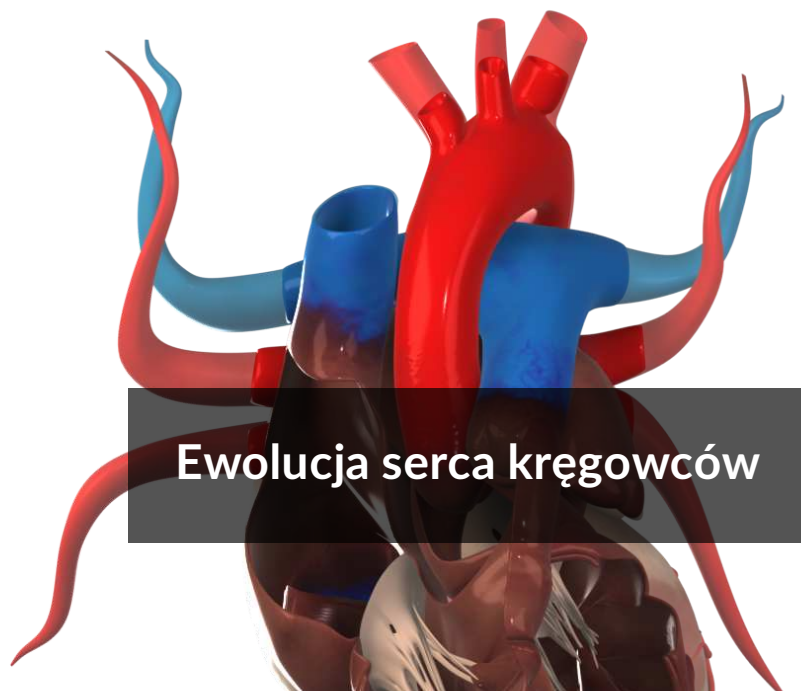


Ewolucja serca kręgowców

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



Ewolucja serca kręgowców

Budowa serca kręgowców ewoluowała od pulsującego naczynia, właściwego dla bezkręgowców, do wydajnego i skomplikowanego organu, jak przedstawione na ilustracji serce człowieka. U ssaków (w tym ludzi) i ptaków serce jest podzielone na dwa przedsionki oraz dwie komory, przy czym prawy przedsionek i prawa komora prowadzą tylko krew żylną i są całkowicie oddzielone ciągłą przegrodą od przedsionka lewego i komory lewej, prowadzących wyłącznie krew tętniczą.

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

Siłą napędzającą proces ewolucji serca kręgowców było stopniowe wychodzenie zwierząt na ląd. Zmiana środowiska wiązała się z koniecznością oddychania tlenem atmosferycznym i zwiększenia efektywności procesów przemiany materii. Kręgowce lądowe wytworzyły szereg adaptacji do nowych warunków, a część z nich polegała na doskonaleniu układu krwionośnego. Ten ważny układ rozprowadza po ciele krew zawierającą tlen i liczne inne substancje niezbędne do funkcjonowania organizmu. Jego centralnym elementem jest serce. W toku ewolucji budowa tego narządu stawała się coraz bardziej skomplikowana. Pozwoliło to sprawniej wykorzystywać pobrany z otoczenia tlen, dzięki czemu kręgowce są doskonale przystosowane do zajmowanego środowiska.

Twoje cele

- Porównasz budowę serc gromad kręgowców.
- Określisz tendencje ewolucyjne w budowie serca gromad kręgowców.
- Wyjaśnisz rolę poszczególnych części serca w obiegu krwi.

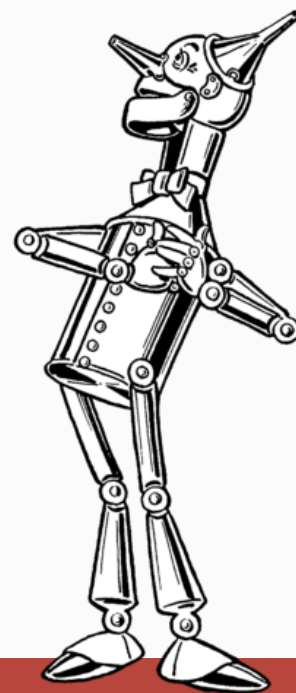
Przeczytaj

Rolą serca jest przepompowywanie krwi do systemu naczyń krwionośnych, w których krew krąży. Serce wykształciło się niezależnie u trzech grup zwierząt: stawonogów, mięczaków i **kręgowców**. Jest to przykład **konwergencji** – powstania podobnych cech w grupach organizmów odlegle spokrewnionych w odpowiedzi na podobne wymagania środowiskowe. Wspólny przodek tych zwierząt żył ok. 600 mln lat temu. Badania genomu współcześnie żyjących organizmów pozwoliły odkryć, że geny odpowiedzialne za wykształcenie serca pojawiły się wcześniej niż sam narząd. Kolejne ewolucyjne kroki milowe to wykształcenie mięśnia sercowego (od 540 do 570 mln lat temu) i **endotelium** (od 510 do 540 mln lat temu). Wspólny przodek ssaków (którego ogólny plan budowy był charakterystyczny również dla ludzi) pojawił się na Ziemi ok. 200 mln lat temu.

Jednym z genów odpowiedzialnych za wyodrębnienie się linii **komórek progenitorowych** serca jest gen **tinman**, po raz pierwszy zidentyfikowany u muszki owocówki (*Drosophila melanogaster*). Brak lub uszkodzenie tego genu skutkuje zatrzymaniem rozwoju serca. U kręgowców – w tym także u ludzi – występuje homologiczny do genu **tinman** gen **Nkx2-5**, a jego nieprawidłowości lub nieobecność prowadzą do wady w budowie tego narządu.

Ciekawostka

Nazwa genu *tinman* pochodzi od imienia jednego z bohaterów książki Lymana Franka Bauma pt. „Czarnoksiężnik z Krainy Oz” – Błazanego Drwala (ang. *Tinman*). Błazany Drwal, zbudowany z blachy, pierwotnie był człowiekiem, ale wskutek uroku Złej Czarownicy ze Wschodu bezpowrotnie stracił swą ludzką postać, a wraz z nią także serce, którego brak był dla niego najbardziej bolesny – stąd odniesienie do genu kluczowego dla rozwoju serca u muszki owocówki: mutacje genu *tinman* prowadzą do zaniku serca u tego owada.



Błazany Drwal na ilustracji Williama Wallace'a Denslowa, wykonanej do pierwszego wydania „Czarnoksiężnika z Krainy Oz” (1900).

Wpływ środowiska na zmiany w sercu kręgowców

Ewolucja biologiczna to proces stopniowych zmian, które służą **adaptacji** poszczególnych grup organizmów do zmieniającego się środowiska. Przystosowania te pozwalają organizmom przetrwać w nowych warunkach. W przypadku układu krwionośnego kręgowców, a w szczególności serca, które jest jego centralnym elementem, kierunek zmian ewolucyjnych wiązał się z dwoma ważnymi wyzwaniem. Pierwszym było udoskonalenie procesu oddychania powietrzem atmosferycznym, drugim – przeciwstawienie się sile grawitacji.

Początkowo kręgowce odznaczały się stosunkowo niskim poziomem metabolizmu i ograniczoną aktywnością. Zwierzęta musiały jednak wytworzyć adaptacje, aby lepiej unikać drapieżników lub sprawniej polować. W niektórych zbiornikach dochodziło również do obniżenia poziomu wody i występowania zjawiska **hipoksji** na skutek niewystarczającej ilości tlenu. Ryby z tych środowisk z czasem zaczęły wspomagać wymianę gazową (zachodzącą między wodą a skrzelami) powietrzem atmosferycznym. Stopniowe **wychodzenie zwierząt na ląd** wymusiło też adaptacje innego rodzaju – konieczne było mierzenie się z siłą grawitacji. Brak siły wyporu wody sprawiał, że na lądzie ciała kręgowców miały dużo większy ciężar.

Udoskonalenie procesu oddychania powietrzem atmosferycznym oraz pionizacja postawy ciała doprowadziły do istotnych zmian w budowie serca kręgowców. Dzięki tym zmianom nastąpiło zwiększenie ciśnienia krwi w układzie krwionośnym oraz usprawnienie pozyskiwania i rozprowadzania tlenu. Plan budowy serca stopniowo się komplikował. U wczesnych przedstawicieli kręgowców i innych **strunowców** serce miało postać kurczącej się rurki. Tworzyło ją pojedyncze naczynie krwionośne lub kilka naczyń. W toku ewolucji pojawiły się takie struktury jak przedsionek i komora. Rozwinęły się wspomagające ich pracę zatoka żylna oraz stożek tętniczy (obserwowane u kręgowców niższych). Konieczność wytworzenia większego ciśnienia krwi w obiegu doprowadziła do jakościowej zmiany mięśniówki serca (miokardium). Zmianę tę szczegółowo przedstawia poniższa tabela.

Tkanka mięśnia sercowego pierwotna	Tkanka mięśnia sercowego właściwa

Tkanka mięśnia sercowego pierwotna	Tkanka mięśnia sercowego właściwa
- dominuje u ryb z niskim poziomem aktywności oraz u płazów - nieuporządkowana, gąbczasta organizacja komórek - słaba kurczliwość - wolne przewodzenie impulsu elektrycznego - zaopatrywana w tlen w wyniku dyfuzji z krwi - duża zdolność regeneracyjna dzięki prolifracji komórek macierzystych	- dominuje u ptaków i ssaków, u gadów stanowi 50% masy ściany komory serca - zwarta organizacja komórek – tworzenie włókien - silna kurczliwość - szybkie przewodzenie impulsu elektrycznego - zaopatrywana w tlen przez osobne naczynia (np. naczynia wieńcowe) - wrażliwość na stężenie Ca^{2+} - niewielka zdolność do regeneracji

Zapobieganie cofaniu się krwi w układzie krwionośnym zapewniły **zastawki**, które występują zarówno w sercu, jak i w naczyniach żylnych. U kręgowców wyodrębniły się również **dwa obiegi krwi** w związku z pojawieniem się płuc, a mechanizmy zapobiegające mieszaniu się krwi utlenowanej z odtlenowaną zwiększyły efektywność wymiany gazowej.



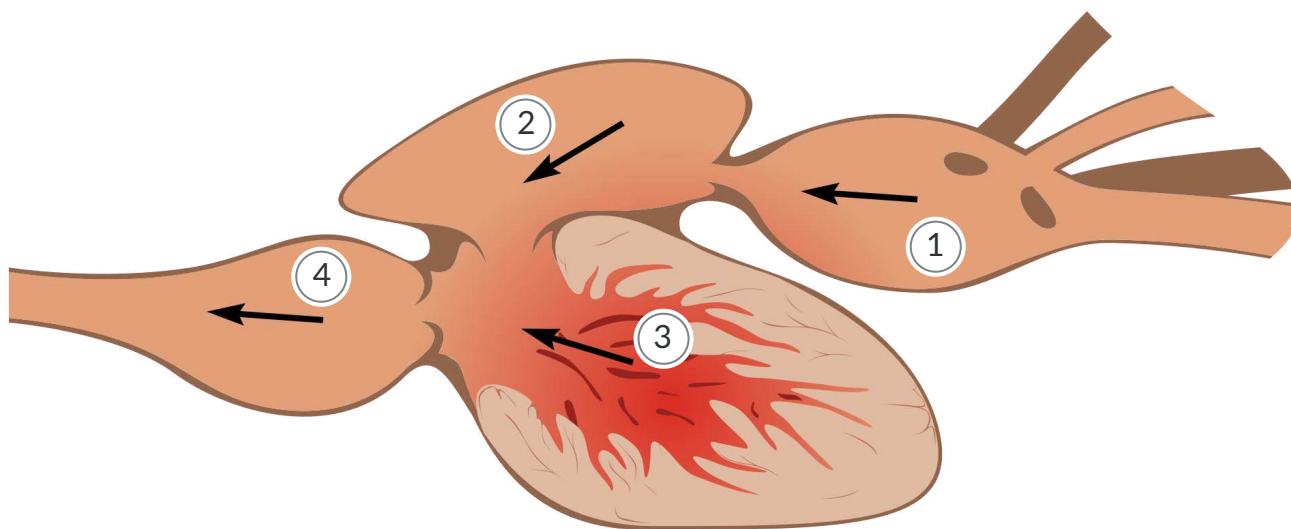
Rhacolepis buccalis to wymarły gatunek, którego odnaleziona skamieniałość zawiera całkowicie zachowane serce. Dzięki zdjęciom rentgenowskim naukowcom udało się stworzyć trójwymiarową rekonstrukcję narządu. Ryba ta w sercu miała więcej (bo aż pięć rzędów) zastawek niż współcześnie żyjące gatunki.

Źródło: Eduard Solà Vázquez, Wikimedia Commons, licencja: CC BY-SA 3.0.

Ewolucja budowy serca kręgowców

Ryby

Charakterystyczną cechą układu krążenia ryb jest niskie ciśnienie panujące w naczyniach. Krew wypływa z serca aortą brzuszną, skąd systemem tętnic przepływa przez skrzela, a dopiero później jest rozprowadzana na inne organy – skutkuje to znacznym spadkiem ciśnienia krwi. W sercu ryb, złożonym z przedsionka i komory, pojawiły się struktury, które poprawiają pracę serca w warunkach niskiego ciśnienia krwi.



1

Zatoka żylna

2

Przedsionek serca

3

Komora serca

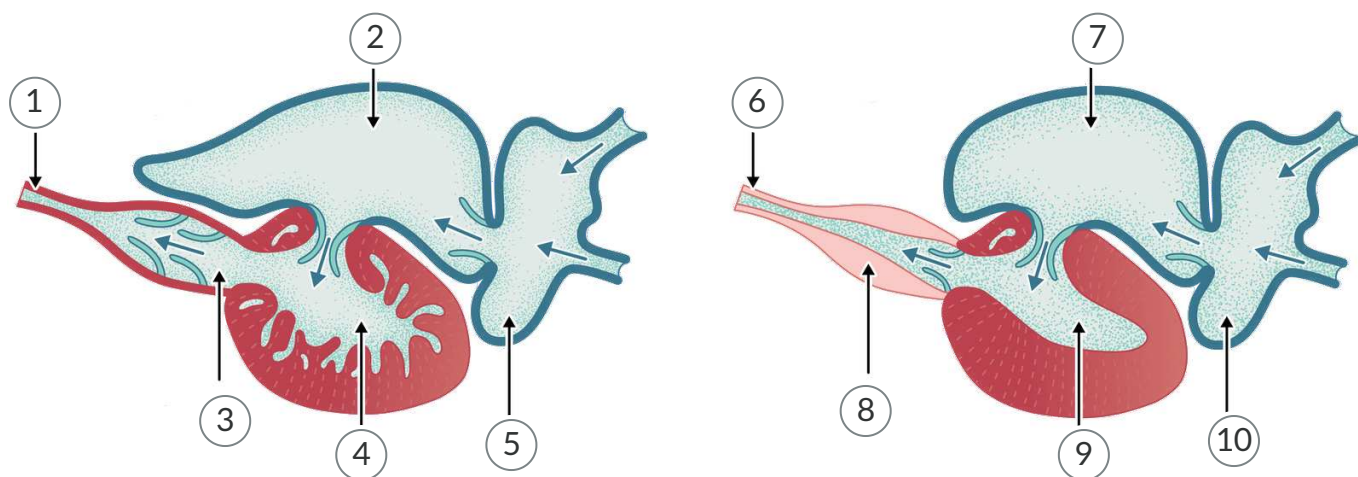
4

Stożek tętniczy

Ilustracja przedstawia schemat budowy serca ryb. Serce ryb jest sercem żylnym, co oznacza, że przepływa przez nie krew odtlenowana.

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

Zanim odtlenowana krew wpłynie do przedsionka, gromadzi się w **zatoce żyłnej**, stanowiącej swoisty zbiornik retencyjny. Dzięki temu przepływ krwi przez serce zachodzi w sposób ciągły i płynny. Pomiędzy kolejnymi elementami serca, a więc przedsionkiem i komorą, występują zastawki ograniczające możliwość cofania się krwi. Są to proste, dwupłatkowe struktury pozbawione **mięśni brodawkowych** (które pełną funkcjonalność osiągają dopiero u ssaków). Krew wydostająca się z serca trafia od razu do naczyń w skrzelach, gdzie ulega utlenowaniu. Te drobne struktury są podatne na uszkodzenia, dlatego pulsację krwi ogranicza **stożek tętniczy**, który zmniejsza turbulencje krwi wydostającej się z komory.



1

Aorta brzuszna

2

Przedsionek

3

Stożek tętniczy

4

Komora

5

Zatoka żylna

6

Aorta

7

Przedsionek

8

Nabrzmienie tętnicze aorty

9

Komora

10

Zatoka żylna

Schemat budowy serca ryby chrzęstnoszkieletowej (po lewej) i kostnoszkieletowej (po prawej).

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

Płazy

U płazów, których serce zbudowane jest z dwóch przedsionków, komory oraz stożka tętniczego, powstają mechanizmy **zapobiegające mieszaniu się krwi utlenowanej z odtlenowaną**. Do prawego przedsionka napływa krew odtlenowana z tkanek i utlenowana z naczyń skórnych. Do lewego przedsionka napływa krew utlenowana z płuc. Mieszaniu się krwi zapobiega nierównomierny jej przepływ z przedsionków do komór. Prawy przedsionek kurczy się bowiem wcześniej niż lewy. Krew z prawego przedsionka wypełnia uchylki w ścianie komory, a z lewego – jej centralną część. Ściany komory, dzięki licznym uchylkom, zapobiegają turbulencjom strumienia krwi. Z kolei podłużna zastawka spiralna w stożku tętniczym funkcjonalnie oddziela część krwi utlenowanej, wypływającej z centralnej części komory, od krwi odtlenowanej.

Gady

Kolejne zmiany ewolucyjne serca kręgowców związane są ze stopniową **redukcją** zarówno **zatoki żyłnej**, jak i **stożka tętniczego**. Struktury te są u gadów szczątkowe. Dalsze zmiany dotyczą komory serca. U gadów występuje jedna komora, ale pojawia się w niej niepełna przegroda, która dzieli komorę na część lewą i prawą. Obecność częściowej przegrody komory w dużym stopniu ogranicza mieszanie się krwi odtlenowanej z utlenowaną, dzięki czemu wzrasta wydajność wymiany gazowej. Wyjątkiem są krokodyle, których serce ma pełną przegrodę.

Ptaki i ssaki

Serce ptaków i ssaków składa się z dwóch komór i dwóch przedsionków. Całkowity podział na cztery funkcjonalne części zapobiega mieszanii się krwi utlenowanej i odtlenowanej. Doskonałą się zastawki serca, a zatoka żylna zostaje całkowicie wbudowana w prawy przedsionek.

Dla zainteresowanych

Zapoznaj się z e-materiałem [Ewolucja układu sercowo-naczyniowego kręgowców](#).

Słownik

adaptacja

(łac. *adaptatio* – przystosowanie) proces przystosowania organizmu do zmieniających się warunków środowiska przez zmianę struktur lub funkcji w odpowiedzi na czynniki zewnętrzne

endotelium (śródbłonek)

nabłonek jednowarstwowy płaski, wyściełający wewnętrzne powierzchnie naczyń krwionośnych, limfatycznych oraz przedsionków i komór serca

gen *Nkx2-5*

ludzki gen kodujący białko będące czynnikiem transkrypcyjnym regulującym procesy rozwoju serca

gen *tinman*

gen u muszki owocówki (*Drosophila melanogaster*), kodujący białko będące czynnikiem transkrypcyjnym odpowiedzialnym za wyodrębnienie się linii [komórek progenitorowych](#) serca

hipoksja

niedobór tlenu w tkankach; zbyt niska zawartość tlenu w stosunku do zapotrzebowania

komórki progenitorowe

swoiste tkankowo komórki macierzyste występujące w narządach dorosłych osobników, służące do regeneracji tych narządów

konwergencja

(łac. *convergere* – zbierać się, upodabniać się) proces powstawania morfologicznie i funkcjonalnie podobnych cech (cech analogicznych) w grupach organizmów odlegle spokrewnionych, niezależnie w różnych liniach ewolucyjnych, z odrębnymi dla tych grup cechami pierwotnymi

kręgowce

(łac. *Vertebrata*; *vertebra* – krąg) podtyp strunowców obejmujący kręgoustę, ryby, płazy, gady, ptaki, ssaki; cechą charakterystyczną kręgowców jest szkielet wewnętrzny ze zmineralizowanej tkanki kostnej lub chrzęstnej

mięśnie brodawkowe

fragment mięśnia sercowego występującego w komorach serca, którego zadaniem jest zapewnienie prawidłowego funkcjonowania zastawek przez połączenie ze strunami ścięgnistymi

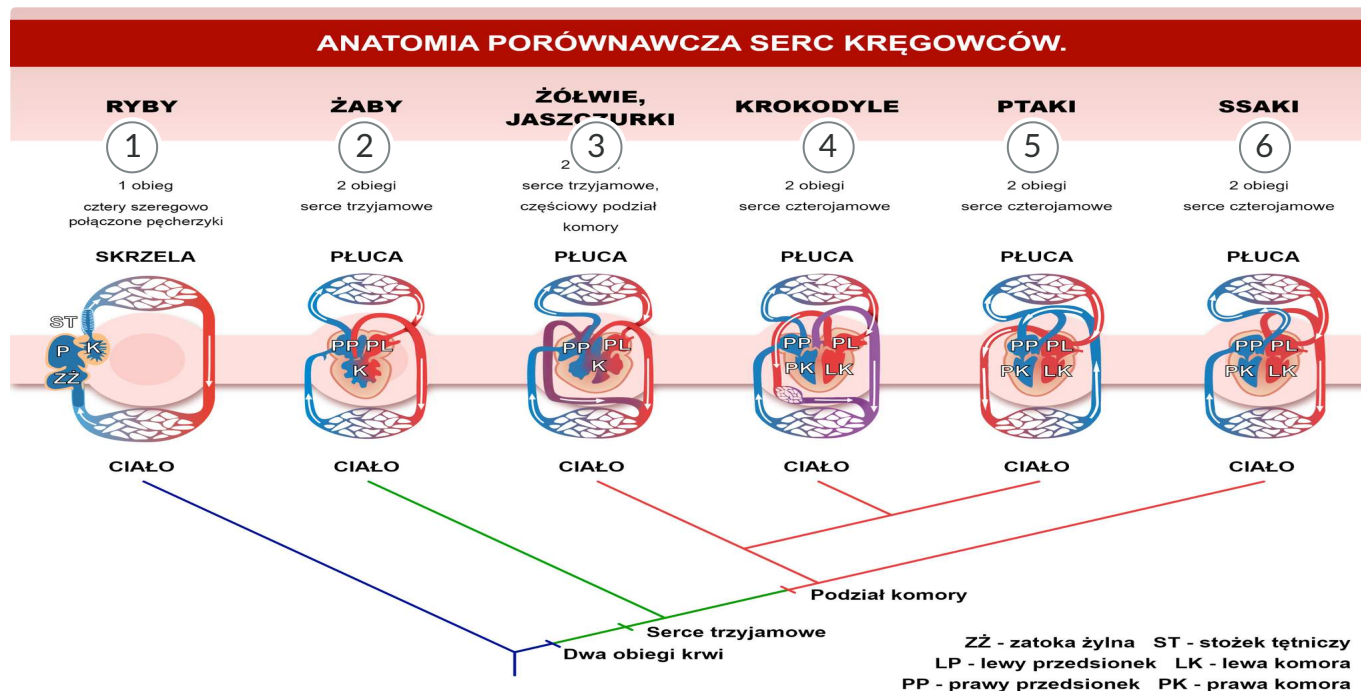
prolifracja

zdolność do rozmnażania się komórek; proces ten jest regulowany przez cykl komórkowy

strunowce

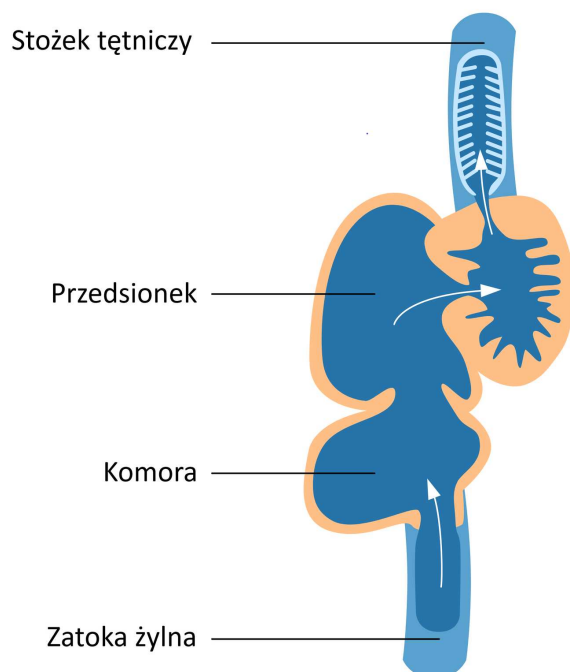
(łac. *Chordata*) zwierzęta o dwubocznej symetrii ciała, których jedną z charakterystycznych cech jest występowanie szkieletu tkankowego (struny grzbietowej)

Grafika interaktywna



1

Budowa serca u ryb

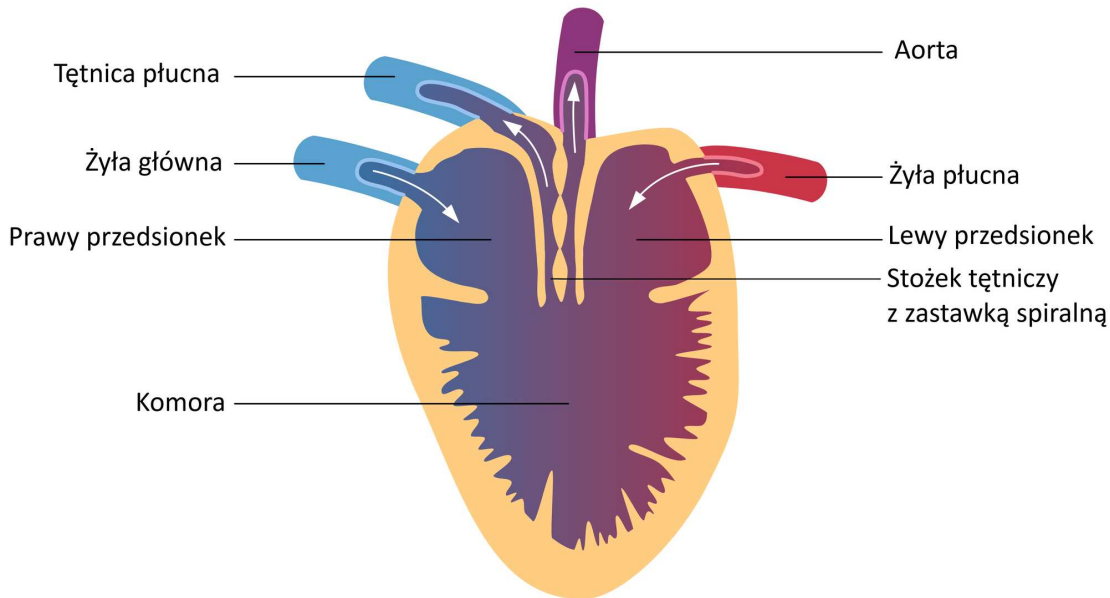


Źródło: EnglishSquare.pl Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Struktury nowe ewolucyjnie: stożek tętniczy; zatoka żylna; zastawki rozdzielające poszczególne części serca, uniemożliwiające cofanie się krwi.

2

Budowa serca u żab

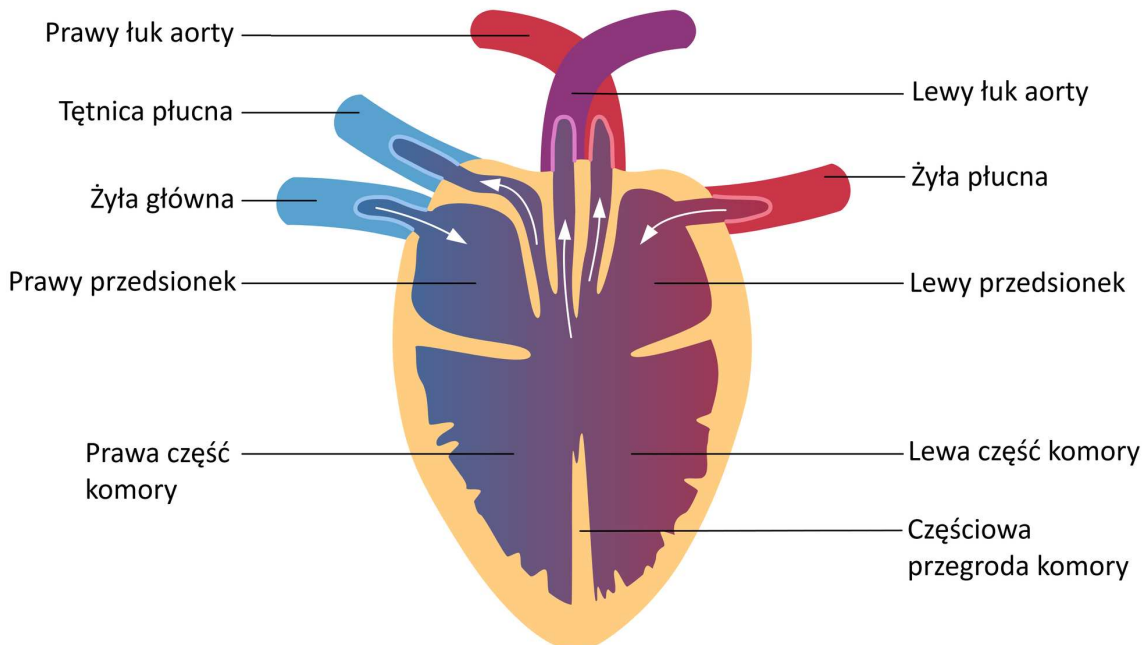


Źródło: EnglishSquare.pl Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Struktury nowe ewolucyjnie: dwa przedsionki; zastawka spiralna w stożku tętniczym rozdzielająca częściowo dwa strumienie krwi – krew odtlenowaną płynącą do tętnicy płucnej od krwi utlenowanej płynącej do aorty.

3

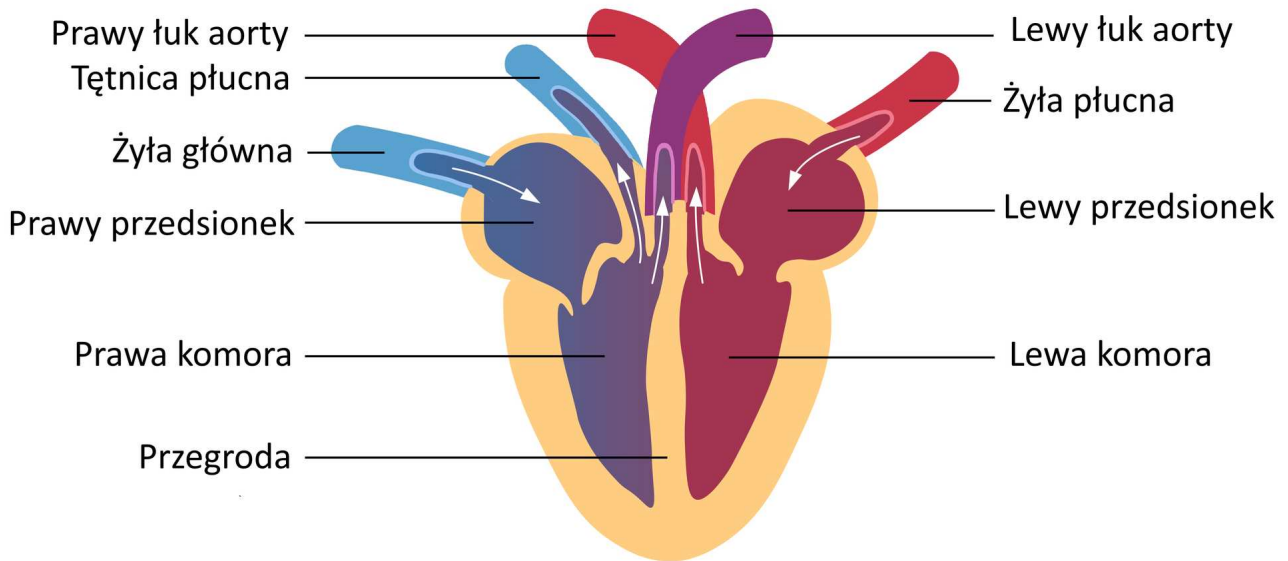
Budowa serca u żółwi i jaszczurek



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

Struktury nowe ewolucyjnie: częściowa przegroda komory w czasie skurczu dotyka przegrody przedsionkowo-komorowej, rozdzielając strumienie krwi odtlenowanej od utlenowanej; dwa łuki aorty – prawy i lewy.

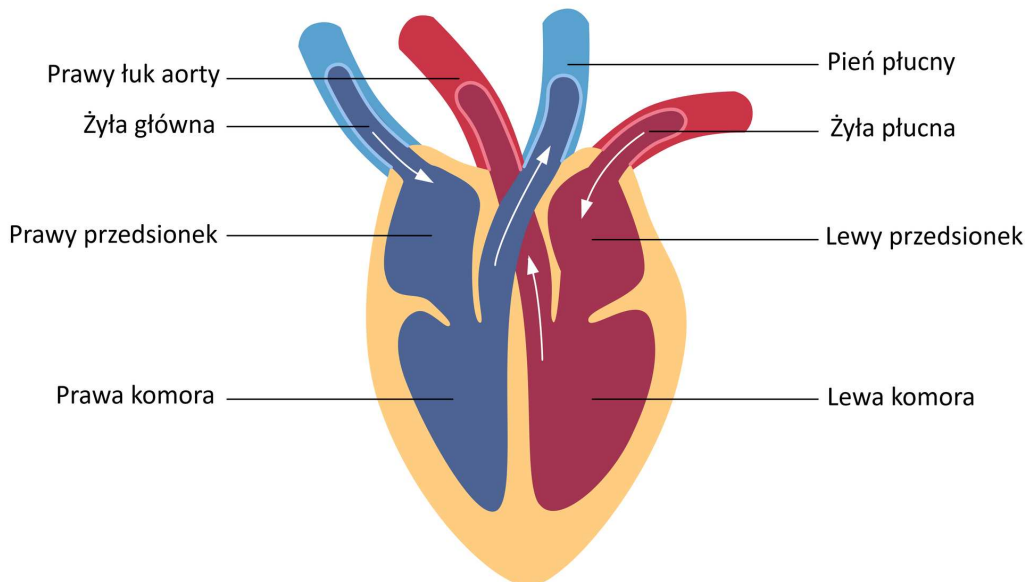
Budowa serca u krokodyli



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

Struktury nowe ewolucyjnie: pełna przegroda, podział serca na dwa przedsionki i dwie komory, dwa łuki aorty – prawy i lewy.

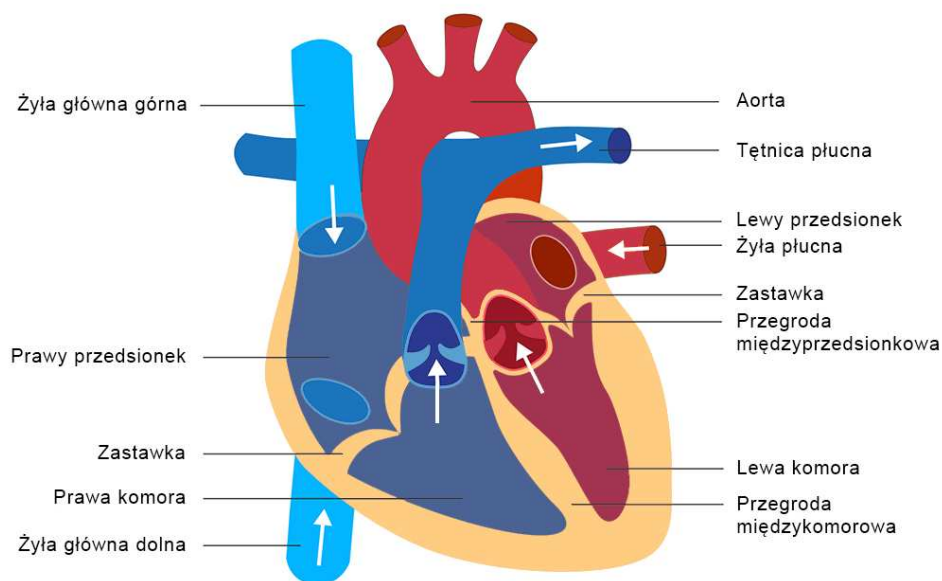
Budowa serca u ptaków



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

Struktury nowe ewolucyjnie: serce czterojamowe, dwa przedsionki i dwie komory całkowicie od siebie oddzielone. Jeden, prawy łuk aorty.

Budowa serca u ssaków



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

Struktury nowe ewolucyjnie: serce czterojamowe, dwa przedsionki i dwie komory całkowicie od siebie oddzielone. Jeden, lewy łuk aorty.

Anatomia porównawcza serc kręgowców. Na czerwono zaznaczono krew utlenowaną, na niebiesko krew odtlenowaną. Kolor fioletowy oznacza mieszanie się krwi natlenowanej i odtlenowanej.

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

Polecenie 1

Zapoznaj się z grafiką interaktywną i na jej podstawie oceń, czy dane struktury występują w budowie serca u podanych grup zwierząt.

Struktura	Ryby	Płazy	Gady	Ptaki	Ssaki
Jeden przedsionek i jedna komora	☐	☐	☐	☐	☐
Dwa przedsionki i jedna komora	☐	☐	☐	☐	☐
Dwa przedsionki i dwie komory	☐	☐	☐	☐	☐
Częściowa przegroda komory	☐	☐	☐	☐	☐
Całkowita przegroda komory	☐	☐	☐	☐	☐
Stożek tętniczy	☐	☐	☐	☐	☐

Polecenie 2

Przeanalizuj grafikę interaktywną, a następnie określ tendencje ewolucyjne w budowie serca kręgowców. Zwróć uwagę na liczbę jam oraz struktur je oddzielających. Uwzględnij przyczyny ewolucji serca u kręgowców.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Wskaż poprawne dokończenie zdania.

Całkowita przegroda serca występuje u...

☐ żółwia stepowego.

☐ karpia.

☐ salamandry.

☐ jaskółki.

Ćwiczenie 2



Zaznacz strukturę, której rolę opisuje poniższe zdanie.

Zadaniem tej struktury w sercach niektórych kręgowców jest zbieranie krwi przed jej wpłynięciem do przedsionka serca.

☐ łuk aorty

☐ Żyła wrotna

☐ Zatoka żylna

☐ Zastawka spiralna

Ćwiczenie 3



Wskaż poprawne dokończenie zdania.

Funkcją zastawki spiralnej w sercu płazów jest...

- ☐ oddzielanie strumienia krwi natlenowanej od krwi odtlenowanej.
- ☐ oddzielanie zatoki żyłnej od przedsionka.
- ☐ zapobieganie cofaniu się krwi pomiędzy przedsionkiem a komorą.
- ☐ zapobieganie cofaniu się krwi w żyłach.

Ćwiczenie 4



Połącz w pary cechy budowy serca i nazwy gromad.

Dominujące gąbczaste miokardium

Ssaki

Niepełna przegroda serca

Gady

Serce zbudowane z dwóch
przedsionków i jednej komory

Ryby

Serce zbudowane z dwóch
przedsionków i dwóch komór

Płazy

Ćwiczenie 5



Określ, czy podane zdania są prawdziwe czy fałszywe.

	Prawda	Fałsz
Wśród kręgowców tylko ptaki i ssaki mają w pełni podzieloną komorę serca.	☐	☐
Zatoka żylna nie występuje u płazów.	☐	☐
Stożek tętniczy służy jako zbiornik retencyjny dla krwi żyłnej.	☐	☐
Płazy mają mechanizmy funkcjonalnie rozdzielające strumienie krwi zawierającej tlen i odtlenowanej.	☐	☐
Spośród gadów krokodyle mają serce najbardziej zbliżone budową do serca ludzkiego.	☐	☐

Ćwiczenie 6



Uzupełnij tekst właściwymi pojęciami.

Serce kręgowców wykształciło się z prostego, kurczącego się ruchami perystaltycznymi krwionośnego. Początkowa budowa serca stopniowo komplikowała się aż do podziału na przedsionki i komorę, podzieloną u ptaków i ssaków. Przebudowie uległo też , które u pierwotnych występowało w formie struktury, ulegając z czasem przekształceniu we właściwy sercowy.

- organ kręgowców naczynia dwa kręgowców gąbczastej naczynia
- zastawką częściowo węzeł mięsień wielokomorowa mięsień dwa
- pęcherzykowa bezkręgowców zwartej tkankę całkowicie całkowicie
- gąbczastej przegrodą miokardium zatoki zbiornika jeden pęcherzykowa

Ćwiczenie 7



W przeciwieństwie do mięśnia sercowego ssaków, w tym człowieka, mięsień sercowy gąbczasty nie jest zaopatrywany w tlen przez krew płynącą w naczyniach wieńcowych.

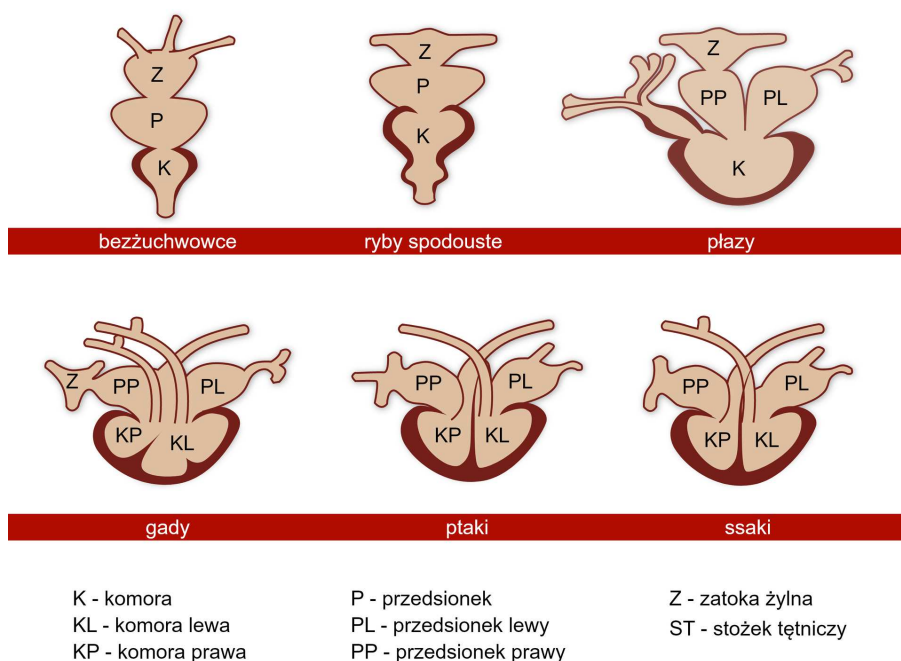
Wyjaśnij, w jaki sposób komórki mięśnia sercowego gąbczastego ryby uzyskują tlen niezbędny do skurczu i jak przekłada się to na ich funkcję.

Ćwiczenie 8



Zapoznaj się z tekstem i przeanalizuj schematy budowy serca poszczególnych grup kręgowców.

Teoria rekapitulacji, określana również mianem biogenetycznej, dzisiaj ma znaczenie historyczne. Według tej teorii pojedynczy osobnik w czasie ontogenezy, czyli rozwoju osobniczego, odtwarza historię filogenezy całego gatunku. W trakcie rozwoju płodowego powinniśmy więc zauważyć zanikłe już cechy występujące w historii filogenetycznej.



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

Przeanalizuj schemat i opisz, jakie cechy historii ewolucyjnej serca kręgowców powinny wystąpić w trakcie rozwoju płodowego, a jakie u dorosłego ssaka.

Dla nauczyciela

Autor: Anna Juwan

Przedmiot: biologia

Temat: Ewolucja serca kręgowców

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

Podstawa programowa:

Zakres podstawowy

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

IX. Ewolucja. Uczeń:

14) porządkuje chronologicznie wydarzenia z historii życia na Ziemi; wykazuje, że zmiany warunków środowiskowych miały wpływ na przebieg ewolucji;

Zakres rozszerzony

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

XI. Funkcjonowanie zwierząt.

2. Porównanie poszczególnych czynności życiowych zwierząt, z uwzględnieniem struktur odpowiedzialnych za ich przeprowadzanie.

3) Wymiana gazowa i krążenie. Uczeń:

o) porównuje, określając tendencje ewolucyjne, budowę serc gromad kręgowców,

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):

- Porównasz budowę serc gromad kręgowców.
- Określisz tendencje ewolucyjne w budowie serca gromad kręgowców.

- Wyjaśniesz rolę poszczególnych części serca w obiegu krwi.

Strategie nauczania:

- konstruktywizm;
- konektywizm.

Metody i techniki nauczania:

- z użyciem komputera;
- analiza grafiki interaktywnej;
- linia czasu;
- ćwiczenia interaktywne.

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;
- arkusze papieru A3, flamastry.

Przebieg lekcji

Faza wstępna:

1. Uczniowie z pomocą nauczyciela formułują cele lekcji oraz określają kryteria sukcesu.
2. **Wprowadzenie do tematu.** Uczniowie interpretują ilustrację okładkową, wskazując na jej powiązania z tematem.

Faza realizacyjna:

1. **Praca z tekstem.** Uczniowie przystępują do cichego czytania tekstu zawartego w sekcji „Przeczytaj”. Uczniowie indywidualnie zapisują pięć najważniejszych ich zdaniem kwestii poruszanych w tekście. Następnie w parach porównują swoje propozycje. Nauczyciel prosi wybrane pary o podsumowanie swojej pracy.
2. **Linia czasu.** Nauczyciel dzieli uczniów na cztery grupy. Każda z grup ma za zadanie opisać za pomocą linii czasu przebieg ewolucji serca u kręgowców. Następnie grupy prezentują swoje linie czasu.

3. **Praca z multimediami.** Uczniowie zapoznają się z grafiką interaktywną zawartą w e-materiale. Następnie uzupełniają tabelę w poleceniu 1.
4. Nauczyciel wprowadza uczniów w treść polecenia nr 2 („Przeanalizuj grafikę interaktywną, a następnie określ tendencje ewolucyjne w budowie serca kręgowców. Zwróć uwagę na liczbę jam oraz struktur je oddzielających. Uwzględnij przyczyny ewolucji serca u kręgowców”). Uczniowie wykonują je w parach, a następnie porównują swoje rozwiązanie z innym zespołem.
5. **Utrwalenie wiedzy i umiejętności.** Uczniowie samodzielnie wykonują ćwiczenie nr 7 („Wyjaśnij, w jaki sposób komórki mięśnia sercowego gąbczastego ryby uzyskują tlen niezbędny do skurczu i jak przekłada się to na ich funkcję”) z sekcji „Sprawdź się”. Następnie w 4-osobowych grupach omawiają prawidłowe rozwiązanie. Po upływie wyznaczonego czasu wskazany przez nauczyciela przedstawiciel grupy prezentuje odpowiedź wraz z jej uzasadnieniem. Klasa ustosunkowuje się do niej. Nauczyciel udziela uczniom informacji zwrotnej.

Faza podsumowująca:

1. Uczniowie rozwiązują ćwiczenie nr 5 (typu „prawda/fałsz”) z sekcji „Sprawdź się”. Następnie przygotowują podobne zadanie dla osoby z pary: tworzą trzy prawdziwe lub fałszywe zdania dotyczące tematu lekcji. Uczniowie wykonują ćwiczenie otrzymane od kolegi lub koleżanki.
2. Na koniec zajęć nauczyciel raz jeszcze wyświetla na tablicy interaktywnej lub przy użyciu rzutnika temat lekcji i cele zawarte w sekcji „Wprowadzenie”, w tym kontekście podsumowuje pracę uczniów na zajęciach.

Praca domowa:

1. Wykonaj ćwiczenia od 1 do 6 z sekcji „Sprawdź się”.
2. Dla chętnych: Wykonaj ćwiczenie nr 8 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:

- Nauczyciel może wykorzystać medium zamieszczone w sekcji „Grafika interaktywna” na lekcjach: „Układy krążenia zwierząt bezkręgowych”, „Ewolucja układu sercowo-naczyniowego kręgowców”.

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania grafiki interaktywnej:

- Nauczyciel może wykorzystać grafikę interaktywną na lekcjach: „Układy krążenia zwierząt bezkręgowych”, „Ewolucja układu sercowo-naczyniowego kręgowców”.