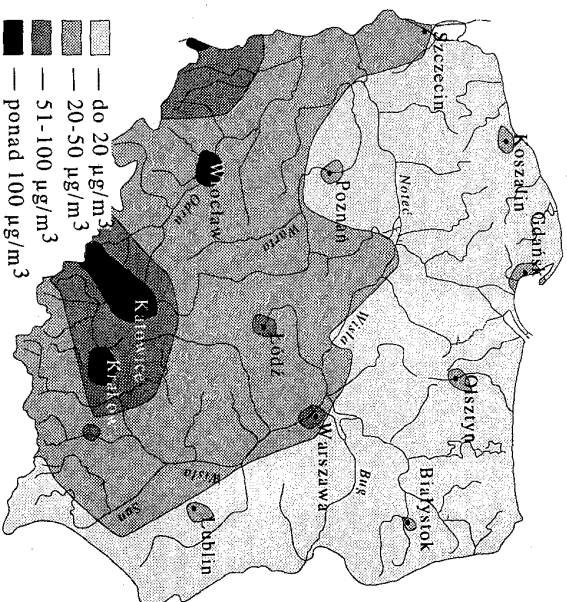
Jednak podstawę polskiej energetyki stanowi węgiel kamienny i brunatny. Wiele naszych złóż jest silnie zasarczonych i stąd bierze się znaczna emisja SO₂ do atmosfery.



W miastach tzw. czarnego trójkąta Europy (Śląsk, Czechy i Zagłębie Ruhry), tworzące się **kwaśne deszcze** nie tylko niszczą drzewostany szpilkowe i całe ekosystemy, ale uszkadzają czasem instalacje techniczne (np. korozja żelaznych elementów trakcji elektrycznych i szyn kolejowych). W niektórych ogromnych aglomeracjach, np. Los Angeles, Meksyku, Atenach tworzą się różne postacie **smogu**. Często zaleca się tam pozostawanie dzieci w domach, aby nie narażać młodego pokolenia na schorzenia skóry i oczu.

Ryc. 211. Stopień uszkodzenia (w%) drzewostanów w Europie. Główną przyczyną są kwaśne deszcze. Zwróć uwagę na sytuację w Polsce.

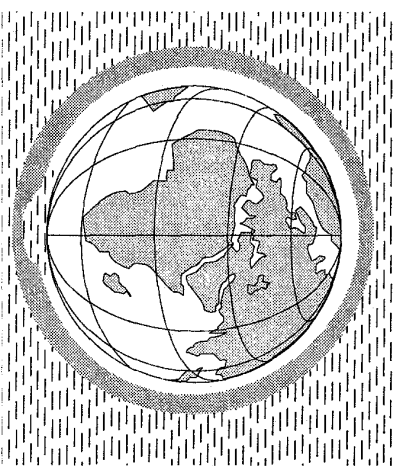
Większość roślin nagonasiennych stanowią drzewa szpilkowe, nie zrzucające igieł na zimę. W liściach tych roślin proces akumulacji związków toksycznych, np. kwasów mineralnych takich jak siarkowy, jest szczególnie groźny. Przyjmuje się, że stężenie tlenków siarki w powietrzu przekraczające 50 µg/m³ wywołuje ostatecznie poważne uszkodzenia m.in. szpilkę sosen i świerków. Jak na początku lat 90-tych wyglądała ogólna sytuacja w Polsce możesz sprawdzić, analizując Ryc. 211 i 212.



Ryc. 212. Średnie stężenie tlenków siarki w powietrzu na terenie Polski (porównaj później tę mapę z rozmieszczeniem obszarów ekologicznego zagrożenia na Ryc. 214).

NATURALNA TARCZA CHRONIĄCA POWIERZCHNIĘ ZIEMI JEST WARSTWA OZONU

Ozonowa „tarcza” znajduje się głównie w stratosferze, na wysokości 15—40 km i ochrania żywe organizmy przed szkodliwym działaniem promieniowania ultrafioletowego (UV) w paśmie o długości fal 280—320 nm (zw. UV C) i poniżej 280 nm (zw. UV B). Zmniejszanie grubości warstwy ozonowej stwierdza się od początku lat 70-tych (por. Ryc. 213). W 1987 r. nad Antarktydą spadek wynosił ok. 50%, co doprowadziło do powstania swojej **dziury ozonowej**. Dzisiaj problem ten dotyczy nie tylko okolic biegunowych, ale także Europy Zachodniej i Spodkowej (pomiędzy 35°, a 64° szer. geogr. pn. spadek o ok. 5%), północno-wschodnich rejonów Ameryki, a nawet Chin.



Główną przyczyną tego zjawiska są **freony** (ang. skrót CFC) — sztucznie produkowane gazy używane w aerozolach i urządzeniach chłodniczych. Freony i, w mniejszym stopniu, tlenki azotu oraz metan reagują z ozonem niszcząc go. Docierające do powierzchni Ziemi w większym natężeniu promieniowanie UV wywołuje u ludzi zmiany nowotworowe skóry, czerniaka złośliwego i choroby oczu (np. zaćmę). Powstrzymanie zmniejszania się warstwy ozonowej stało się palącą potrzebą, dlatego w 1987 r. większość krajów emitujących największe ilości freonów podpisało specjalne porozumienie. Zobowiązując ono sygnatariuszy do wstrzymania produkcji tych związków do 2000 r.

Ryc. 213.
Model ilustrujący wpływ warstwy ozonowej na promieniowanie UV. W rzeczywistości, warstwa ozonowa jest znacznie cieńsza i trudno byłoby pokazać zmiany w niej zachodzące. Zwróć uwagę na „dziurę” nad Antarktydą.

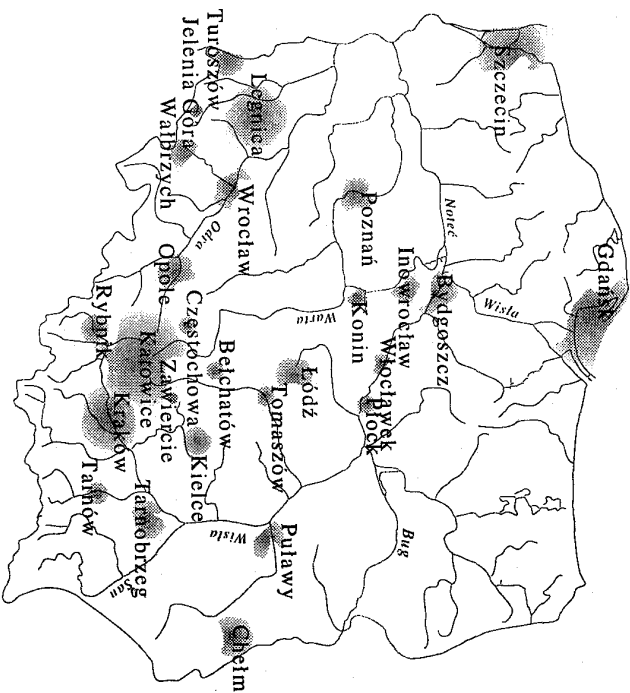
GLEBA JEST SZCZEGÓLNYM ELEMENTEM ŚRODOWISKA

Ta wierzchnia, przekształcona przez organizmy warstwa litosfery spełnia kapitalną rolę w większości ekosystemów lądowych. Przede wszystkim kumuluje związki mineralne i wodę, które wykorzystywane są przez rośliny zielone. Gleby spełniają także rolę naturalnych filtrów dla wód powierzchniowych, przedostających się do głębszych warstw ziemi. Niestety, gleby gromadzą liczne zanieczyszczenia, głównie z opadów atmosferycznych i pyłów. Powodują one bardzo niekorzystne zmiany fizyko-chemiczne w podłożu. Przykładowo jednym ze skutków gromadzenia się ołowiu w okręgach przemysłowych są zmiany genetyczne u dzieci i zaburzenia prawidłowego rozwoju umysłowego. Nie bez winy jest tu także rolnictwo i głód ziemi, wynikający z eksplozji demograficznej. Rewolucja przemysłowa XIX w. rozwinęła techniki melioracyjne, umożliwiła intensyfikację upraw i mechanizację zabiegów rolniczych. Do tego doszło wzmoczone nawożenie i stosowanie sztucznych środków ochrony roślin. Początkowo, na większości obszarów objętych uprawami odnoszono znaczne sukcesy, wzrastały plony, a ceny żywności zaczęły spadać. Uderzyło to jednak w gospodarstwa farmerskie. Rentowność, zwłaszcza tych mniejszych, zaczęła szybko spadać. Z kolei atrakcyjność życia w miastach zwiększała się wraz z rozwojem przemysłu i handlu. Skutkiem był masowy odpływ ludności ze wsi do miast. Mniejsza liczba ludzi musiała więc uprawiać coraz większe arealy. Wszystko byłoby w porządku, ale stopień zmecha-

nizowania i stosowanie środków chemicznych doprowadziły do degradacji gleb na wielką skalę. Wyczerpały się w nich zapasy takich ważnych pierwiastków jak: azot, potas i fosfor. Na niszczenie gleb przez rolnictwo nakładają się także inne zjawiska, np. zajmowanie gruntów rolnych pod osiedla mieszkaniowe i przez przemysł (przypomnij sobie też problem zasolenia). Wydaje się, że jedyną rozsądną alternatywą jest generalna zmiana sposobu traktowania ziemi. Przede wszystkim chodzi tu o rozwój rolnictwa biologicznego, mniej intensywnego, stosującego odłogowanie i minimalne ilości środków chemicznych. Brzmi to pięknie, ale możliwe jest jedynie w państwach zamożniejszych, osiagających niski przyrost naturalny.

W POLSCE JEST 27 OBSZARÓW ZAGROŻENIA EKOLOGICZNEGO

Koncentracja przemysłu i ludności doprowadziła do nagromadzenia się większości skażeń na niewielkich obszarach. W Polsce jest aż 27 obszarów, które uznano za zagrożone ekologicznie (por. Ryc. 214). Obejmują one 161 miast i ponad 200 gmin. Mieszka i pracuje tam ok. 30% Polaków. Część z tych obszarów to rejony kłeski ekologicznej wymagające pilnych, poważnych działań ochronnych i są to m.in. Górnośląski, Krakowski, Legnicko-Głogowski i Gdański. Przykładowo w województwie katowickim emisja pyłów w 1992 r. wynosiła 42 tony/km²/rok (średnia krajowa 5 ton/km²/rok), SO₂ 81 ton/km²/rok (średnio 9 ton/km²/rok). Natomiast w województwie śląskim odpowiednio 1 tonę/km²/rok i 1 tonę/km²/rok. W tym czasie sam Kraków emitował do atmosfery 1 203 tony/km²/rok różnych szkodliwych gazów i pyłów, Głogów 2 950, a Turek 4 539! Sytuacja powoli poprawia się, m.in. dlatego, że instalowane są filtry na kominach, stosuje techniki odsarczania paliw i nowoczesniejsze technologie produkcji (szczególnie w hutach, stalowniach i elektrowniach). Tym niemniej sytuacja wymaga zmiany budżetu państwa na bardziej proekologiczny, co umożliwi restrukturyzując większą część wymienionych regionów. Polski nie stać dzisiaj na taką operację. Jedyną naszą szansą jest przyspieszenie zmian ustrojowych, umożliwiających wzrost zamożności naszego kraju.



Ryc. 214.
Obszary ekologicznego zagrożenia w Polsce. Zwróć uwagę, że większość z nich obejmuje tereny gęsto zaludnione wokół dużych aglomeracji i (lub) centrów przemysłowych (stan w 1992 roku).

30. 2. Działania na rzecz ochrony przyrody

WŁASNE OTCOCZENIE STARALI SIĘ CHRONIĆ JUŻ NASI PRAPRZODKOWIE

W czasach przedhistorycznych ochrona wynikała raczej z doświadczeń społeczności plemiennych, które przekazywano z pokolenia na pokolenie. System wierzeń Słowian nakazywał im np. czezenie świętych dębów. Dziś już możemy powiedzieć, że te stare, potężne drzewa stanowiły rezerwuary genetyczne dla całej populacji dębów. W Europie pisane akty prawne pojawiły się w średniowieczu. Zwykle zawierały one zakazy polowań na cenniejsze gatunki zwierząt i zbierania roślin. W ten sposób w Polsce chroniono m.in. bobry, tury i cisy. Jak zapewne wiesz, dla tura ten rodzaj ochrony okazał się niewystarczający. Ze względu na mięso i skórę, polowano na niego masowo w całej Europie Środkowej i Wschodniej. W końcu XVI w. reszki populacji zachowały się już tylko w Polsce. Było to jedno stadło złożone z dwudziestu kilku osobników! Ostatnia samica tura została zabita przez kłusowników w 1627 r. w Puszczy Jaktorowskiej pod Warszawą, mimo iż od 1597 r. obowiązywał edykt króla Zygmunta III zakazujący jakiegokolwiek polowań. Na szczególną uwagę zasługują uchwalona przez Sejm Galicyjski ustawa z 1868 r. obejmująca ochroną świstaka i kozicę w Tatrach. Pierwszym aktem prawnym w niepodległej Polsce był dekret Rady Regencyjnej z 31 X 1918 r. uwzględniający możliwość wzięcia pod ochronę niektórych obiektów przyrodniczych. Normatywny (tu: porządkujący, spajający) charakter miała dopiero ustawa o ochronie przyrody z 1934 r. Na jej mocy powołano m.in. Państwową Radę Ochrony Przyrody i objęło ochroną gatunkową żubra i żółwia błotnego. Po II wojnie światowej w 1949 r. Sejm Ustawodawczy uchwalił nową ustawę o ochronie przyrody. Jak na owe czasy był to dość nowoczesny akt prawny regulujący merytorycznie i prawnie podstawowe pojęcia i zadania z zakresu ochrony zasobów przyrody. Zdefiniowano w nim m.in. pojęcie **ochrony przyrody** — jako zachowanie, resytuowanie i właściwe użytkowanie:

— zasobów przyrody,

— tworów przyrody żywej i nieożywionej, tak poszczególnych okazów i ich skupień, jak i zbiorowisk na określonych obszarach oraz gatunków roślin i zwierząt, których ochrona leży w interesie publicznym ze względów naukowych, estetycznych, historyczno-pamiątkowych, zdrowotnych i społecznych oraz swoistych cech krajobrazu.

Działania ochroniarskie miał koordynować Naczelny Konserwator Przyrody i podlegli mu Konserwatorzy Wojewódzcy. Ich działania wspiera do dziś, powołana jeszcze w 1928 r., Liga Ochrony Przyrody oraz Straż Ochrony Przyrody (od 1957 r.). Ustawa z 1949 r. umożliwiła wydanie rozporządzeń o ochronie gatunkowej zwierząt (1952 r.) i roślin (1957 r.). Pomimo niezłego prawa i dużego zaangażowania społecznego stan środowiska przyrodniczego ulegał jednak szybkiemu pogarszaniu. Wina temu była polityka władz PRL, realizujących socjalistyczną koncepcję rozwoju społeczno-gospodarczego. Jej podstawą był niepoahamowany rozwój przemysłu ciężkiego, zbrojeniowego i związanych z nimi brudnych technologii. Wszystko to uruchomiło lawinę zniszczeń w naszym środowisku naturalnym (żeby to stwierdzić, wystarczy dzisiaj np. pojechać do Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego). Wsłki niektórych ludzi owocowały tworzeniem nowych parków narodowych, rezerwatów i pomników przyrody. Działania decydenów miały jednak wyjątkowy charakter propagandowy. Przykładowo: w 1976 r. wpisano do Konstytucji PRL zapis o uznaniu środowiska przyrodniczego za dobro narodowe. W 20 lat później można sobie zadać pytanie, co to dało? Został wprawdzie jednak politykę — 31 I 1980 r. udało się uchwalić ustawę o ochronie i kształtowaniu środowiska. Zasadniczo regulowała ona techniczne i technologiczne aspekty eksploatacji i kształtowania środowiska. Przyjęto w niej zasadę, że „ochrona środowiska stanowi ważny element polityki społeczno-gospodarczej państwa”. Ustawa z 10 X 1987 r. po-

wołała Ministerstwo Ochrony Środowiska i Zasobów Naturalnych. Wówczas też po raz pierwszy wprowadzono kary za niszczzenie środowiska.

Obecnie w Polsce obowiązują ustawa o ochronie przyrody z 16 X 1991 r. (Dziennik Ustaw Nr 114 z dn. 12 XII 1991 r.). Zależeć w niej można wiele zmian. M.in. wprowadza ona pojęcie ochrony ekosystemowej, zakłada także konieczność tworzenia ochronnych otulin — stref otaczających obszary chronione. Dopiero ten akt prawny wprowadza nowe formy przestrzenne ochrony przyrody, są to **obszary chronionego krajobrazu**. Ponadto wszystkie wymienione w ustawie obszary chronione łączy się w ekologiczne systemy obszarów chronionych (ESOCCh). Według nowego prawa organami administracji państwowej w zakresie ochrony przyrody są: Minister Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa, wojewodowie i dyrektorzy parków narodowych. Na wniosek ministra ochrony środowiska premier powołuje głównego konserwatora przyrody. Od wielu już lat działa Państwowa Rada Ochrony Przyrody — organ doradczy i opiniujący najważniejsze decyzje w tej dziedzinie. Wojewodowie wykonują swoje zadania przy pomocy wojewódzkich konserwatorów przyrody, którym doradzają Wojewódzkie Komisje Ochrony Przyrody.

Dzisiaj sytuacja wymaga jednak aby nowe akty prawne były skutecznie egzekwowane. Tym bardziej, że do 1995 r. nie udało się zahamować degradacji środowiska i osiągnąć stanu tzw. **ekorozwoju** (inaczej mówiąc: rozwoju gospodarczego scharmonizowanego z wymogami środowiska naturalnego).

NOWOCZESNE KIERUNKI OCHRONY PRZYRODY UWZGLĘDNIAJĄ CAŁĄ PRZESTRZEŃ ŻYCIOWĄ

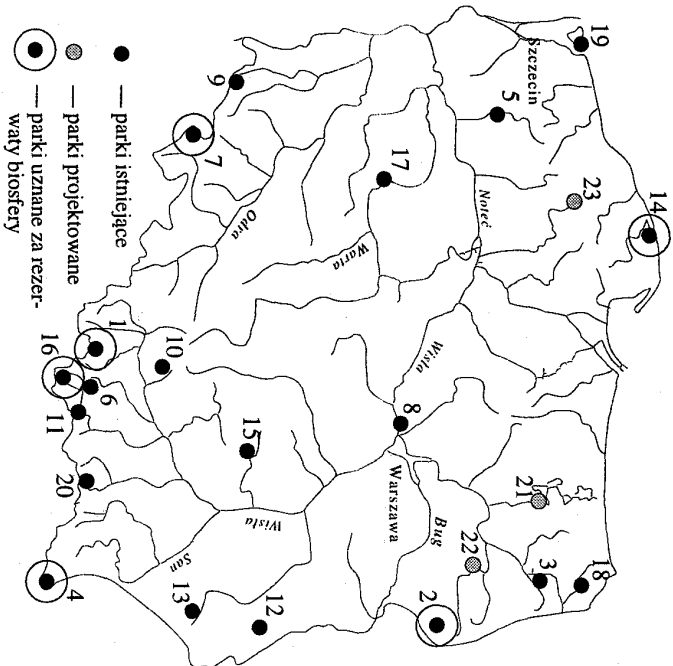
W rozwoju działań ochroniarskich można wyróżnić kilka wyraźnych nurtów. Wynikały one z poziomu wiedzy społeczeństwa o środowisku naturalnym i stopnia świadomości narastających zagrożeń.

Nurt ochrony pomnikowej — pojawił się w połowie XIX w. i zakładał konieczność ochrony pojedynczych tworów przyrody, np. starych drzew, głazów narzutowych i zabytkowych aлей. Taki przedmiot ochrony nazywa się dzisiaj pomnikiem przyrody. W Polsce w 1992 r. było ich ponad 17 tysięcy.

Nurt biogenetyczny — powstał, ponieważ rozwój przemysłu w drugiej połowie XIX w. stworzył zagrożenie zanikania całych interesujących naukowo biocenoz. Zaczęło więc wydłazić obszary, na których działanie człowieka zostałoby ograniczone częściowo lub całkowicie. W ten sposób powstały liczne parki narodowe i rezerwy. Pierwszy w świecie park narodowy powstał w 1872 w Yellowstone (USA). W Polsce ich tworzenie rozpoczęło znacznie później, głównie po II wojnie światowej. Nasz kraj ostatecznie przyjął definicję parku narodowego w 1972 r. na Zgromadzeniu Ogólnym Międzynarodowej Unii Ochrony Przyrody i Jej Zasobów w Beauf. **Park narodowy** uważany jest za najwyższą formę ochrony przyrody. Musi mieć obszar większy niż 1000 ha i chronić wszystkie występujące tam gatunki roślin i zwierząt, ekosystemy oraz wody, gleby i krajobrazy. Szesze naszycy parków UNESCO wpisało na listę rezerwatów biosfery (por. Ryc. 215), a jeden z nich — Białowiecki PN, został uznany za obiekt światowego dziedzictwa ludzkości. Do stycznia 1995 r. w Polsce utworzono 20 parków narodowych, zajmujących łącznie prawie 270 tys. ha, co stanowi 0,8% powierzchni całego kraju (por. Ryc. 215). Ścisłą ochroną objęto 24% ogólnej powierzchni parków. Na terenie parków występuje 180 z ponad dwustu chronionych gatunków roślin, wszystkie gatunki ssaków i ok. 250 gatunków ptaków. W najbliższych latach projektuje się utworzenie jeszcze trzech parków narodowych: Mazurskiego, Narwiańskiego i Borów Tucholskich (obecnie są to parki krajobrazowe). Wielkość parków narodowych w na-

szym kraju jest stanowczo zbyt mała. Najmniejszy — Ojcowski PN ma powierzchnię zaledwie 1890 ha, największy Kampinoski PN już ponad 35 660 ha. Ten pierwszy znajduje się w zasięgu zanieczyszczeń z rejonu górnośląskiego i krakowskiego. Poza tym przyjmuje zbyt wiele zanieczyszczeń z bezpośredniego sąsiedztwa. Ojcowski PN jest więc najbardziej zagrożony degradacją. Odrębnym problemem, szczególnie parków „górkich” stała się turystyka. W Polsce znaczna część populacji mieszka w rejonach silnie zanieczyszczonych. Dlatego na miejsca wypoczynku wyszukuje się tereny o jak najbardziej naturalnym charakterze (dotyczy to nie tylko parków narodowych). Tak więc w sezonie urlopowym szlaki turystyczne w Pieninach i Tatrach bardziej przypominają deptaki niż dzikie ścieżki. Próby ograniczania ruchu turystycznego w parkach narodowych (bilety, limity wejść) napotykać na silny opór większości Polaków. Można się jednak także inne rozwiązania, np. odpowiednie rozłożenie ferii szkolnych i sezonu urlopowego w czasie. Ten sposób także ma pewne wady, ale nadrzędnym celem jest tu zachowanie środowiska naturalnego.

UWAGA: Więcej aktualnych informacji możesz uzyskać ze sprawozdania rocznego Krajowego Zarządu PN pt. „Parki Narodowe w Polsce” wydane w 1995 r.



Ryc. 215.
Parki narodowe w Polsce — stan z dn. 01.01.1995 r. (1 — Babiogórski, 2 — Białowiecki, 3 — Biebrzański, 4 — Bieszczadzki, 5 — Drawieński, 6 — Gorczański, 7 — Gór Stołowych, 8 — Kampinoski, 9 — Karkonoski, 10 — Ojcowski, 11 — Pieniński, 12 — Poleski, 13 — Roztoczański, 14 — Słowiński, 15 — Świętokrzyski, 16 — Trzaskański, 17 — Wielkopolski, 18 — Wigierski, 19 — Wołkiński, 20 — Magurski, projektowane: 21 — Mazurski, 22 — Narwiański, 23 — Bory Tucholskich).

Rezerwy przyrody — to obszary, na których ochronie podlega całość przyrody lub poszczególne jej składniki. Rezerwy zwykle są mniejsze niż parki narodowe i mają mniej złożone cele ochroniarskie. Tworzy się je, np. dla zachowania rzadkiego gatunku rośliny lub zwierzęcia, określonego zbiornika wodnego lub ekosystemu leśnego. Rezerwy można podzielić na ścisłe i cząściowe. W tych pierwszych jakakolwiek ingerencja człowieka jest zabroniona. W 1992 r. w Polsce było nieco ponad tysiąc rezerwatów o łącznej powierzchni ok. 122 tys. ha, co stanowiło zaledwie 0,4% naszego terytorium. Ich przeciętna wielkość wyniosła wówczas nieco ponad 120 ha i była stanowczo zbyt mała.

Nurt planistyczny — poszerza zakres ochrony przyrody na całe środowisko przyrodnicze wraz z działalnością gospodarczą człowieka. Jednym z prekursorów konieczności ochrony przestrzeni był polski botanik prof. Adam Wodiczko. Badacz ten już 50 lat temu miał świadomość, że trzeba modelować działania gospodarcze tak, aby były one zgodne ze środowiskiem naturalnym. Jak już wiemy, dzisiaj nazywany to koniecznością ekorozwoju. Ochrona całej przestrzeni życiowej wymagała poszerzenia typowych pojęć ekologicznych. W ten sposób doszliśmy do ochrony krajobrazu.

Krajobraz jest to całość przyrody naturalnej oraz elementów wprowadzonych przez człowieka, występujących na naturalnie ograniczonym obszarze ziemi. Ich wzajemne oddziaływanie uzewnętrzniają się w charakterystycznych cechach estetyczno-widokowych.

UWAGA: Ochrona krajobrazu nie wyklucza ochrony pomnikowej i biocenotycznej. Przeciwnie, umożliwia koncentrację wszystkich istotnych aspektów działań ochronnych w logiczną całość.

Z antropogenicznego punktu widzenia

MOŻNA WYRÓZNIĆ KILKA RODZAJÓW KRAJOBRAZU:

Pierwotny — w Europie zachował się tylko na nielicznych obszarach, np. w części Puszczy Białowiejskiej. W takich miejscach równowaga ekologiczna nie została zachwiana i nie ma tam śladów działań człowieka;

Naturalny — utworzył się na obszarach, gdzie zaznacza się już działalność człowieka, ale nie spowodowała ona naruszenia zdolności samoregulacyjnych ekosystemów. W takim krajobrazie nie dostrzeżemy elementów przestrzennych wprowadzonych przez człowieka, np. torów kolejowych, mostów, linii wysokiego napięcia czy zabudowań. Przykładem mogą być łąki naturalne, na których wypasa się bydło.

Kulturowy — w Europie jest najczęściej spotykanym typem krajobrazu. Już na pierwszy rzut oka widać wywieraną na nim presję antropogeniczną. Przede wszystkim liczne są elementy przestrzenne takie jak domy, drogi, mosty itd. Ekosystemy takich obszarów są zmienione, a ich zdolność do samoregulacji została zakłócona. Oznacza to, że koniecznie trzeba tam prowadzić zabiegi ochronno-pielęgnacyjne, np. sadzenie drzew, zakładanie trawników czy utrzymywanie zadrzewień śródpolnych. Przykłady: wsie, pola uprawne i małe miasta o słabo rozwiniętym przemysle.

Zalewastowany — wykształca się wszędzie tam, gdzie silnie rozwinął się przemysł i procesy urbanizacyjne. W takich krajobrazach elementy wprowadzone przez człowieka dominują, natomiast ekosystemy naturalne uległy degradacji. Równowaga ekologiczna na takich obszarach jest silnie zakłócona, a biocenozy mają charakter kadłubowy, czyli bardzo okrojony. Przykładami mogą być centra takich miast jak Katowice, Legnica i Warszawa oraz okolice wielkich zakładów przemysłu ciężkiego i petrochemicznego.

Dla nurtu planistycznego najbardziej typowym przejawem działań ochronnych są **parki krajobrazowe** i **strefy chronionego krajobrazu**. Tworzone są na terenach niebýt zniszczonych, gdzie warto chronić pewne typowe wartości przyrodnicze i historyczno-kulturowe. Parki krajobrazowe mają przede wszystkim uzupełniać system parków narodowych, a często są przejściową formą w ich tworzeniu (por. Ryc. 215: 21 do 23). Ponadto obiekty tego rodzaju mogą przejmować część ruchu turystycznego, co zmniejsza obciążenia parków narodowych. Ważne jest też to, że na obszarach chronionego krajobrazu zakazuje się lokalizacji zakładów przemysłowych uciążliwych dla środowiska.

OCHRONA PRZYRODY WYMAGA JUŻ WSPÓŁPRACY WSZYSTKICH PAŃSTW NASZEGO GLOBU

Problemy z ochroną środowiska osiągnęły w wielu miejscach na Ziemi poziom taki, że ich rozwiązanie przekracza możliwości pojedynczych państw. Początkiem współpracy była **Konwencja Paryska** z 1902 r. o ochronie ptaków pożytecznych dla rolnictwa (Polska przystąpiła do niej w 1932 r.). W 1933 r. podpisano tzw. **Konwencję Londyńską**. Normowała ona zasady tworzenia parków narodowych i rezerwatów. Umożliwiała wspólną ochronę gatunkową, gospodarkę łowiecką i wprowadzała zakaz polowań na niektóre zwierzęta. Od 1956 r. działa wspomniana już Międzynarodowa Unia Ochrony Przyrody i Jej Zasobów (ang. IUCN). Protoplastą tej organizacji było Międzynarodowe Biuro Ochrony Przyrody. Powstało ono już w 1928 r. i mieli w tym swój udział polscy profesoria: Michał Siedlecki i Władysław Szafar. Do dziś działa też Światowy Fundusz Ochrony Przyrody (WWF), którego symbol — panda jest znany większości ludzi.

Niestety już w połowie naszego wieku działania te okazały się niewystarczające. Gwałtowna industrializacja i eksplozja demograficzna były przyczynami szybko postępującej degradacji środowiska naturalnego. Pierwszym sygnałem, że sytuacja jest naprawdę zła, był słynny **raport sekretarza generalnego ONZ U'Thanta** z 1969 r. Oto jego fragment:

„Po raz pierwszy w historii ludzkości zainicjował kryzys o zasięgu ogólnoswiatowym, obejmujący zarówno kraje rozwinięte, jak i rozwijające się — dotyczący stosunku człowieka do środowiska. (...) Nie ulega wątpliwości, że jeśli proces ten będzie kontynuowany — przyszcze życie na Ziemi zostanie zagrożone.“

W 1970 r. z inicjatywy UNESCO stworzono program „Człowiek i Biosfera“ (M&B od ang. *Man and Biosphere*). Celem był rozwój naukowych podstaw racjonalnego wykorzystania i zachowania zasobów biosfery. Niestety w latach 90-tych okazało się, że cała ONZ znajduje się w głębokim kryzysie, wynikającym z manowrąwstwa i biurokracji. Tak więc zdolność jej agentów do efektywnego działania jest bardzo mała.

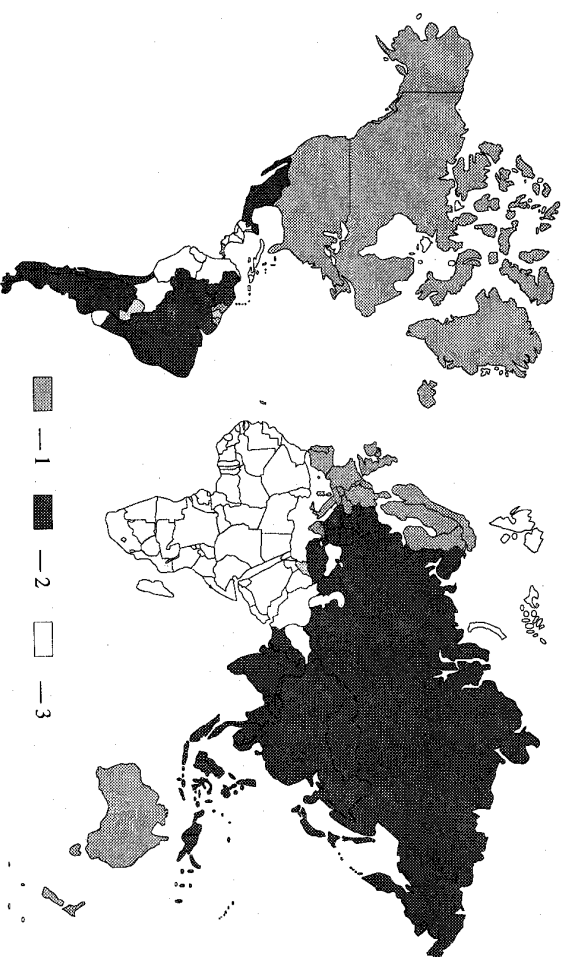
W LATACH 90-TYCH ZAGADNIENIA OCHRONY ŚRODOWISKI NATURALNEGO NASZEJ PLANETY WESZŁY W INNĄ FAZĘ

Najnowszą próbą ustanowienia nowego porządku ekologicznego na Ziemi był Szczyt Ziemi w Rio, który odbył się 3—14 VI 1992 r. (por. Ryc. 216). W spotkaniu tym uczestniczyli przedstawiciele aż 175 państw, a 117 z nich reprezentowali sami szefowie rządów.

Pierwszą grupę utworzyły państwa o wysokości, ustabilizowanej kulturze gospodarczej i politycznej (głównie Uni Europejskiej, Ameryki Północnej oraz Australia). Wchodziły one w fazę cywilizacji informacyjnej i będą w stanie chronić swoje środowiska naturalne. Drugą grupę tworzą kraje szybko rozwijające się, postkomunistyczne i dalekowschodnie. Dysponują one dużym, ale przestarzałym potencjałem przemysłowym (w tym zbrojeniowym), który silnie zdegradował środowisko. Tutaj zalicza się też niezbyt zamożną Polskę i supernowoczesną Japonię. Trzecią grupę tworzą kraje o mniejszym skądzeniu środowiska.

Szczyt w Rio uwiłdocił, jak wielkie są różnice w podejściu do środowiska. Wykazał podziały nawet w obrębie członków grupy G7, skupiającej najzamożniejsze kraje świata (USA, Niemcy, Japonię, Wielką Brytanię, Kanadę, Francję i Włochy). Przykładowo: przedstawiciele

USA nie podpisali konwencji o ochronie różnorodności biologicznej. Japończycy odmówili sygnowania deklaracji podniesienia wielkości swoich udziałów w pomocy na rzecz ochrony środowiska w krajach biednych (por. Tab. 3).



Ryc. 216. Najnowszy podział ekologiczno-polityczny Ziemi (1 — państwa potencjalnie zdolne chronić swoje środowisko, 2 — państwa silnie zamierzające swoje środowisko, niezgodnie do samodzielnego opomownia procesu degradacji, 3 — państwa o mniejszym skądzeniu środowiska).

Z kolei kraje przechodzące transformacje gospodarcze (była Europa Wschodnia, w tym Polska), oczekiwały czegoś w rodzaju Planu Marshalla, który pomógłby im przezwyciężyć skutki katastrofy ekologicznej. Kraje zrzeszające eksporterów ropy naftowej (ang. OPEC) stopowały zamiary obłożenia paliw specjalnym podatkiem ekologicznym. Państwa biednego południa po prostu nie mają żadnych możliwości samodzielnego poprawiania stanu środowiska. Część z nich stosuje jednak metody szantażu ekologicznego, grożąc np. totalnym wycięciem lasów równinowych i rozwijaniem tamich wężsi energetyki atomowej. Ponadto ich rządy oczekują znaczących rekompensat za korzystanie z ich różnorodności genetycznej i zasobów naturalnych.

Tak oto powstał swoisty „pat“ wynikający z konfliktu interesów i dlatego w Rio nie przyjęto żadnego konkretnego systemu weryfikacji przyjętych zobowiązań. Ich realizacja zależy więc tylko od dobrej woli sygnatariuszy. Widać też było próby politycznych i ideologicznych manipulacji, np. lansowanie teorii o niebezpieczeństwach wynikających z rozwoju naukowego (?). Rzecz w tym, aby racjonalnie wykorzystać istniejący potencjał techniczno-naukowy ludzkości, odrywając go od bieżącej polityki. Jestem przekonany, że przy całym szacunku dla własności i kapitału, wysiłek gospodarczy cywilizowanego świata trzeba będzie przestawić ze zbrojeń na rzecz ochrony naszej planety przed degradacją. Tym bardziej, że problemem jest wiele i wciąż narastają — oby więc stosowne decyzje nie pojawiły się zbyt późno.

Tab. 3. Ogólny bilans osiągnięć i ograniczeń szczytu w Rio.

Konwencja	Zawartość i cele ogólne	Narzucone ograniczenia
Ozmianach klimatu	Organizacja emisji gazów tzw. cieplarnianych, gł. CO ₂	Porozumienie ma charakter ogólny i pomija zagadnienia ustalające dopuszczalne wielkości emisji zanieczyszczeń i zmiany systemów podatkowych na proekologiczne (głównie na życzenie USA i krajów OPEC).
W sprawie lasów	Ochrona lasów tropikalnych i borealnych	Z wielkich zamierzeń pozostała jedynie bardzo ogólna deklaracja. Kraje najbardziej zależne doszły w niej próg naruszenia swoich interesów. Weto: Malezji, Brazylii i Indii.
Agenda 21	Progresywny katalog strategicznych celów ochroniarskich do zrealizowania w XXI w. Rozwój koncepcji światowego ekorozwoju. Niezależna, międzynarodowa ocena stanu terenów na Ziemi.	Przyjęta formuła wyklucza jakiegokolwiek środka przymusu prawnego. W katalogu nie podano żadnych konkretnych źródeł finansowania. Kraje bogatej Północy odmówiły przekazania ok. 0,7% ich produktów narodowych brutto na pomoc. Kraje biednego Południa zażądały swobody dysponowania środkami pomocy. Komisji nadzorczej Agendy 21 nie przekazano władzy decyzyjnej.
O różnorodności biologicznej	Ochrona krajów, w których żyje szczególnie dużo gatunków dymionych i zaginionych. Konwersja zadłużenia tych państw na inwestycje zagraniczne.	Nie została podpisana przez USA, które zaprotesowały przeciw naruszeniu interesów wielkich korporacji wykorzystujących zasoby gatunkowe państw biednych (bezpłatnie) i poprzez manipulacje genetyczne). Najbardziej były próby uznania poszczególnych gatunków jako własności państw występujących. Konwencję podpisały 154 państwa, chociaż uważały ją za martwy zapis.

Pytania i polecenia kontrolne:

1. Jak dzieliłaby przyrody z gospodarczego punktu widzenia?
2. Omów krajeźenie wody w przyrodzie. Jaka jest rola oceanów w utrzymaniu prawidłowego bilansu wodnego?
3. W jakim stopniu zanieczyszczone są rzeki polskie? Jakże są źródła tych zanieczyszczeń?
4. Wiele rejonów świata, w tym także Polska, zagrożonych jest kwaśnymi deszczami. Wyjaśnij, na czym to zagrożenie polega?
5. Jakże mogą być skutki nadmiernego zanieczyszczenia atmosfery dwutlenkiem węgla?
6. Jakże znaczenie dla utrzymania życia na Ziemi ma otaczająca ją warstwa ozonowa? Jakże są główne przyczyny jej niszczenia?
7. Wymień pięć obszarów zagrożenia ekologicznego w Polsce.
8. Jakże są główne przyczyny zanieczyszczenia gleb w Polsce?
9. Uzasadnij konieczność ochrony zasobów naturalnych przyrody. Jakże działania są w tym kierunku przez człowieka podejmowane?
10. Zdefiniuj pojęcie krajobraz. Wyjaśnij różnicę między krajobrazem pierwotnym i naturalnym.
11. Jak kształtuje się współpraca krajów w ochronie środowiska? Czego dotyczy szczyt w Rio?
12. Wskaż źródła zanieczyszczenia Bałtyku. Jakże są ich skutki? Jakże przedsięwzięcia podejmują kraje nadbałtyckie, by poprawić stan tego akwenu?
13. Wyjaśnij pojęcie ekorozwoju.
14. Uzasadnij konieczność ochrony gleb w Polsce.

31. Biogeografia

Każdy z nas zdaje sobie sprawę, że rośliny i zwierzęta występują niemal na całej kuli ziemskiej. Jednocześnie oczywiste jest zróżnicowanie gatunków w poszczególnych zakątkach oraz to, że jedne są szeroko rozpowszechnione, a inne nie. Potrzeba poznania odpowiedzi na pytanie, dlaczego tak się dzieje, doprowadziła do wyodrębnienia się **biogeografii** — nauki o rozmieszczeniu żywych organizmów na Ziemi. W obrębie biogeografii wyróżnia się dwa podstawowe działy: **fitogeografię** (zajmującą się rozmieszczeniem roślin) i **zoogeografię** (odpowiednio — zwierząt). Poznawanie geografii występowania układów żywych wymaga scalania liczących informacji z biologii i geografii. Mam nadzieję, że posiadasz odpowiedni poziom wiedzy ogólnej z obu tych dyscyplin.

Do czynników wpływających na rozmieszczenie roślin i zwierząt zaliczamy:

1. **Czynniki biogenetyczne** wynikają z różnej konstrukcji biologicznej organizmów. Inaczej mówiąc chodzi o odmienność budowy, funkcji biologicznych i możliwości adaptacyjnych poszczególnych taksonów (przypomnij sobie pojęcie skali ekologicznej). Zarówno wśród roślin, jak i zwierząt łatwo można wskazać na poważne różnice w zakresie możliwości i wymagań życiowych. Wynika to m.in. z istnienia ewolucyjnych procesów adaptacyjnych. Przykładowo, inne będą ścieżki rozwoju, niższe ekologiczne i rozmieszczenie plechowców oraz organowców. Te ostatnie mają większy potencjał rozwojowy (pomyśl, dlaczego?). Wykształciły też szereg różnorodnych przystosowań — przypominajmy tuż tylko kserotomfy i hydrofity. Ze zwierzętami jest dość podobnie, np. inne przystosowania będą wykazywały płazy, a inne ssaki.

ĆWICZ. Przypomnij sobie, jakie adaptacje w budowie i fizjologii powinno wykazywać zwierzę wodne, a jakie latające? Podaj przykłady, zwracając uwagę na różnice wynikające z rodowodu.

2. **Czynniki ekologiczne** to ogół elementów środowiskowych (abiotycznych i biotycznych). Ich wpływ na organizmy żywe został już skrótkowo przedstawiony (por. ROZDZ. 29). Dodajmy więc tylko, że poszczególne obszary Ziemi:

A) cechują się odmiennymi **warunkami świetlnymi i termicznymi**. Dla roślin szczególnie znaczenie ma dostępność światła — warunek sprawnie przeprowadzanej fotosyntezy. Wiadac to wyrażnie w strefach okołobiegunowych, gdzie długotrwałe okresy nocy polarnych eliminują większość gatunków. Dla zwierząt światło także jest istotne, jednak zwykle nie jest czynnikiem wpływającym bezpośrednio na ich rozmieszczenie. Z kolei długość dnia i nocy jest wykorzystywana przez większość organizmów do regulacji własnych zegarów biologicznych (por. ROZDZ. 25 oraz kl. III).

Odpowiednia temperatura jest jednym z najważniejszych czynników środowiskowych. Generalnie rzecz biorąc w okolicach równikowych jest wysoka i mało zmienna w skali roku. Tam też dla bardzo wielu gatunków roślin panują optymalne warunki termiczne. W okolicach podbiegunowych przez cały rok utrzymują się temperatury ujemne — na takich obszarach wiecznych zmarzlin nie ma roślin, a zwierzęta pojawiają się sporadycznie. Walkę o przetrwanie widac zaś w strefach kół podbiegunowych. Niskie temperatury ograniczają także występowanie organizmów w górach (nawet jeśli są one położone w cieplejszych strefach klimatycznych). Zwróć na to uwagę, gdy będziesz analizować strefy klimatyczno-roślinne w ROZDZ. 31.2.

Analiza warunków termicznych w określonych strefach klimatycznych i zwierząt tam zamieszkujących prowadzi do bardzo interesujących wniosków. W przypadku zmiennościceplnych widac wyraźnie, że ilość taksonów danej grupy roślinie w miarę zbliżania się do równika. Przykładowo w Polsce żyje 9 gatunków gadów, a na niewielkiej, ale gorącej Jawie prawie 15 razy więcej, podobnie ma się rzecz z bezkręgowcami, ponadto rozmiary zwierząt zmiennościceplnych są znacznie większe w tropikach (zastanów się, gdzie występują największe pajęczaki, jaszczurki i węże).

Nieco inaczej przedstawia się sytuacja wśród kręgowców stałocieplnych. Aktywność tych zwierząt nie jest zbyt zależna od temperatury otoczenia i dlatego liczba taksonów w poszczególnej strefach klimatycznych tak bardzo się nie różni. Zupełnie odwrotnie wygląda zależność wielkości homeotermia od temperatury otoczenia. Osobniki żyjące w niższych temperaturach są większe niż ich pobratymcy z okolic cieplejszych — jest to tzw. **reguła Bergmanna**. **Przykłady**: wilki syberyjskie i dzięki są większe niż nasze krajowe, z kolei polskie zimorodki są większe niż te z Bliskiego Wschodu. Wynika to wprost z praw fizyki — większy organizm ma mniejszą względną powierzchnię niż podobny do niego, ale mniejszy. Jednocześnie większa masa oznacza większą całkowitą produkcję ciepła. To nie wszystko — okazało się, że zwierzęta polarne mają relatywnie mniejsze wystające części ciała niż ich krewniaczy żyjący w strefach cieplejszych — jest to tzw. **reguła Allena**. Wystarczy spojrzeć na arktycznego piesca. Jego uszy, pysk, ogon i łapy są wyraźnie krótsze niż naszego **lisa rudego** (oba gatunki są blisko spokrewnione). Natomiast tylko w krajach tropikalnych żyją ssaki o bardzo dużych uszach (np. **fenek**, **stoż afrykański**), długich szyjach i kończynach (**żyrafa**, **okapi**, wiele antylopy). Największą względną powierzchnię całego ciała mają nietoperze — większość z nich występuje więc w tropikach.

CWICZ. Przyppomnij sobie podział roślin ze względu na wymagania świetlne i zwierząt ze względu na wymagania termiczne.

B) są odmiennie zaopatrzone w wodę, a przecież obecność tej substancji jest elementarnym warunkiem występowania życia. Głównie z tej przyczyny inne gatunki będą występować, np. na pustyniach i półpustyniach Afryki, a inne w jej wilgotnych lasach równikowych.

CWICZ. Przyppomnij sobie podział roślin i zwierząt ze względu na wymagania wodne.

Poza bezwzględna ilością wody istotne jest też jej źródło (opady, spływ powierzchniowy), a także to, jak dostawy są rozłożone w czasie. W niektórych rejonach Ziemi wody jest pod dostatkiem, ale jest niedostępna dla żywych organizmów na skutek zamarzania lub zasolenia.

C) wykazują odmiennie właściwości chemiczne środowiska. W przypadku składu atmosfery nie ma większego zróżnicowania na całej kuli ziemskiej (pominiam tu np. trujące wylizewy wulkaniczne czy zanieczyszczenia przemysłowe). Inaczej sprawa przedstawia się w zbiornikach wodnych. Podstawową kwestią jest sprawa zasolenia i jego wpływu na gospodarkę wodno-mineralną (przyppomnij sobie bariery rozprzeszczenia piazów);

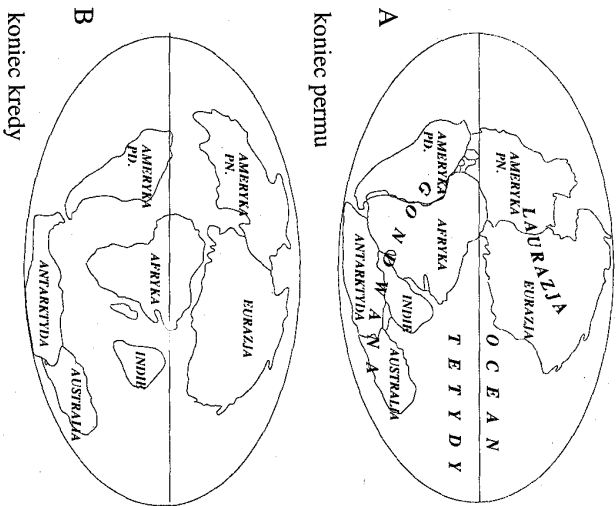
D) mają odmiennie podłoża. Jego najistotniejszym elementem jest **gleba** — wierzchnia warstwa skorupy ziemskiej przekształcona przez żywe organizmy. Przede wszystkim dostarcza ona roślinom soli mineralnych i jest podstawowym magazynem wody. Lokalnie może powodować dość istotne zmiany w składach fitocenozy. Przykładowo bez tlak i pokrzywy rosną na glebach zasobnych w azot, stąd — **nitrofity**. Z kolei niektóre gatunki szarotek, goździki i goździków należą do form wapieniolubnych, stąd określenie **kalcyfity**. W porównaniu z nimi znacznie większe jest rozprzeszczenie roślin słonolubnych — **halo-**

fitów (por. dalej **namorzyny**). Dla zwierząt skład chemiczny podłoża bezpośrednio nie jest istotny (por. jednak np. cykl rozwojowy motylczki!). Tym niemniej lokalne niedobory niektórych pierwiastków, np. sodu i potasu odbijają się niekorzystnie na roślinach, co później wpływa na kondycję roślinozerców. Najważniejsze dla zwierząt są więc: właściwości chemiczne i ukształtowanie powierzchni — znalazł przykłady zwierząt żyjących na płaskich terenach, skałach i błotach.

E) zamieszkane są przez różne organizmy, które wzajemnie wpływają na swoje rozmieszczenie. Oddziaływania te mogą mieć charakter negatywny lub pozytywny (por. **ROZDZ.** 29). Powinienes już wiedzieć, że naturalne zbiiorowiska roślinne i zamieszkuje je odpowiednie gatunki zwierząt tworzą biocenozy o znacznym stopniu nasycenia szcze ekologicznym. W tych warunkach, nawet jeśli pojawi się jakiś przybysz, to konkurencja gatunków miesocowych najczęściej wypiera go zupełnie. Tym niemniej znane są przykłady zdomawiania się obcych form w biocenozach naturalnych — z terenu Polski mogą to być: niecierpek drobnokwiatowy (składnik mezofitcznych lasów liściastych) oraz trzcina wodna. Trzeba tu jednak wyraźnie zaznaczyć, że główną przyczyną tego rodzaju zmian jest działalność człowieka.

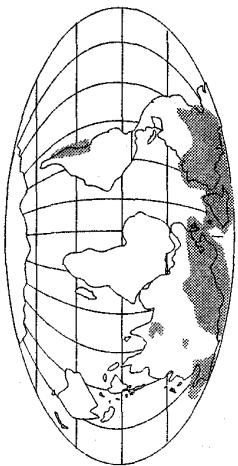
3. **Przeszłość geologiczna** naszej planety odcisnęła swoje wyraźne piętno na obrazie współczesnej szaty roślinnej i zwierzęcej. Wiele podobieństw i różnic w składzie flor i faun można wyjaśnić analizując formowanie powierzchni Ziemi w dawnych epokach geologicznych. Zwróć uwagę, że pod koniec paleozoiku istniały tylko dwa ogromne kontynenty: Laurazja i Gondwana (por. Ryc. 217). Pomędzy nimi istniały wówczas połączenia, co pozwalało na migracje gatunków i przepływ informacji genetycznej między populacjami. Era paleozoiczna kończyła się m.in. silnymi ruchami tektonicznymi, które wzmogły tempo wędrowek płyt kontynentalnych. Skutkiem było stopniowe rozdzielanie się prakontynentów na mniejsze części. Jednym z największej odizolowanych łądów była Australia (jak wiesz, do dzisiaj ma ona specyficzną florę i faunę z dużym udziałem relików). Z kolei

późne rozłączenie Ameryki Pn. i Eurazji tłumaczy podobieństwa biogeograficznych obszarów (por. też **ROZDZ.** 31.2 i 31.3). Takich przykładów jest znacznie więcej jednak zagadnienia tego rodzaju wykraczają poza zakres programu.



Ryc. 217. Obraz powierzchni Ziemi pod koniec paleozoiku (A) i mezozoiku (B). Zwróć uwagę na zarysy linii brzegowej łądów i znalazł podobieństwa do czasów obecnych.

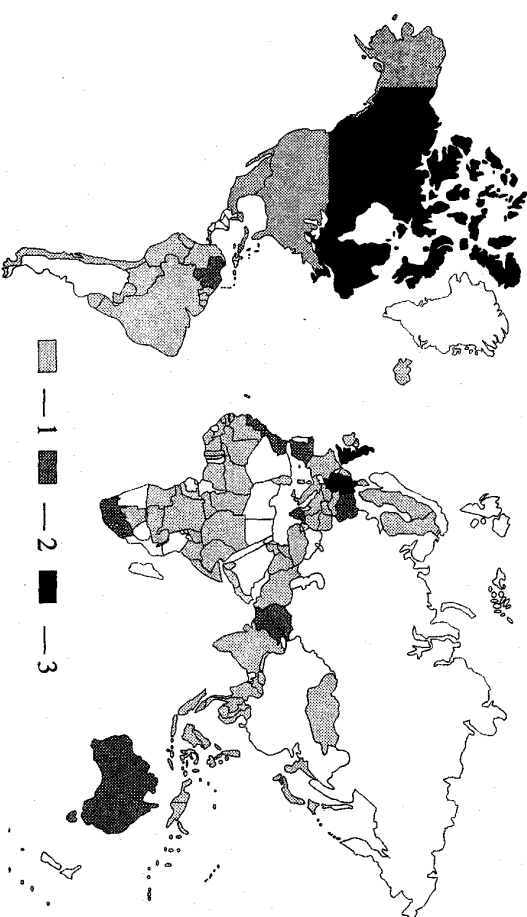
Nie należy także zapominać o okresach wielkich zlodowaceń w kenozoiku. Szczególnie o tych, które zachodziły na półkuli północnej w plejstocenie i objęły większą część Ameryki Pn. oraz spora Europę i Azji (por. Ryc. 218). Postępowanie lodolodów prowadziło do cofania się lub giniecia gatunków bardziej ciepłolubnych. Z kolei okresy ociepleń (międzyzlodowaceniowe, czyli interglacjalny) stanowiły zagrożenie dla organizmów zimnolubnych (por. wyznaczenie wielkich ssaków z III-trzędu). Na obszarach zlodowaceń życie utrzymywało się jedynie w ostojach (tzw. refugium). Były to tereny przy południowej granicy lodolodów oraz wyżyny, nie zajęte przez lód. W Europie ostatnie, najstarsze zlodowacenie — tzw. baltyckie skończyło się dopiero ok. 11 000 lat temu. Okres, w którym teraz żyjemy, nazywamy holocenem — zasadniczo jest to tylko interglacjal. W tej chwili znajdujemy się już po jego optimum klimatycznym, jednak trudno sugerować, że za kilkanaście tysięcy lat nastąpi kolejne zlodowacenie (glacjal). Otóż wiesz już, że działalność człowieka doprowadziła do poważnych zaburzeń klimatycznych (por. efekt cieplarniany). Być może więc górskie ostoje gatunków zimnolubnych takich jak, np. dębek osmiopłatkowy (por. Ryc. 223) znikną. Wydawać by się mogło, że będzie to miało znaczenie tylko dla kilku zwartowanych biologów. Jednakże nie wiemy, jakie skutki ekologiczne może wywołać nawet drobna zmiana w biocenozach, a po drugie zakres zmian będzie znacznie większy. Nie wiemy też, co stanie się, jeśli zmiany w biocenozach będą poważne.



Ryc. 218. Maksymalny zasięg zlodowaceń plejstoceniskich — obszary zacieniowane.

4. Działalność człowieka (czynniki antropogeniczne) wywiera szczególnie wpływ na żywe organizmy. O ile jednak do połowy XVII w. prowadzono to raczej do zwiększania różnorodności gatunkowej, to późniejsza rewolucja przemysłowa radykalnie zmieniła tę sytuację. Można tu wskazać na dwa aspekty. Z jednej strony wymiana handlowa i podróże sprzyjają rozprzestrzenianiu się gatunków, z drugiej jednak postępująca degradacja środowiska naturalnego doprowadziła do drastycznego ograniczenia liczebności wielu taksonów, wymierania innych i tworzenia prawdziwych pustyni życia. Na terenach uprzemysłowionych giną już nawet **gatunki synantropijne** (towarzyszące człowiekowi). Lista form zagrożonych wymarciem jest coraz dłuższa. Oto kilka przykładów: słonie, goryl, orangutan, jaguar, nosorożec, większość leniwców. Zasięg zagrożeń nie ogranicza się już do Amazonii, centralnej Afryki i państw uprzemysłowionych. Nawet na egzotycznych Wyspach Galapagos zagrożone są: żółw słonowy, legwan czy lokalny gatunek myszolowa, a na Hawajach gęś hawajska, wrona hawajska i tamtejszy gatunek myszolowa. Nie lepiej ma się sprawa z roślinami. W chwili obecnej 5—10% flory Ameryki Północnej zagrożonej jest wyginięciem (por. Ryc. 219). Trzeba jeszcze dodać, że winnym tego stanu rzeczy jest nie tylko przemysł. Także rolnictwo (środki ochrony roślin), polowania, kolekcjonerstwo, chęć wzbogacenia się i zwykła ludzka głupota prowadzą często do zmniejszania populacji roślin i zwierząt.

UWAGA: Przedstawiona powyżej charakterystyka jest bardzo lapidarna i pomija kilka ważnych aspektów: inne czynniki środowiska abiotycznego (jakie?) oraz fakt kompleksowego oddziaływania wszystkich elementów środowiskowych na żywe organizmy. Zainteresowanych odsyłam do ciekawej książki T. Umińskiego „Zwierzęta i kontynenty” WSiP oraz Z. Podbielkowskiego „Roślinność kuli ziemskiej” WSiP.



Ryc. 219. Mapa przedstawiająca stopień zagrożenia flor różnych państw (białe wypełnienia oznaczają brak danych lub ich fragmentaryczność, 1 — państwa, w których zagrożonych jest do 5% gatunków, 2 — od 5 do 15%, 3 — ponad 15%).

31.1. Rozmieszczenie organizmów

Naturalną tendencją wszystkich żywych układów jest skłonność do zajmowania coraz większego terenu, czyli do rozprzestrzeniania się.

AREAL ZAJMOWANY PRZEZ DANY TAKSON TO JEGO ZASIĘG

To, jaka będzie jego ostateczna wielkość, zależy od wielu czynników. Generalna zależność jest tu następująca: im szersza jest skala ekologiczna taksonu, tym szerszy będzie jego **zasięg**. Można analizować zasięgi pojedynczych gatunków i rodzajów, ale także całych rodzin czy wyższych jednostek taksonomicznych. Trzeba tu zaznaczyć, że wielkość zasięgu nie jest stała i zmienia się. Dotyczy to zarówno zmian o charakterze sezonowym, jak i generalnych, związanych z przemianami długookresowymi. Przeprawadźmy teraz pewne modelowanie. Założymy w nim, że początkowy zasięg nowego gatunku ogranicza się do niewielkiego obszaru w równinie, centralnej części Europy. Nasz wymyślony organizm jest stałocieplnym kręgowcem, średniej wielkości, ma szeroką bazę pokarmową i niewielkie wymagania życiowe. W początkowej fazie istnienia jego zasięg jest niewielki. Jednakże w miarę upływu czasu zasięda on coraz to nowe obszary niżu europejskiego — jego konkurencyjność w stosunku do gatunków lokalnych jest duża. Na drodze jego wędrówek pojawiają się różne przeszkody — nazywamy je **barierami**. I tak:

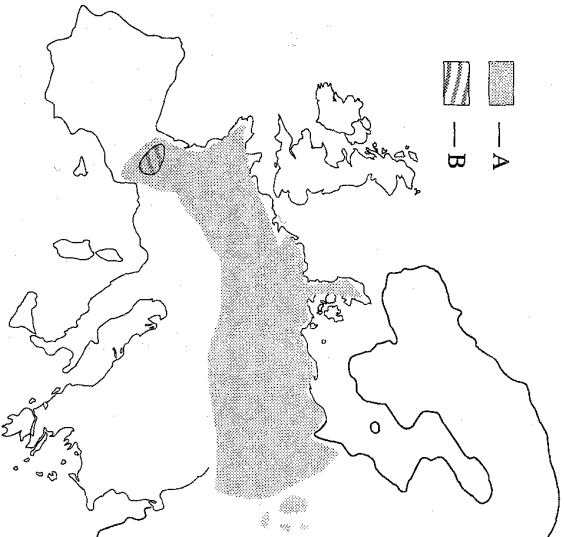
1. **Barriere fizyczne** to przeszkody topograficzne takie jak np. rzeki, jeziora, pasma górskie, pustyńne albo oceany. Dla organizmów wodnych tego typu przeszkodą jest też stopień zasolenia zbiornika wodnego. Zdolność pokonywania barier fizycznych zależy od konstrukcji bio-

gicznej danego gatunku, a także od okoliczności zupełnie przypadkowych, np. sily i kierunku działania wiatru, które mogą rozstiewać nasiona lub przenosić drobne bezkręgowce. Także za przypadek należałoby uznać przeniesienie niewielkiego zwierzęcia na pniu drzewa porwanego falą powodziową;

2. **Barierę klimatyczne** to te składowe klimatu, które ograniczają dany zasięg. Wystarczy przypomnieć sobie warunki klimatyczne na Sacharze i na Półwyspie Kola;

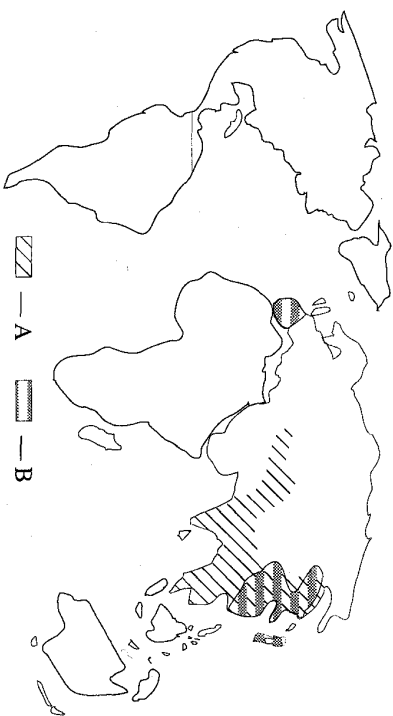
3. **Barierę biologiczną** powstają, ponieważ różne organizmy konkurują z przybyśsem bądź w inny sposób tworzą dla niego niekorzystne środowisko. Generalnie zmiana strefy roślinnej oznacza pokonanie bardzo poważnej przeszkody i jest mało prawdopodobna. Dla wysoko uorganizowanych kręgowców (ptaków i ssaków) barierą często jest strach przed nowym otoczeniem lub stereotypowość zachowań. To ostatnie dotyczy szczególnie ptaków, które zwykle mają techniczne możliwości wykonywania swobodnych, dalekich przemieszczeń, ale z nich nie korzystają.

Wróćmy teraz do naszego modelu. Żądany, że żadna z rzek niżu europejskiego nie stanowi poważnej bariery dla naszego gatunku. Rozprzestrzeni się on więc aż do granicy taktu karpackiego. Góry stanowią dla niego poważną przeszkodę i dlatego jego zasięg będzie ograniczony od południa barierą fizyczną. Na wschodzie Europy warunki klimatyczne są zbyt surowe i dlatego za linią Dniepru funkcjonują już tylko niewielkie wyspy zasięgowe. W Skandynawii jest za zimno, a gatunki lokalne tworzą barierę nie do pokonania. W ten sposób, w dużym uproszczeniu, powstał nam zasięg zwarty, ograniczony barierą gór, z wyspami na obwodzie (por. Ryc. 220 A). Przyjmijmy teraz, że po kilkunastu milionach lat nastąpiło niewielkie zlodowacenie. Napór lądolodu i ochładzanie klimatu wywołały kurczenie się analizowanego zasięgu. Jedyną jego osłoją stały się tereny Niziny Francuskiej — w ten sposób powstał niewielki zasięg reliktowy. Jeśli przyjąć, że gatunek ten nie występuje nigdzie więcej, to jednocześnie jego zasięg jest endemiczny (por. Ryc. 220 B).

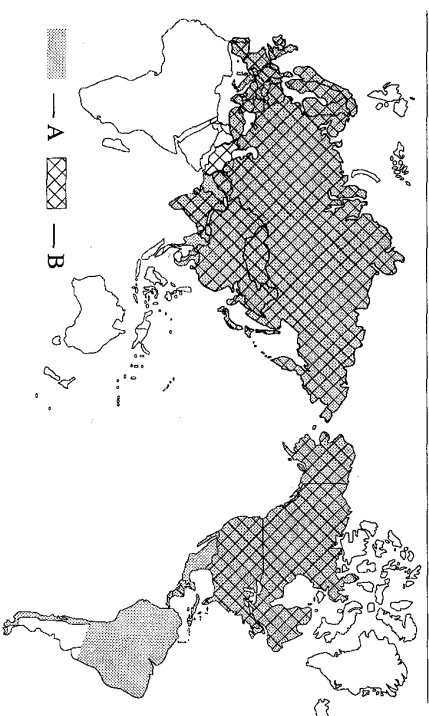


Ryc. 220. Zasięg analizowanego teoretycznego gatunku w Europie — maksymalny (A) i schyłkowy (B) (wyjaśnienia w tekście).

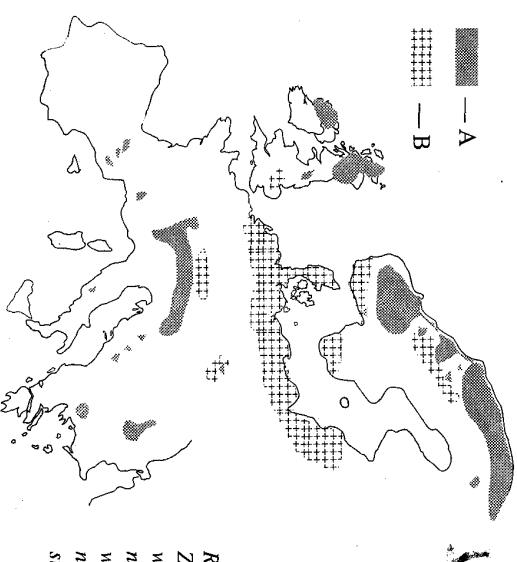
Oczywiście opisywany przypadek ma charakter modelu i to uproszczonego. Z kolei konkretne, rzeczywiste przykłady różnych zasięgów przedstawiono na Ryc. 221—225.



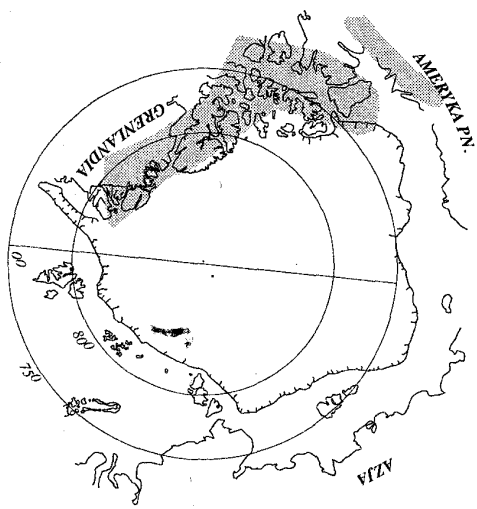
Ryc. 221. Zasięgi: zwarty tygrysa (A) i rozzerwany, czyli dysjunkcyjny stroki mordercy (B).



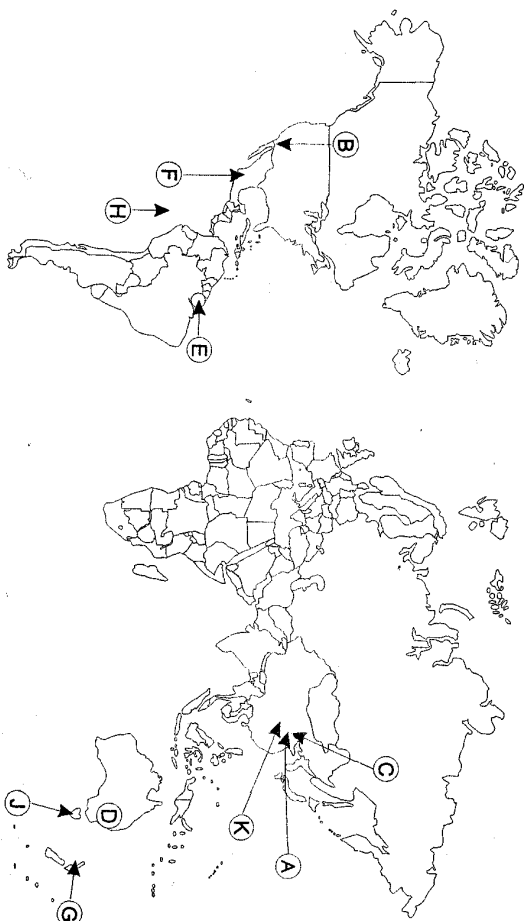
Ryc. 222. Przykład gatunków biologicznie ze sobą powiązanych — tojadu (A) i zapylających go trzmieli (B). Jak widać „współpraca” daje wysięgi mają charakter ciągły i kosmopolityczny.



Ryc. 223. Zasięg oligotermicznego dębika osmiopłatkowego — dzisiejszy (A) oraz obszary, gdzie odnaleziono stanowiska kopalne (B). Widać, że współcześnie jest to relikta polodowcowy, ograniczony w Europie centralnej do rozproszonej stanowisk górskich.



Ryc. 224. Zasięg reliktowego już piznowoła ogranicza się do obszarów najbardziej wysuniętych na północ.



Ryc. 225. Najbardziej znane relikty i jednocześnie endemity świata: miłorząb (nagorządźkowe, wielkolistne — A), sekwoja i metasekwoja (szpilkowe, odpowiednio B i C), rogozób i płazek (ryby dwudne — G i H), wilk workowaty (torbacz — J) i panda wielka (łożyskowic — K). Korzystając z atlasu, określ dokładniej ich położenie geograficzne.

Wyróżnia się więc dwa zasadnicze typy zasięgów:

1. Ciągłe, które dzieli się dalej na: **zwarte i ciągłe z wyspami na obwodzie;**
2. Nieciągłe, dzielone na: **rozzerwane czyli dysjunktywne i rozproszone.**

31.2. Fitogeografia

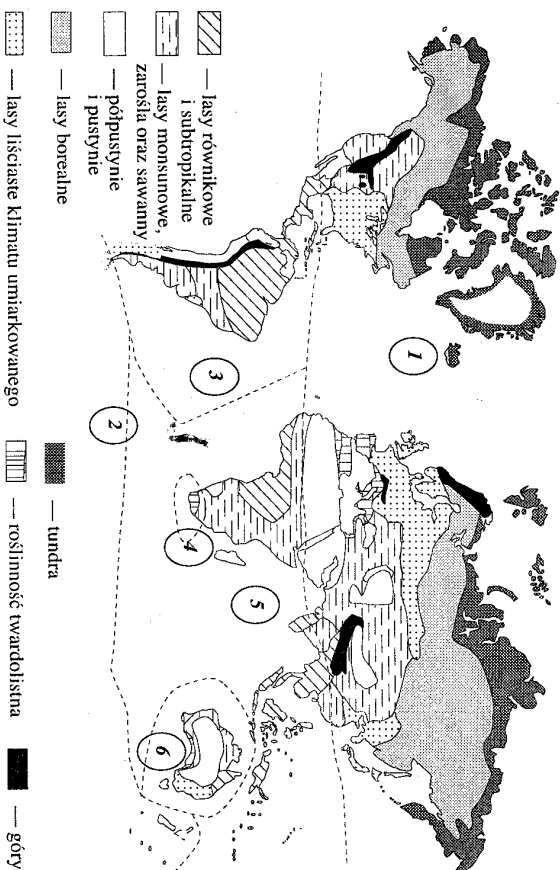
Flora Ziemi można podzielić wg kryterium podobieństw florystycznych, pokrewieństw i gatunków endemicznych na kilka dużych państw roślinnych — por. Ryc. 226.

JEDNAK ŁATWIEJSZE JEST WYRÓŻNIANIE STREF KLIMATYCZNO-ROŚLINNYCH

Są to duże formacje roślinne, które wraz z zamieszkującymi je zwierzętami tworzą **biomy**. Układ stref nie jest idealnie regularny, ponieważ na półkuli południowej jest znacznie mniej łądów, a oddziaływania oceanów na klimaty są bardzo znaczne. Wreszcie powierzchnia kontynentów nie jest równa i różni się podłożem. Wszystko to powoduje, że rozkład formacji roślinnych tylko z grubszą pokrywą się z układem równoleżników (widać to na półkuli północnej).

Pewną analogię do rozkładu stref klimatyczno-roślinnych znajdujemy w **piętrowym** rozkładzie roślinności w górach. Podobieństwo wynika głównie z rozkładu temperatur i skręcania okresów wegetacyjnych wraz ze wzrostem wysokości n.p.m. Nie dotyczy to jednak dostępności światła, dlatego nie ma tu prostego przełożenia. Dużo zależy też od położenia samych gór — lepiej więc, w przypadku gór europejskich i północnoamerykańskich, mówić o analogiach do układu strefowego.

ĆWICZ. Przypomnij sobie ze szkoły podstawowej piętra roślinności w Tatrach.



Ryc. 226. Najważniejsze strefy klimatyczno-roślinne kuli ziemskiej. Uwzględniono też podział na państwa roślinne: 1 — polarkryczne, 2 — antarkryczne, 3 — neotropikalne, 4 — przyładkowe, 5 — paleotropikalne, 6 — australijskie.

Strefa wilgotnych lasów równikowych

Czasem nazywa się je tropikalnymi i deszczowymi. Panuje tam gorący i parny klimat. Brak pór roku sprzyja wegetacji i dlatego są to najbardziej rozwinięte ekosystemy łądowe. Ich podstawowym komponentem są wysokie drzewa, których korony silnie ocieniają dno lasu. Pod nimi i w nich żyje bardzo wiele gatunków roślin i zwierząt. Szczególnie charakterystyczne są liany i epifitofity (np. przepięknie kolorowe paprocie). Kwiaty licznych gatunków osiagają znaczne rozmiary i są zapylane przez kolibry, a nawet przez nietoperze. Fauna jest przebogata z mnóstwem bezkręgowców. Relatywnie liczne są także kręgowce, np. płazy, ptaki i ssaki. Lasy tropikalne występują w okolicach równika w Ameryce Południowej (lokalna nazwa — *selwa*) i Środkowej. W Afryce obejmują głównie Kotlinę Kongo, Gwineę oraz Madagaskar, z kolei w Azji południowej krainę Płw. Indyjskiego, Płw. Indochiński, Archipelag Malajski i Filipiny. Uboższe warianty tej formacji występują także na pn-wsch wybrzeżach Australii. Dla człowieka są to tereny nieprzyjazne i dlatego dość słabo zabudowane. Nieliczone dzisiaj ogromne obszary lasów równikowych są wycinane i zamieniane na pola uprawne. Skutki tych działań będą katastrofalne w wymiarze lokalnym i globalnym. Przede wszystkim gleby laterytowe tej strefy są, wbrew pozorom, ubogie i nie dają oczekiwanych plonów, dlatego w wilgotnym i gorącym klimacie ulegają wyjąłowieniu i erozji już po kilku latach. Fanny upadają, więc i ludzie porzucają je dla nowych terenów. Największe zło polega na tym, że sukcesja w warunkach tropikalnych nie prowadzi w przewidywalnym czasie do restytucji, czyli odtworzenia lasu naturalnego.

Na morskich wybrzeżach, w strefie międzyzwrotnikowej, częste są **namorzyny**, inaczej — lasy mangrowe. Ta dziwna formacja jest mieszaniną różnych gatunków drzew i krzewów o bardzo rozbudowanych systemach korzeniowych. Wszystkie dobrze znoszą pełnomorskie zasolenie i okresowe zalanie. Namorzynowe lasy i zarośla występują na brzegach oceanów w strefie pływów. W czasie odpływów u wielu roślin można zaobserwować korzenie oddechowe umożliwiające dostarczanie tlenu częścicom podziemnym. Inną ciekawostką jest dość częsta „żywno-rodność” wśród rosnących tam roślin! Ścisłej mówiąc nasiona tych gatunków kiełkują już na osobnikach macierzystych i wywarzają długie, nawet na pół metra, korzonki. Dzięki temu, spadając z roślin macierzystej, wbijają się w muliste dno i błyskawicznie mocują do podłoża. W ten sposób chronią się przed wymywaniem przez pływy.

Okrzesowo sucha strefa roślinności podzwrotnikowej

Zajmuje tereny na północ i południe od strefy wilgotnych lasów równikowych. Panują tam nieco odmienne warunki klimatyczne. Roczna amplituda temperatur rośnie, ale nieznacznie i nie ma to większego wpływu na wegetację. W porównaniu z lasami równikowymi podstawa różnic stanowią wielkość opadów i ich rozłożenie w czasie. Zależność jest dość prosta — w miarę oddalania się od równika ilość wilgoci maleje i wyraźniej zaznacza się okres bezdeszczowy — pesimum klimatyczne nazywane tam zimą. W tym czasie wegetacja wyraźnie zamiera i wiele gatunków drzew oraz krzewów zrzuca liście. Nie dziwią więc liczne przystosowania roślin do ograniczenia transpiracji.

Najbardziej charakterystycznym biotemem tej strefy jest **sawanna** — zasadniczo formacja trawista, w której dość luźno rozmieszczone są pojedyncze drzewa i krzewy lub ich grupy. Trochę przypomina to ogromny park, wysuszony i zaniedbany łądem, a zielony i tętniący życiem w okresie deszczowym. Ogromne przestrzenie sawanny występują w Afryce, mniejsze w Ameryce Południowej (w dorzeczu Orinoko nazywana jest *llano*, a na Wyżynie Brazylijskiej *campo*), na Półwyspach Indyjskim i Indochińskim, a także w północnej i zachodniej Australii. Różnią je

podstawowe gatunki, np. z roślin drzewiastych w Afryce występują **baobaby i akacje**, w Ameryce Pd. różne palmy, a w Australii eukaliptusy i akacje.

Na terenach ciepłych, okresowo suchych, ale o krótkim pesimum klimatycznym rozwijają się **lasy monsunowe**. W okresie deszczowym przypominają one nieco zubożone lasy równikowe. W okresie bezdeszczowym najwyższe drzewa tracą liście i ich wegetacja zamiera. Niedługo zajmowały one wielkie obszary wokół strefy lasów tropikalnych, uzupełniając się wzajemnie z sawanną. Dziś lasy monsunowych jest niewiele. Najlepiej zachowały się w Azji południowo-wschodniej i na niektórych wyspach Malezji.

Głównym skutkiem rabunkowego pozyskiwania drewna i nadmiernej wypasu bydła w tej strefie klimatycznej jest ogromne rozprzeszczenie się **buszu**. To antropogeniczna formacja ma charakter krzewiasto-zarostłowy i praktycznie jest wyłączona z użytkowania rolniczego.

Dla centralnej Australii bardzo charakterystyczne są gęste, suchoroślowe zarośla, zwane **scrub**. Swoją dzikością przypominają busz, ale przyuczony ich powstania są naturalne. Posuwając się w głąb kontynentu australijskiego, stwierdzamy ze warunki klimatyczne stają się coraz bardziej pustyne.

Strefa gorących półpustyń i pustyń

Gorące półpustynie i pustynie znajdują się w Afryce, obu Amerykach, Azji i w Australii (czyż znasz nazwy najważniejszych?). Przyczyną powstawania półpustyń i pustyń są skrajnie niekorzystne warunki wodne. Przerwy w opadach mogą czasem sięgać kilku lat. Tam, gdzie wilgoci jest nieco więcej, tworzą się obszary skąpej roślinności o ubogiej faunie. Są to półpustynie. Tam, gdzie brak trwałych gatunków roślin, rozciągają się pustynie. Granice pomiędzy nimi są płynne, jednak dla wszystkich tych obszarów charakterystyczne są elementarne gatunki roślin, które muszą przetrwać w postaci nasion. Jeśli spadnie deszcz, gwałtownie rozwijają się i kwitną — czasem w ciągu kilkunastu godzin. Z trwałych form wymienić należy **suchorośla** (*Kserofity*) i **sukkulenty** (liściowe, np. agawa, aloes i lodygowe, np. wilczomlecz i kaktusy). Z ciekawych gatunków wymienimy jeszcze tylko endemiczną **welwiczję** (*Welwitschia mirabilis*) występującą na pustyni Namib. Jest to przedziwny przedstawiciel ngonastemnych — całą roślinę tworzy bardzo krótki, gruby pień, z którego na boki wyrastają dwa potężne, taśmowate liście.

Strefa roślinności twardolistej

Cechuje ją klimat z chłodnymi i dzizystymi zimąmi oraz gorącymi i suchymi okresami letnimi. Dominują w niej drzewa i krzewy o skórzastych, twardych liściach. Najlepiej rozwinięta się na wybrzeżach M. Śródziemnego. W południowo-zachodnich rejonach Ameryki Północnej, na południu Afryki i w południowej Australii roślinność twardolistna tworzy zwykle gęste zarośla. Intensywne pozyskanie drewna i wypasy kóz w basenach M. Śródziemnego doprowadziły do wyniszczenia naturalnych lasów i zarośli tworzonych m.in. przez dęby korkowe, wawrzyny i oliwki. W ich miejscu powstała **makia** — zespół zarośliowy z takimi gatunkami jak np. dąb ostroliśny, wrzosiec drzewiasty, lawenda i macierzanka. Nie ma on dla człowieka większego znaczenia gospodarczego.

Strefa stepów

Wyszarzacia się w klimacie umiarkowanym, w głębi kontynentów. Obejmują wielkie obszary Ameryki Północnej (prerie), Europy i Azji (stepy właściwe) i mniejsze Ameryki Południowej. Na terenach tych lata są suche i gorące, zimy zaś dość ostre. Opadów jest niewiele, a do tego

spora ich część przypada poza sezonem wegetacyjnym. Młedzy innymi dlatego są to obszary bezleśne, w których niepodzielnie panują trawy. Gleby są żyzne i bardzo zasobne w próchnicę, dlatego tam, gdzie klimat jest nieco łagodniejszy, wykorzystuje się je do celów rolniczych. Pessima wegetacyjne są dwa: lato i zima.

Srefta wilgotnych lasów podzwrotnikowych

W okolicach podzwrotnikowych są obszary, gdzie pasaty dostarczają dużo wilgoci, a gleby są zasobne w próchnicę. W takich miejscach wytworzyły się zbiorowiska zawsze zielonych lasów. Cechuje je mniejsza wysokość drzew niż w lasach równikowych, obfitość gatunkowa oraz udział lian i pnączy. W warstwie drzew dość duży udział mają paprocie drzewiaste i przedzielnociele nagonasiennych, np. arakarie w Brazylii. Z ciekawszych taksonów dwuliściennych wymienimy rodzaj *Nothofagus* z rodziny bukowatych rosnący w Chile i Australii. Drzewo to jest bliskim krewniakiem rozprzeczionego na półkuli północnej buka (*Fagus*). Jednocześnie rodzaje *Fagus* i *Nothofagus* są przykładami tzw. **taksonów zastępczych** — stanowią swoje geograficzne i biologiczne odpowiedniki. Wilgotne lasy podzwrotnikowe zostały znacznie przetrzebione i w naturalnej postaci można je spotkać tylko na niewielkich obszarach. Jednak kiedyś zajmowały duże tereny w Azji południowo-wschodniej, w Ameryce Południowej. Mniejsze zaś w Ameryce Środkowej, na Florydzie, wybrzeżach M. Kaspijskiego i południowych skrawkach Afryki oraz Australii.

Srefta lasów liściastych, zrzucających liście na zimę

Wyszczalcia się w dość wilgotnych rejonach klimatu umiarkowanego. Lata są dość ciepłe, natomiast zimy chłodne. Ilość opadów małeje w miarę posuwania się w głąb kontynentów. W pessimum wegetacyjnym drzewa tej strefy zrzucają liście. W warstwie drzew najczęstszą jest tylko jeden lub kilka gatunków dominujących. Przykłady: dęby, lipy, klony, buki i graby — wszystkie reprezentowane są we florze Polski. Dodajmy więc teraz, że nasz kraj leży właśnie w tej strefie, na pograniczu formacji borealnych lasów iglastych, stąd występują u nas zbiorowiska roślinne typowe dla obu tych stref. Nie należy jednak zapominać, że z wyjątkiem pewnych rejonów, dominacja gatunków iglastych w drzewostanach Polski jest głównie skutkiem działalności człowieka.

Flora Polski liczy nieco ponad 2 300 gatunków roślin naczyniowych, 850 gatunków mszaków i aż 1 200 gatunków porostów. Najliczniej reprezentowane są byliny, drzewa stanowią tylko 2% wszystkich gatunków, krzewy zaś 7%. Mimo to w okolicach 1000 roku n.e. leśność naszego kraju dochodziła do 80%. Jak wiemy, dzisiaj wynosi już tylko ok. 28%, a większość drzewostanów to gospodarcze monokultury sosnowe, nieodporne na zamieczczenia i szkodniki. Późnienie w centralnej Europie i młody wiek naszej flory powodują, że niewiele jest w niej endemitów. Do najbardziej znanych należałoby zaliczyć **warzucho polską** (*Cochlearia polonica*) z obrzeży Pustyni Błędowskiej i **ostrózkę tatrzańską** (*Delphinium oxysepalum*).

Srefta borealnych lasów iglastych

Na półkuli północnej tworzą ją ogromne obszary, na których lata są krótkie, chociaż dość ciepłe, za to zimy długie i surowe. Wody jest zasadniczo pod dostatkiem, jednak przez większą część roku jest ona niedostępna (chyba wiemy, dlaczego?). W takich warunkach wykształciły się gleby ubogie o charakterze biellicowym, a klimaksowym stadium sukcesji biocenozy zwykle są wiecznie zielone, ciemne lasy iglaste. Nazywa się je **borami**, jedynie w Azji **tajgą**. Tego typu biomy charakteryzują się ubóstwem gatunkowym roślin, np. warstwę drzew zasadniczo tworzą sosny, świerk, jodła lub modrzew. Liściaste gatunki, np. brzozy, jarzębiny i wierzby, występują

raczej domieszkowo w okolicach położonych bliżej brzegów mórz. Dno takiego lasu jest stale silnie zaciełnione, więc runo rozwija się słabo.

Bardzo charakterystyczne dla strefy borealnej są **torfowiska** — zwykle powstają w zagłębieniach, gdzie narastająca warstwa torfowców ulega od dołu mineralizacji. W ten sposób powstaje torf — skała osadowa pochodzenia organicznego. W Polsce utworzy takie występują głównie na północy, w pastwie poljeztery. Zarówno w naszym borach, jak i w ściśle rozumianej strefie lasów borealnych torfowiska spełniają istotną rolę zbiorników retencyjnych dla wód powierzchniowych. Bezmyślna gospodarka człowieka, polegająca m.in. na osuszaniu torfowisk doprowadziła do poważnego zaburzenia bilansu wodnego naszego kraju (por. ROZDZ. 30).

ĆWICZ. Scharakteryzuj przynależność fitogeograficzną Polski uwzględniając strefę klimatyczno-roślinną i nazwę państwa roślinnego.

W strefie borealnej przebiega granica występowania lasów. Widać to dobrze na dalekiej północy, a także w górach. W pierwszym przypadku surowy klimat doprowadził do powstania wiecznej zmarzliny (czasem: zmarzłoci). W krótkim okresie lata rozmarza ona jedynie do głębokości kilkudziesięciu cm. To zdecydowanie za mało aby drzewo mogło się ukorzenieć.

Srefta roślinności podbiegunowej

Często nazywa się ją strefą **tundr**, od nazwy typowego dla niej biomu. Na półkuli południowej praktycznie nie jest wyszczalciona. Brak ładu tak daleko wysuniętych na północie. Antarktyda jest stale pokryta lodem i pozabawiona gęb. W takich warunkach na obrzeżach żyją nieliczne gatunki bezkręgowców oraz **pingwiny**, okresowo obszary podbiegunowe Ameryki Pn. i Eurazji. Klimat tej strefy jest bardzo surowy z długimi, osyrymi zimami i bardzo krótkimi okresami ocieplenia. Takie warunki wytrzymują tylko najbardziej pionierskie formy biologiczne. Stąd dominacja początkowo krzewinek, później już tylko mszaków i porostów. Latem tundra tętni życiem — liczne są bezkręgowce, przylatują żyjące się nimi ptaki. Także roślinność **renifery**, **lemingi** i **zajęce** mają co jeść. Pod koniec sezonu wegetacyjnego większość kręgowców wycofuje się na północie w strefę leśną. Pozostają tylko specjalści, np. lemingi i niedźwiedź polarny.

31. 3. Zoogeografia

Faunę kuli ziemskiej podzielono na kilka wielkich jednostek zoogeograficznych — królestwa państw i krain (por. Ryc. 227). Podstawą ich wyróżniania są przede wszystkim podobieństwa składu gatunkowego kręgowców, liczba taksonów wspólnych i występowanie form odrębnych.

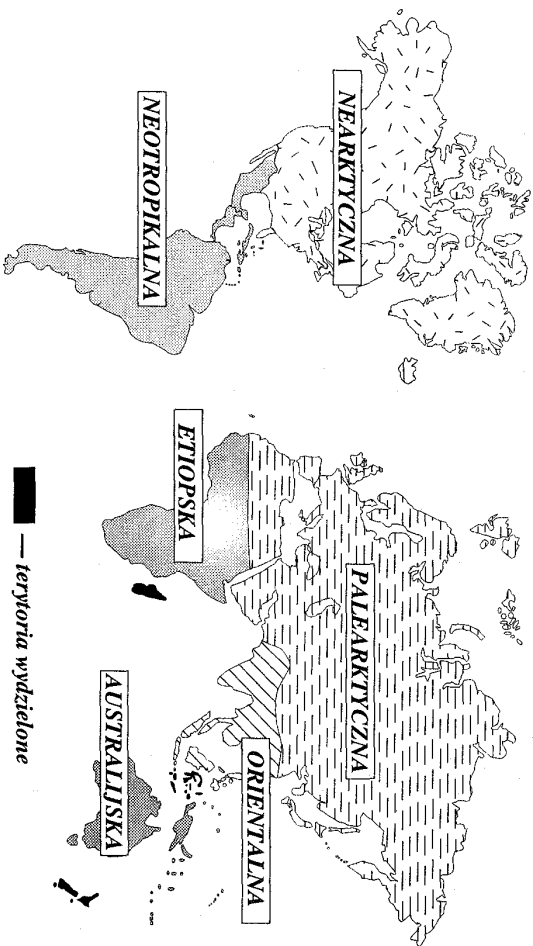
Krainy: palearktyczna i nearktyczna

Ta pierwsza obejmuje całą Europę, północną Afrykę oraz większą część Azji. Za jej południową granicę można przyjąć zwrotnik Raka. Kraina nearktyczna obejmuje obszary Ameryki Północnej do Meksyku. Obie krainy cechują podobieństwa klimatyczne, roślinne i przeszłość geologiczna. W obu, w strefie okotobiegunowej, żyją m.in. niedźwiedź polarny, lis polarny i sowa śnieżna. Ciekawe, że praktycznie tylko w tych krainach żyją piazzy ogoniaste. Posuwając się na południe, można zaobserwować rosnące różnice. Każda z krain ma swoje odrębne gatunki

tosci, bobrów, ryś i jeleni. Charakterystyczna dla palearktyki kozica ma w krainie nearktycznej swojego kuzyna — koźła śnieżnego. Wielbłądy: jednogarby, północnoafrykański dromedar i dwugarby, mongolski baktrian żyją tylko w krainie palearktycznej. Reliktowy wół pizmoowy występował kiedyś w całej strefie okołobiegunowej — dzisiaj żyje tylko na Grenlandii i północnej Kanadzie (por. Ryc. 224). Awifauna (fauna ptaków) obu obszarów jest dość podobna, obfituje w gatunki związane ze środowiskami wodnymi i błotnymi.

Polska leży w Krainie palearktycznej. Nasza fauna ukształtowała się dopiero w okresie polodowcowym i nie zawiera gatunków specyficznych. Ponad 70% zwierząt żyjących w Polsce to formy pospolite w całej krainie.

ĆWICZ. Wypisz samodzielnie kilkanaście gatunków ssaków i ptaków żyjących w Polsce, które potrafiłbyś samodzielnie rozpoznać. Przypomnij sobie także płazy i gady krajowe.



Ryc. 227. Podział zoogeograficzny kuli ziemskiej.

Krainy: etiopska i orientalna

Ta pierwsza obejmuje Afrykę na południe od Sahary. Ta druga zaś Półwysp Indyjski, Sri Lanke, Półwysp Indochiński, Filipiny, część Indonezji i Chin. Obie krainy leżą zasadniczo w strefie tropikalnej, a ich fauny są bardzo bogate. Niektóre gatunki ssaków np. gepardy są wspólne dla obu krain, inne są blisko spokrewnionymi formami zastępczymi jak np. słonie: afrykański i indyjski, bawół afrykański i indyjski, a także nosorożce.

Najwięcej gatunków zwierząt żyje w Krainie etiopskiej. Oto kilka wybranych przykładów: hipopotam, żyrafa, zebra, hiena przegowana, sekretarz, strus afrykański, żaba szponiasta. Nie ma w niej zaś m.in. niedźwiedzi i jeleni.

W Krainie orientalnej żyją m.in.: tygrysy, tupaie, panda mała i panda wielka, bazyanty, liczne są węże oraz jaszczurki.

Kraina neotropikalna

Obejmuje obszar Ameryki Południowej. Większość tych terenów leży w strefie klimatów tropikalnych i tylko południowe krańce mają klimat umiarkowany. Długostrwała izolacja doprowadziła do powstania wielu form endemicznych. Jednak wiele z nich przewędrowało do krainy nearktycznej, np. pancerniki, mrówkojad, ostronos, jaguar i puma. Tak więc, do typowych endemicznych zwierząt należą: leniwce, wyjce, kapibare, nietoperze wampiry, strusia nandu, piranie i węgorze elektryczne.

Kraina australijska i wydzielony obszar Nowej Zelandii

Obejmuje obszar Australii, Tasmanii, Nowej Zelandii i Nową Gwinee. Pamiętajsz zapewne, że jest to najdłużej i najsukcesyjniej izolowany obszar na Ziemi. Z wyjątkiem nietoperzy i szczurów nie ma tam ssaków tożyskowych (pomijam tu formy wprowadzone przez człowieka, np. dingo czy króliki. Trzon naturalnej fauny stanowią torbace, które przeszły radiację adaptacyjną — „miniaturową” w porównaniu z radiacją tożyskowych. Reliktowe i endemiczne są m.in. dziobak, kołczaki, wilk workowaty, kret workowaty, kuna workowata, kangury. Tylko na tym obszarze żyje słynny koala. Z gadów należy przypomnieć hatterię. Awifauna jest dość liczna, szczególnie dużo jest papug. Ojczyzną rajskich ptaków jest Nowa Gwinea.

UWAGA: Powyższa charakterystyka jest bardzo skrócona i pomija wiele ważnych zagadnień, np. przeniesienie taksosów pomiędzy strefami i krainami. Zainteresowanych odsyłam więc do źródeł, np. T. Umińskiego, „Zwierzęta i kontynenty” WSP i Z. Grodzińskiego „Zoologia — przedstrunowce i strunowce” PWN.

Pytania i polecenia kontrolne:

1. Jakie czynniki wpływają na rozmieszczenie roślin i zwierząt?
2. Omów wpływ czynników abiotycznych na rozmieszczenie gatunków.
- *3. Jakie czynniki warunkują występowanie życia — odpowiedź uzasadnij.
4. Podziel organizmy ze względu na ich wymagania wodne.
5. Jak kserofity przystosowały się do życia w warunkach ubogich w wodę?
6. Jak czadownik wpływa na rozmieszczenie roślin i zwierząt?
- *7. Co rozumiesz pod pojęciem „zasieg” w odniesieniu do określonego taksosnu? Wyjaśnij pojęcie „zasieg endemiczny”.
8. Jakimi czynnikami warunkowany jest zasięg taksosnu?
- *9. Jakich zjawisk dotyczy reguła Bergmanna i Allena?
10. Scharakteryzuj roślinność strefy międzyzwrotnikowej.
11. Na jakie jednostki podzieliłono faunę kuli ziemskiej? Co jest podstawą ich wyróżnienia?
12. Jakie zwierzęta żyją w krainie etiopskiej i orientalnej?