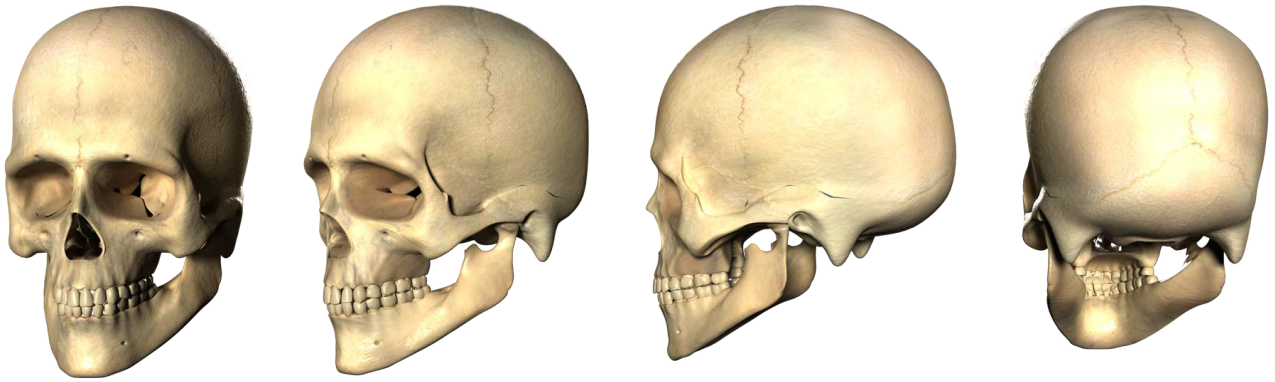




Ewolucja łuków skrzелowych i stawu żuchwowego

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Animacja](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



Ewolucja łuków skrzelowych i stawu żuchwowego

Czaszka człowieka (*Homo sapiens*).

Źródło: Przedmiotowy model 3D został opracowany przez Englishsquare.pl Sp. z o.o. na podstawie materiału źródłowego zakupionego w ramach serwisu www.turbosquid.com. Jakiegokolwiek dalsze użycie tego modelu 3D podlega wszelkim ograniczeniom opisanym w licencji opublikowanej na przywołanej stronie internetowej, tylko do użytku edukacyjnego na zpe.gov.pl.

Łuki skrzelowe to chrzęstne lub kostne elementy szkieletu wchodzące w skład trzewioczaszki kręgowców. W rozwoju ewolucyjnym poszczególnych gromad uległy one dużym przekształceniom. U gadów i ptaków pojawia się – tworzony przez część łuków skrzelowych – staw żuchwowy. Dopiero jego budowa u ssaków pozwala na rozcieranie i przegryzanie pokarmu. Z niniejszego e-materiału dowiesz się, jakim ewolucyjnym przekształceniom uległy łuki skrzelowe u kręgowców, zanim doszło do powstania stawu żuchwowego typowego dla ssaków.

Twoje cele

- Wykażesz znaczenie ewolucji łuków skrzelowych i stawu żuchwowego dla poszczególnych grup kręgowców.
- Przeanalizujesz zmiany ewolucyjne łuków skrzelowych kręgowców.
- Określisz, które elementy trzewioczaszki kręgowców powstające z łuków skrzelowych są narządami homologicznymi, a które analogicznymi.

Przeczytaj

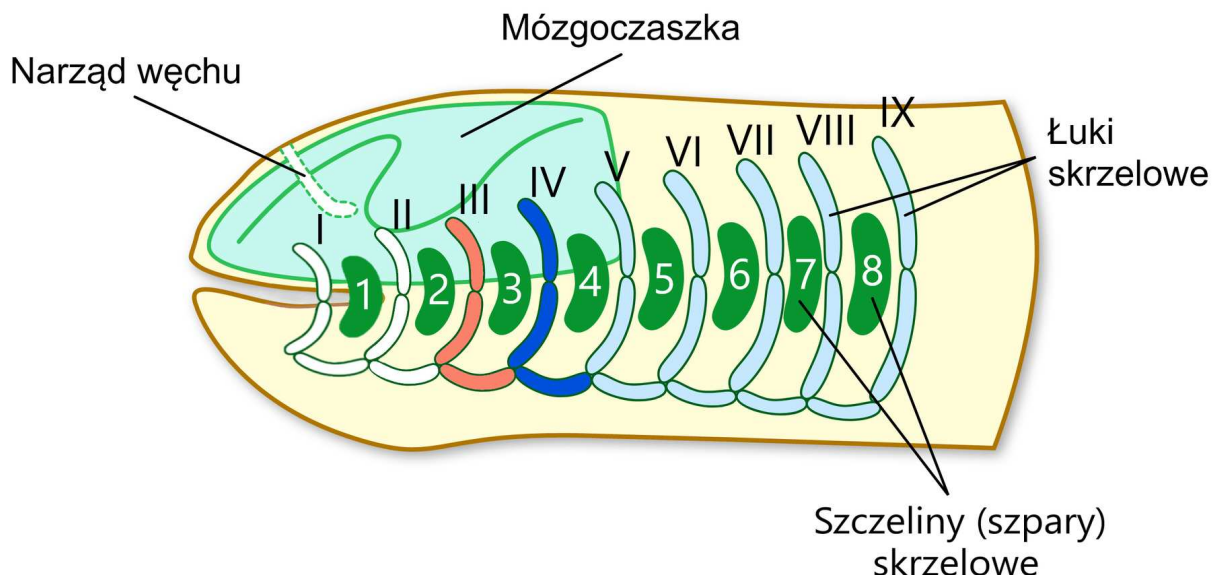
Strunowce niższe

U lancetnika szkielet odcinka skrzelowego gardzieli zbudowany jest z tkanki łącznej.

Kopalne bezszczękowce

Kręgowce bezszczękowe (dawniej „krągłousty”) są najprymitywniejszymi z kręgowców. Prawdopodobnie do tej grupy zwierząt należeli przodkowie współczesnych ryb.

Hipotetyczny przodek kręgowców miał dziewięć lub więcej łuków skrzelowych. Z uwagi na brak wykształconych szczęk żywił się przez filtrację lub był mułozerny.

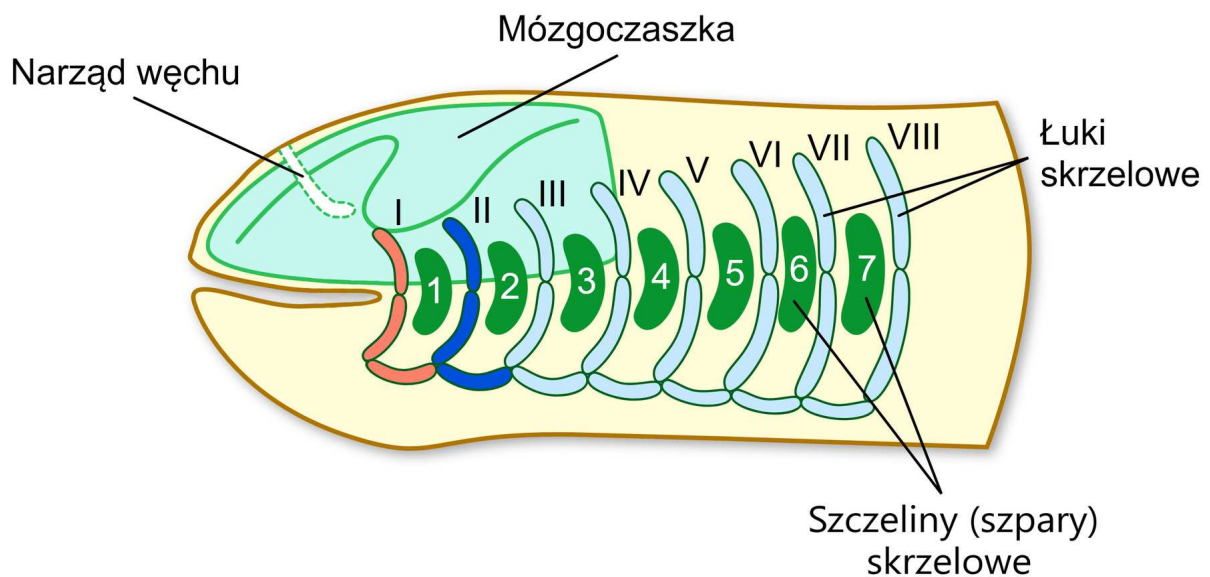


Szkielet trzewioczaszki wymarłych kręgowców bezszczękowych. Dwie pierwsze pary łuków skrzelowych wraz ze szczelinami na dalszym etapie ewolucji ulegają zanikowi i nie biorą udziału w formowaniu szczęk.

Źródło: Englishsquare.pl Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Minogi

Do żyjących obecnie kręgowców bezszczękowych należą minogi. W przednim odcinku głowy występuje u nich tarcza gębowa tworząca rodzaj przyssawki. Ich mózgoczaszka zbudowana jest z chrząstki. Organizmy te nie wykształciły żuchwy i kośćca szczęk. Trzewioczaszka minogów ma postać ośmiu par chrzęstnych łuków skrzelowych, które są szkieletem dla skrzel. Pomiedzy łukami skrzelowymi obecnych jest siedem szczelin (szpar) skrzelowych.



Szkielet trzewioczaszki kręgowców bezszczękowych na przykładzie minoga.

Źródło: Englishsquare.pl Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.



Minóg rzeczny (*Lampetra fluviatilis*).

Źródło: M.Buschmann, Wikimedia Commons, licencja: CC BY-SA 3.0.

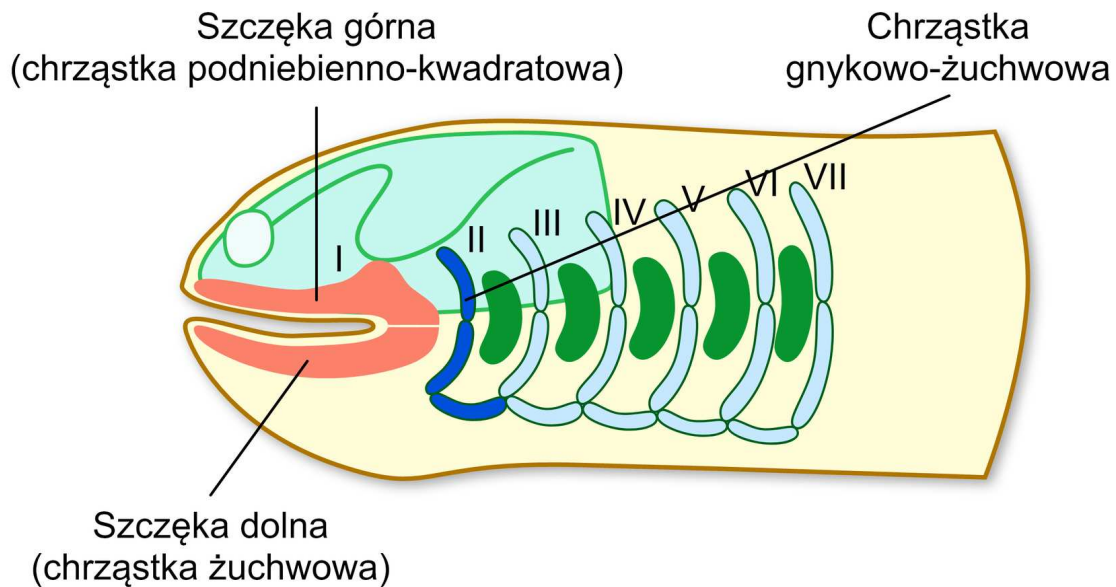
Więcej informacji o minogach znajdziesz w e-materiale pt. [Kragłouste](#).

Obecnie wielu naukowców uważa, że łuki skrzelowe u minogów mają niewiele wspólnego z pochodzeniem szczęk u ryb i innych szczękowców. U ryb następuje zanik trzech pierwszych szczelin skrzelowych. Związane z nimi dwie pary łuków zanikają, a kolejne łuki ulegają dalszym przekształceniom. Istnieje wiele hipotez dotyczących ewolucji łuków skrzelowych i nie ma pewności, że łuki skrzelowe bezszczękowców są **homologiczne** z tymi u kręgowców.

Ryby

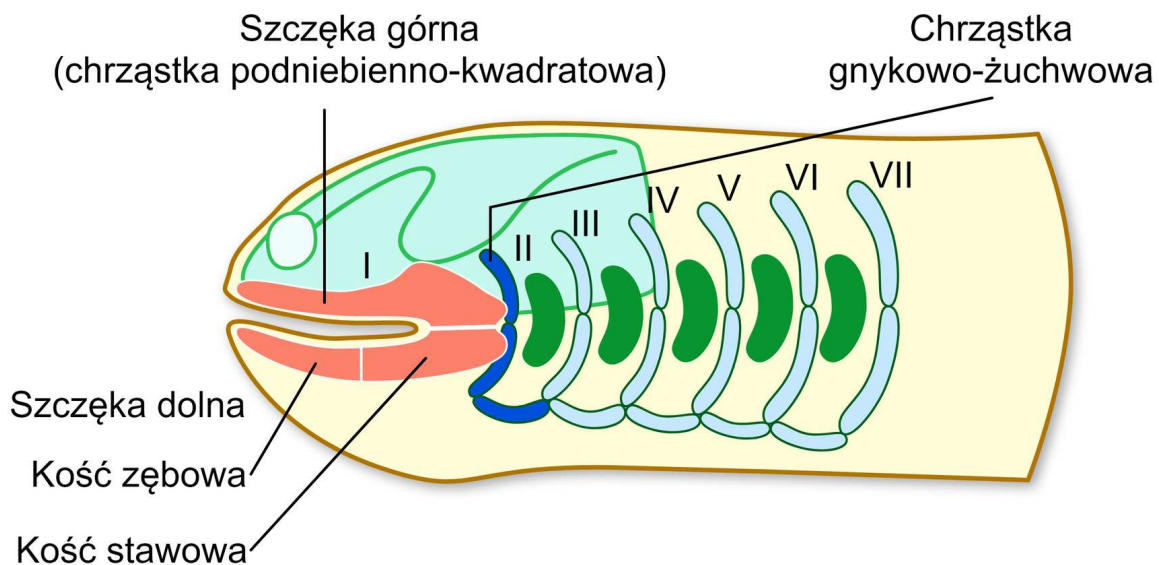
U ryb, w porównaniu z kopalnymi bezszczękowcami, pierwsze dwie pary łuków skrzelowych zanikły. Z perspektywy ewolucyjnej trzecia para zaczęła funkcjonować jako pierwsza i przekształciła się w aparat szczękowy, który łączy się z mózgoczaszką. Funkcjonujący drugi łuk skrzelowy stał się łukiem gnykowo-żuchwowym. Pozostałe łuki stanowią podstawę dla skrzeli, które, obmywane przez wodę, zapewniają wymianę gazową. Skrzela ryb chrzęstnoszkieletowych opierają się na pięciu parach łuków skrzelowych, choć u niektórych gatunków rekinów występuje ich więcej.

Aparat szczękowy ryb chrzęstnoszkieletowych zbudowany jest w następujący sposób: szczękę górną tworzy chrząstka podniebieno-kwadratowa, a szczękę dolną – chrząstka żuchwowa. U ryb kostnoszkieletowych zamiast chrząstki żuchwowej występują dwie kości: stawowa i zębowa.



Szkielet trzewioczaszki niektórych ryb chrzęstnoszkieletowych.

Źródło: Englishsquare.pl Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.



Szkielet trzewioczaszki ryb kostnoszkieletowych.

Źródło: Englishsquare.pl Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Ważne!

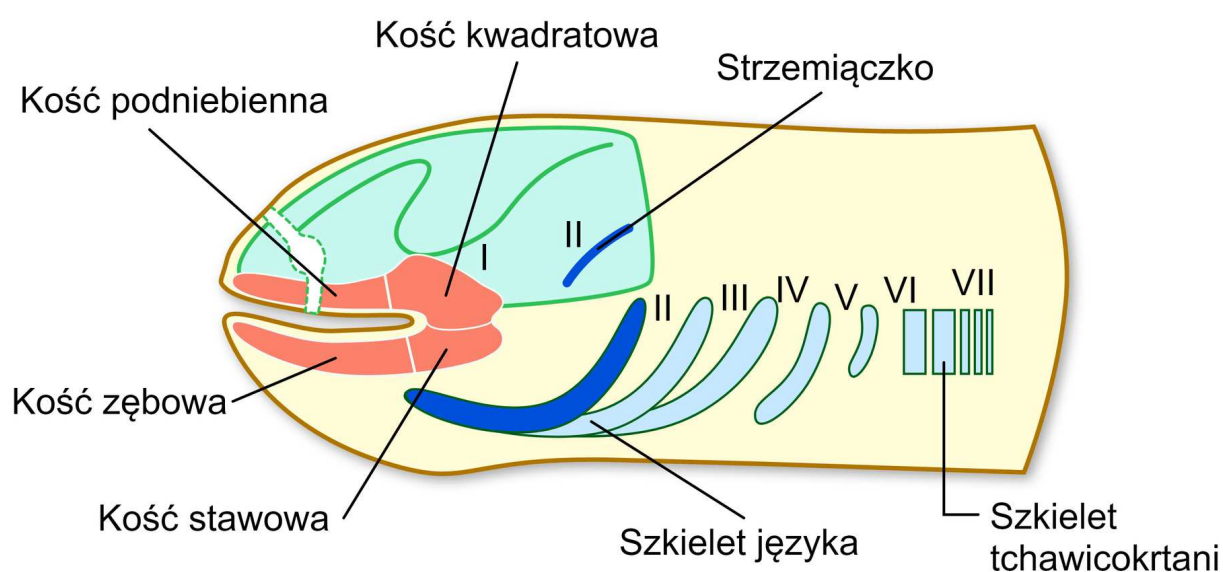
Prawdopodobnie pierwotną funkcją szczęk było usprawnienie mechanizmu wentylacji skrzelii dzięki szybkiemu zamykaniu i otwieraniu pyska. Z czasem usprawniło to także

proces odżywania się różnorodnymi organizmami. Nowe sposoby odżywania doprowadziły do zajmowania nowych siedlisk, najpierw wodnych, a z czasem lądowych.

Płazy

U płazów nie występują skrzela, więc łuki skrzelowe uległy dalszym przekształceniom. Powstała z I pary łuków skrzelowych szczęka zawiera m.in. kość podniebienną zrośniętą z czaszką. Kość zębowa, tworząca żuchwę, łączy się z czaszką za pośrednictwem kości stawowej i kwadratowej. Z chrząstki gnykowo-żuchwowej (powstałej z II łuku) wykształciła się kosteczka słuchowa – strzemiączko. Dolna część chrząstki gnykowo-żuchwowej oraz III i IV łuk skrzelowy przekształciły się w szkielet, który jest zaczepem dla mięśni języka i mięśni poruszających dnem jamy gębowo-gardzielowej. Pozostałe łuki skrzelowe utworzyły niektóre elementy krtani i tchawicy. Ponadto powstała jama bębenkowa. Zamyka ją błona bębenkowa, czyli pierwsza, zarośnięta szpara skrzelowa, rozpięta na pierścieniu chrzęstnym pochodzącym z chrząstki podniebieno-kwadratowej.

Wykształcenie kosteczki słuchowej wynika z przystosowania płazów do życia na lądzie. Dźwięk rozchodzący się w wodzie jest odbierany przez ciało ryby jako bodziec mechaniczny w formie wibracji i wzmacniany przez pęcherz pławny, a następnie przekazywany do ucha wewnętrznego. U płazów natomiast zaszła potrzeba wykształcenia narządu służącego do odbierania drgań powietrza wywołanych falą dźwiękową, powstało więc ucho środkowe.



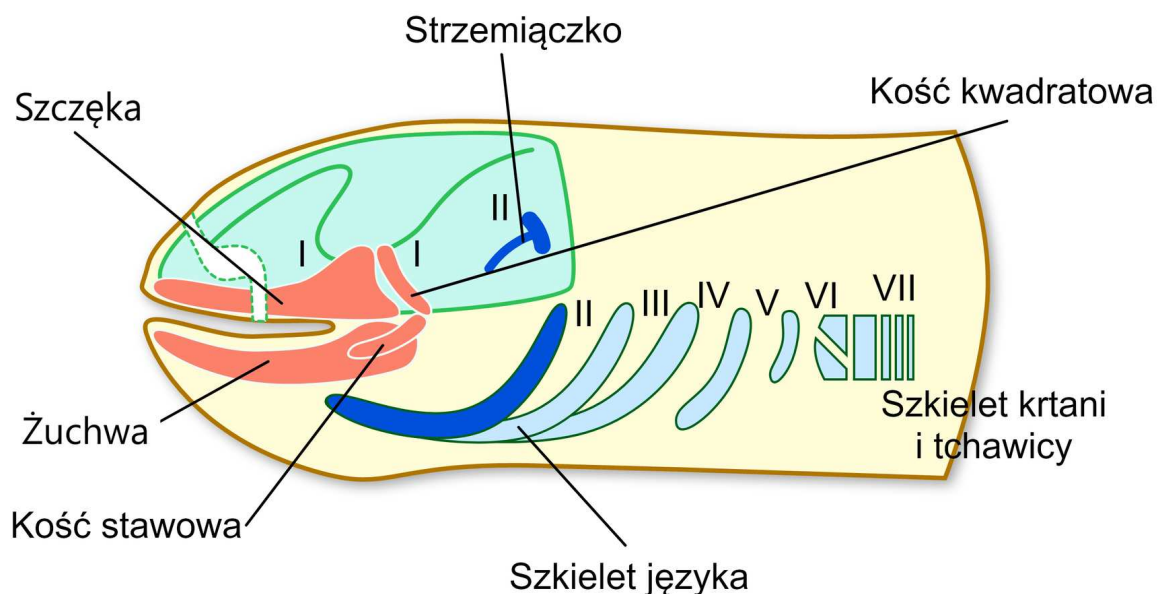
Szkielet trzewioczaski płazów.

Gady i ptaki

U gadów i ptaków pojawił się staw żuchwowy tworzony przez kość kwadratową szczęki górnej i kość stawową żuchwy. Dalsze łuki skrzelowe – szósty i siódmy – dały początek szkieletowi krtani.

Ciekawostka

U węży mamy do czynienia z czaszką kinetyczną – poszczególne elementy kostne nie są połączone kościorostami, ale stawowo i więzadłowo. Pozwala to na zwiększanie światła jamy gębowej, rozsuwanie podniebienia i kości żuchwy. Dzięki takiej budowie węże mogą połykać ofiary o znacznych rozmiarach.



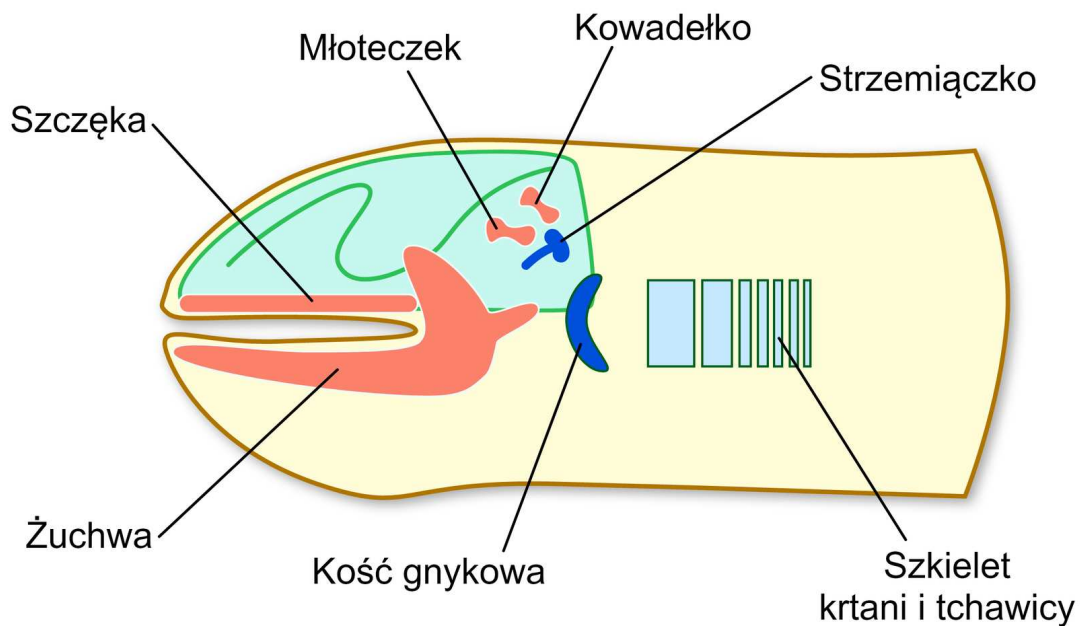
Szkielet trzewioczaszki gadów i ptaków.

Źródło: Englishsquare.pl Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Ssaki

U ssaków żuchwa łączy się bezpośrednio z łuską kości skroniowej kością zębową, tworząc wtórny staw żuchwowy. Występuje też kość gnykowa, powstała z dolnej części drugiego i trzeciego łuku skrzelowego, która staje się rusztowaniem krtani i służy jako przyczep mięśni języka. Pojawiają się także dwie dodatkowe **kosteczki słuchowe**, czyli kowadełko (z

przekształconej kości kwadratowej) i młoteczek (z kości stawowej). Łuki skrzelowe od czwartego do siódmego dają początek chrząstkom krtani i tchawicy.



Szkielet trzewioczasy ssaków.

Źródło: Englishsquare.pl Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Podsumowanie

- Narządami homologicznymi do I pary łuków skrzelowych są szczęka i żuchwa oraz kość kwadratowa i kość stawowa, a także kosteczki słuchowe: młoteczek i kowadełko.
- Strzemiączko (kosteczka słuchowa występująca u wszystkich kręgowców począwszy od płazów) oraz kość gnykowa u ssaków to narządy homologiczne do drugiej pary łuków skrzelowych.
- Połączenie między młoteczkiem i kowadełkiem u ssaków jest homologiczne do stawu żuchwowego gadów, utworzonego między kością kwadratową i kością stawową.
- Staw żuchwowy ssaków jest **narządem analogicznym** do stawu żuchwowego gadów, gdyż u ssaków tworzą go kości zębowe żuchwy i łuska kości skroniowej.

Słownik

kosteczki słuchowe

drobne kosteczki w uchu środkowym wyższych kręgowców, przenoszące drgania błony bębenkowej do przedsionka ucha wewnętrznego; u dorosłych płazów występuje jedna kosteczka słuchowa – strzemiączko; gady i ptaki również mają strzemiączko, a u ssaków

występują trzy kosteczki słuchowe: kowadełko, młoteczek oraz strzemiączko, połączone stawowo i dzięki temu wzmacniające przenoszone drgania

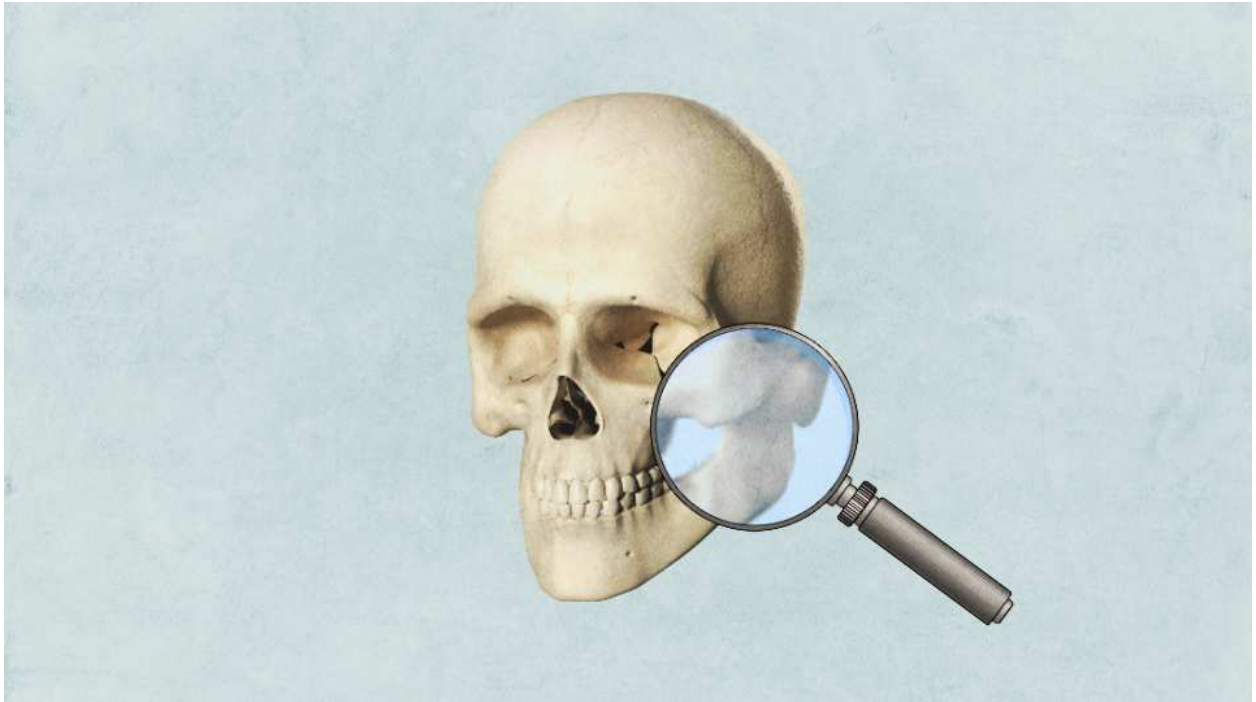
narządy analogiczne

narządy, które nie mają wspólnego pochodzenia ewolucyjnego, jednak pełniąc u różnych gatunków takie same funkcje, przybierają podobny kształt (np. kończyna przednia kreta i turkucia podjadka)

narządy homologiczne

narządy mające wspólne pochodzenie ewolucyjne, ale różniące się od siebie wyglądem, ponieważ pełnią inne funkcje (np. kończyny przednie ssaków, jak płetwy wieloryba i kończyny grzebne kreta)

Animacja



Film dostępny pod adresem </preview/resource/R18AyTzmoedi6>

Ewolucja łuków skrzelowych i stawu żuchwowego.

Źródło: reż. Englishsquare.pl Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Film nawiązujący do treści materiału pod tytułem: Ewolucja łuków skrzelowych i stawu żuchwowego.

Polecenie 1

Na podstawie wiedzy własnej oraz animacji opisz zmiany ewolucyjne łuków skrzelowych u ssaków.

Polecenie 2

Określ, czy młoteczek i kowadełko u ssaków to narządy analogiczne czy homologiczne do kości kwadratowej i stawowej u gadów. Odpowiedź uzasadnij.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Ułóż przekształcenia łuków skrzelowych w odpowiedniej kolejności.

U płazów, gadów, ptaków i ssaków pojawia się ucho środkowe ze strzemiączkiem.



Zanik pierwszych dwóch par łuków skrzelowych.



Dziewięć par łuków skrzelowych u beżżuchwów kopalnych.



Przekształcenie pierwszej (ewolucyjnie trzeciej) pary łuków skrzelowych w szczęki, a drugiej (ewolucyjnie czwartej) w chrząstkę gnykowo-żuchwową u ryb.



U ssaków pojawiają się dwie dodatkowe kostki słuchowe: kowadełko (przekształcona kość kwadratowa) i młoteczek (z kości stawowej).



Ćwiczenie 2



Przyporządkuj informacje do odpowiednich kategorii.

Narządy homologiczne

Przykład: kończyna przednia kreta i turkucia podjadka.

Pełnią inne funkcje.

Narządy analogiczne

Mają wspólne pochodzenie ewolucyjne.

Przybierają podobny kształt.

Przykład: kończyny przednie ssaków.

Nie mają wspólnego pochodzenia ewolucyjnego.

Różnią się od siebie wyglądem.

Pełnią u różnych gatunków takie same funkcje.

Ćwiczenie 3



Uzupełnij tekst, wstawiając w luki odpowiednie wyrażenia.

U ryb rozpoczyna się ewolucja .

Skrzela ryb opierają się najczęściej na łuków skrzelowych. Ucho środkowe po raz pierwszy powstaje u . Z kości gnykowo-żuchwowej powstaje .

gadów

strzemiączko

łuków skrzelowych

8 parach

ucho zewnętrzne

ptaków

4 parach

płazów

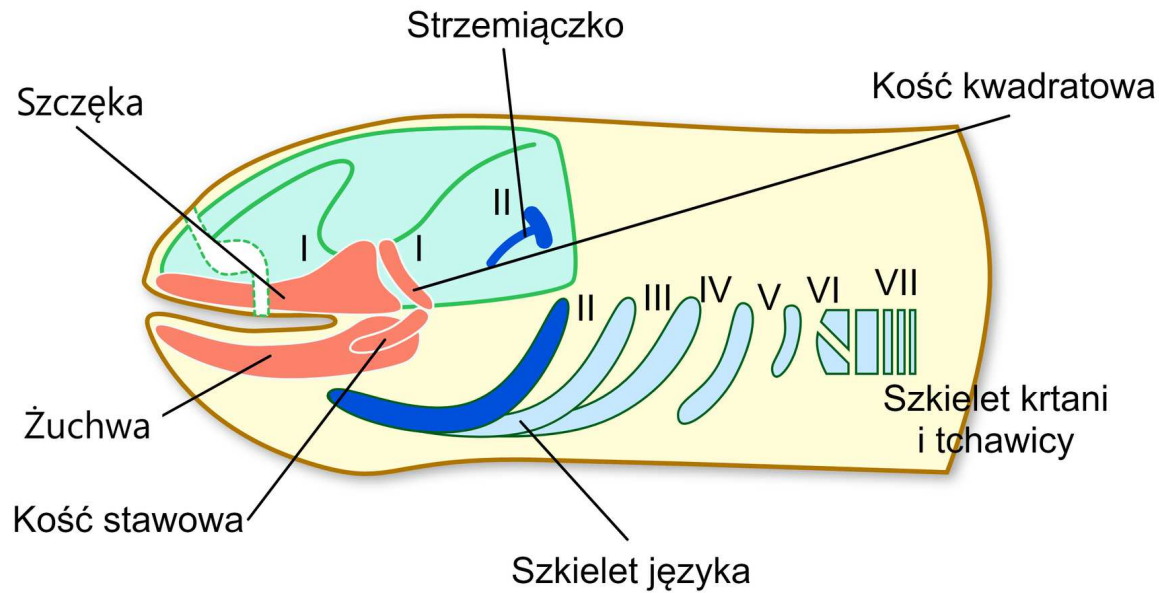
5 parach

młoteczek

Ćwiczenie 4



Zapoznaj się z poniższym rysunkiem, a następnie wykonaj ćwiczenie.



Źródło: Englishsquare.pl Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Dokończ zdanie, zaznaczając wszystkie prawidłowe odpowiedzi.

Grafika przedstawia trzewioczaskę...

☐ płazów.

☐ ssaków.

☐ ptaków.

☐ gadów.

Ćwiczenie 5



Wybierz prawidłowe określenia.

U ssaków wykształcają się dwie dodatkowe kostki słuchowe: kowadełko (przekształcona kość kwadratowa) i młoteczek (z kości stawowej). Pojawia się kość gnykowa z górnej części łuku skrzelowego, która staje się rusztowaniem ucha wewnętrznego krtani . Łuki skrzelowe od dają początek chrząstkom krtani i tchawicy. Żuchwa łączy się z łuską kości skroniowej wtórnym stawem żuchwowym.

Ćwiczenie 6



Określ, czy poniższe stwierdzenia są prawdziwe, czy fałszywe.

Stwierdzenie	Prawda	Fałsz
Aparaty szczękowe ryb kostnoszkieletowych i chrzęstnoszkieletowych różnią się budową anatomiczną.	☐	☐
Minogi nie są spokrewnione z rybami.	☐	☐
Bezszczękowce są najbardziej prymitywnymi kręgowcami.	☐	☐

Ćwiczenie 7



Wyjaśnij związek powstania ucha środkowego u płazów ze środowiskiem ich życia.



„Nerw błędny jest jednym z nerwów czaszkowych. Opuszcza czaszkę w okolicy jej podstawy, dając liczne odgałęzienia unerwiające okoliczne tkanki. Główna wiązka włókien nerwowych zstępuje poprzez szyję aż do klatki piersiowej, a dokładnie w okolice serca, gdzie zawija się wokół więzadła tętniczego i aorty, rozpoczynając powrotną drogę ku chrząstkom krtani, które są jej ostatecznym celem. W efekcie zamiast kilku – kilkunastu centymetrów mierzy ona kilkadziesiąt – u takiego ssaka jak człowiek, lub kilka metrów w przypadku żyrafy. Konstrukcja taka jest dziwna i powierzchownie nonsensowna z kilku powodów. Tak nieefektywny przebieg wiązki włókien nerwowych oznacza większy koszt energetyczny, zarówno w trakcie jego budowy (rozwoju), jak i funkcjonowania (metabolizmu), wydłuża niepotrzebnie drogę impulsu nerwowego i wielokrotnie ryzyko uszkodzenia tego nerwu. Na tym kończy się możliwość wyjaśnienia przebiegu tego nerwu w oparciu o tradycyjną anatomię opisową. Sytuacja ulega zmianie, gdy do wyjaśnienia przebiegu nerwu błędnego podchodzi się z perspektywy ewolucyjnej. Ssaki, ptaki, gady i płazy są potomkami organizmów wodnych. Przodek współczesnych kręgowców lądowych wywodził się z grupy ryb mięśniopłetwych (Sarcopterygii), których współczesnymi przedstawicielami są ryby dwudyszne (Dipnoi) i trzonopłetwe (Coelacantha).

Anatomia ryb różni się znacznie od anatomii ssaków. W przypadku omawianej tu struktury, najważniejsze różnice są następujące:

- Brak szyi u ryb. Regionalizacja kręgosłupa na odcinek szyjny i tułowiowy była jedną z ewolucyjnych zdobyczy umożliwiających podbój lądu przez pierwsze płazy. Jedną z konsekwencji pojawienia się odcinka szyjnego było oddzielenie się obręczy barkowej od czaszki – w przypadku ryb obręcz barkowa kontaktuje się z czaszką za pośrednictwem kości zaskroniowej [...]; utrzymanie takiego połączenia skutkowałoby między innymi przenoszeniem drgań powstających podczas stawiania kończyny na ziemi (czyli przy każdym kroku) na czaszkę.
- Położenie serca i głównych naczyń krwionośnych. Serce u ryb leży relatywnie bliżej głowy niż u kręgowców lądowych. Znajduje się niemal pod mózgowczaszką, zaraz za skrzelami. Wzdłuż łuków skrzelowych (chrzęstne i kostne elementy stanowiące szkielet skrzelii) biegną natomiast naczynia krwionośne zwane łukami naczyniowymi, doprowadzające krew do skrzelii (system wymiany gazowej). W toku ewolucji ulegały one stopniowo redukcji, zanikając lub łącząc się w większe naczynia i dzieląc na dwa obiegi. Ostatnia para łuków przekształciła się w lewy i prawy łuk aorty (u ssaków zachował się jedynie lewy).
- Obecność/brak krtani. Krtań jest jednym z odcinków układu oddechowego zbudowanym z kilku chrząstek (nagłośni, chrząstki pierścieniowatej, chrząstki tarczowatej i parzystych

chrząstek nalewkowatych) będących prawdopodobnie homologicznymi z brzuszными fragmentami łuków skrzelowych. Nerw błędny, który unerwia między innymi te elementy łuków skrzelowych, dociera do nich najkrótszą drogą, opuszczając czaszkę i biegnąc mniej więcej w dół między sercem a skrzelami aż do brzusznych części szkieletu skrzelu, do których dociera od tyłu.”

Źródło: B. Borczyk, *Dlaczego teoria ewolucji jest ważna*, [w]: A. Krajna, L. Ryk, K. Sujak-Lesz (red.), *Problemy dydaktyki fizyki*, Oficyna Wydawnicza ATUT, Wrocław 2011, s. 89-115.

Korzystając z tekstu źródłowego, wyjaśnij przebieg nerwu błędnego u ssaków z perspektywy ewolucyjnej. W odpowiedzi uwzględnij ewolucję łuków skrzelowych.

Dla nauczyciela

Autor: Anna Juwan

Przedmiot: Biologia

Temat: Ewolucja łuków skrzelowych i stawu żuchwowego

Grupa docelowa: uczniowie III etapu edukacyjnego – kształcenie w zakresie rozszerzonym

Podstawa programowa:

Zakres rozszerzony

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

X. Różnorodność zwierząt. Uczeń:

4) wymienia cechy pozwalające na rozróżnienie bezczaszkowców i kręgowców, a w ich obrębie kręgloustych, ryb, płazów, gadów, ssaków i ptaków; na podstawie tych cech identyfikuje organizm jako przedstawiciela jednej z tych grup.

Kształtowane kompetencje kluczowe:

- kompetencje cyfrowe;
- kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się;
- kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii.

Cele operacyjne (językiem ucznia):

- Wykażesz znaczenie ewolucji łuków skrzelowych i stawu żuchwowego dla poszczególnych grup kręgowców.
- Przeanalizujesz zmiany ewolucyjne łuków skrzelowych kręgowców.
- Określisz, które elementy trzewioczaski kręgowców powstające z łuków skrzelowych są narządami homologicznymi, a które analogicznymi.

Strategie nauczania:

- konstruktywizm;
- konektywizm.

Metody i techniki nauczania:

- z użyciem komputera;
- ćwiczenia interaktywne;
- prezentacja;
- mapa myśli;

- analiza animacji.

Formy pracy:

- praca indywidualna;
- praca w parach;
- praca w grupach;
- praca całego zespołu klasowego.

Środki dydaktyczne:

- komputery z głośnikami, słuchawkami i dostępem do internetu;
- zasoby multimedialne zawarte w e-materiale;
- tablica interaktywna/tablica, pisak/kreda;
- telefony z dostępem do internetu.

Przed lekcją:

1. Uczniowie zapoznają się z sekcją „Przeczytaj”.

Przebieg lekcji

Faza wstępna:

1. Nauczyciel wyświetla i odczytuje temat lekcji oraz zawarte w sekcji „Wprowadzenie” cele zajęć. Prosi wybranych uczniów o sformułowanie kryteriów sukcesu.
2. **Wprowadzenie do tematu.** Nauczyciel rozpoczyna pogadankę, zadając pytanie:
 - Jakie znaczenie ma ewolucja łuków skrzelowych u kręgowców?
 Chętni uczniowie udzielają odpowiedzi. Nauczyciel podsumowuje pogadankę, podkreślając związek ewolucji łuków skrzelowych ze zmianą środowiska, trybu życia oraz budowy ciała.

Faza realizacyjna:

1. **Praca z materiałem źródłowym.** Nauczyciel prezentuje schemat łuków skrzelowych u minoga. Następnie dzieli uczniów na cztery grupy. Zadaniem każdego zespołu jest przygotowanie krótkiej prezentacji na przydzielony temat:
 - grupa I – ewolucja łuków skrzelowych u ryb;
 - grupa II – ewolucja łuków skrzelowych u płazów;
 - grupa III – ewolucja łuków skrzelowych u gadów i ptaków;
 - grupa IV – ewolucja łuków skrzelowych u ssaków.
 Prezentacja przygotowana na podstawie e-materiału oraz zasobów internetowych powinna zawierać mapę myśli lub inny schemat porządkujący nową wiedzę. Grupy prezentują wyniki swojej pracy. Nauczyciel ocenia poprawność każdej prezentacji, wskazuje błędy, uzupełnia brakujące informacje.

2. **Praca z multimedium („Animacja”).** Nauczyciel wyświetla animację i wspólnie z uczniami dokonuje jej analizy. Prosi podopiecznych, by pracując w parach, określili i uzasadnili, czy młoteczek i kowadełko u ssaków to narządy analogiczne czy homologiczne do kości kwadratowej i stawowej u gadów (polecenie nr 2). Następnie uczniowie konsultują swoje rozwiązania z inną, najbliższą siedzącą parą.
3. **Utrwalenie wiedzy i umiejętności.** Uczniowie w parach wykonują ćwiczenie nr 7 (w którym mają za zadanie wyjaśnić związek powstania ucha środkowego płazów ze środowiskiem ich życia) z sekcji „Sprawdź się”. Następnie porównują swoje odpowiedzi z najbliższymi siedzącymi sąsiadami. Nauczyciel w razie trudności naprowadza podopiecznych na właściwe rozwiązania lub wyjaśnia wątpliwości.
4. Uczniowie rozwiązują w grupach 4-osobowych ćwiczenie nr 8 (w którym mają za zadanie wyjaśnić przebieg nerwu błędnego u ssaków z perspektywy ewolucyjnej), wyświetlone przez nauczyciela na tablicy. Po jego wykonaniu następuje omówienie rezultatów na forum klasy.

Faza podsumowująca:

1. Uczniowie wykonują indywidualnie ćwiczenie nr 2 (w którym mają za zadanie dopasować podane informacje do odpowiednich grup: narządów homologicznych lub analogicznych) z sekcji „Sprawdź się”. Chętne osoby prezentują swoją odpowiedź.
2. Nauczyciel wyświetla treści zawarte w sekcji „Wprowadzenie” i prosi uczniów o podanie informacji, które na lekcji były dla nich najciekawsze, najbardziej zaskakujące oraz najmniej zrozumiałe. Wyjaśnia wątpliwości uczniów.

Praca domowa:

1. Wykonaj ćwiczenia 1 i od 3 do 6 z sekcji „Sprawdź się”.

Materiały pomocnicze:

- Jane B. Reece i in., „Biologia Campbella”, tłum. K. Stobrawa i in., Dom Wydawniczy REBIS, Poznań 2021.
- „Encyklopedia szkolna. Biologia”, red. Marta Stęplewska, Robert Mitoraj, Wydawnictwo Zielona Sowa, Kraków 2006.

Dodatkowe wskazówki metodyczne:

- Multimedia zamieszczone w sekcji „Animacja” można wykorzystać w fazie wstępnej zajęć, w celu wzbudzenia zaciekawienia uczniów.