



## Barwniki oddechowe zwierząt i ich funkcje

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



## Barwniki oddechowe zwierząt i ich funkcje

Foka Weddella (*Leptonychotes weddellii*). W płucach tego ssaka zatrzymywane jest tylko 5% wdychanego tlenu (u ludzi – 36%), a pozostała część wiąże się z barwnikami oddechowymi: 70% krąży we krwi (u ludzi – 51%), a 25% magazynowane jest w mięśniach (u ludzi – 13%).

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

Tlen słabo rozpuszcza się w wodzie, dlatego u większości zwierząt transport gazów oddechowych, głównie tlenu, odbywa się za pośrednictwem białek, które mają zdolność do ich odwracalnego wiązania. Zawarte w białkach transportujących tlen jony, m.in. żelaza i miedzi, nadają im określoną barwę – z tego powodu określa się je mianem barwników oddechowych. Barwniki oddechowe bezkręgowców (hemoglobina, hemocyjanina, chlorokruoryna, erytrokruoryna) występują w postaci rozpuszczonej w hemolimfie. Głównymi barwnikami oddechowymi zwierząt kręgowych są z kolei **hemoglobina** zawarta w krwinkach czerwonych (erytrocytach) oraz obecna w mięśniach poprzecznie prążkowanych **mioglobina**. Mioglobina stanowi magazyn gazów oddechowych, umożliwiając zwierzętom m.in. funkcjonowanie w warunkach niedoboru tlenowego. Dzięki temu np. ssaki morskie mogą długo pozostawać w zanurzeniu: u fok Weddella (*Leptonychotes weddellii*), nurkujących na głębokość 200 do 500 metrów, zgromadzony w organizmie tlen pozwala wydłużyć czas przebywania pod wodą nawet do 20 minut.

### Twoje cele

- Wymienisz rodzaje barwników oddechowych u zwierząt kręgowych i bezkręgowych.
- Wskażesz funkcje barwników oddechowych u zwierząt.
- Opiszysz mechanizm powstawania karboksyhemoglobiny.



# Przeczytaj

---

Barwniki oddechowe należą do białek złożonych z grupy **metaloprotein**. Składają się z części białkowej oraz niebiałkowej. Tę drugą tworzą jony bądź atomy metali, m.in. żelaza lub miedzi. Mogą się one łączyć z białkiem bezpośrednio albo przez część niebiałkową – **grupę hemową (prostetyczną)**. U zwierząt kręgowych głównymi barwnikami oddechowymi są: zawarta w krwinkach czerwonych (erytrocytach) **hemoglobina** (nie występuje np. u larw węgorza oraz niektórych ryb antarktycznych) oraz obecna w mięśniach poprzecznie prążkowanych **mioglobina**.

## Hemoglobina

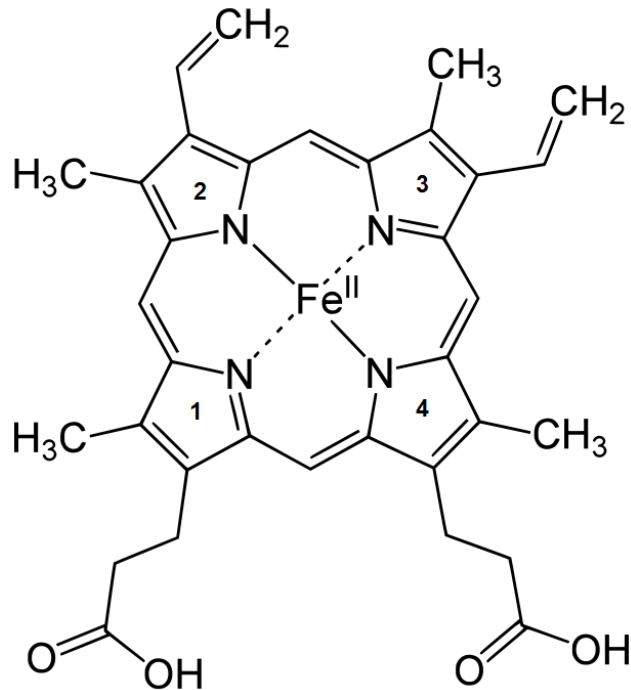
Hemoglobina (Hb) zbudowana jest z dwóch części:

- białka globiny;
- części niebiałkowej, zwanej grupą prostetyczną lub grupą hemową (hemem), w której centrum znajduje się jon żelaza.

Schemat hemoglobiny. Zamknięta w erytrocycie cząsteczka w 96% zbudowana jest z globiny. Składają się na nią dwie pary łańcuchów polipeptydowych oznaczonych symbolami  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ , z których każdy zawiera jedną grupę hemową. W jej centrum znajduje się atom żelaza  $Fe^{2+}$ . Żelazo łączy się odwracalnie z cząsteczką tlenu.  
Źródło: Englishsquare.pl Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Hemoglobina składająca się z dwóch łańcuchów polipeptydowych  $\alpha$  oraz dwóch  $\beta$ , oznaczana jako HbA<sub>1</sub>, stanowi 97% wszystkich cząsteczek hemoglobiny w organizmie dorosłego człowieka. Oprócz tej formy występują jeszcze dwie inne: hemoglobina HbA<sub>2</sub>, zbudowana z dwóch łańcuchów polipeptydowych  $\alpha$  i dwóch  $\delta$  (2% hemoglobiny), oraz **hemoglobina płodowa**, zbudowana z dwóch łańcuchów  $\alpha$  i dwóch  $\gamma$  (1% hemoglobiny w organizmie dorosłego człowieka).

Każdy z czterech łańcuchów polipeptydowych związany jest z jedną cząsteczką barwnika krwi – **hemu**.



Wzór strukturalny hemu. Hem (grupa hemowa) składa się z centralnie położonego jonu żelaza na drugim stopniu utlenienia ( $\text{Fe}^{2+}$ ), zdolnego do wiązania tlenu i połączonego z atomami azotu **pięści pirolowych** (1, 2, 3, 4) – w ten sposób tworzy się tzw. **układ (pierścieni) porfirykowy**.

Źródło: Yikrazuul, Wikimedia Commons, domena publiczna.

Każda cząsteczka hemu może nietrwale przyłączyć jedną cząsteczkę tlenu ( $\text{O}_2$ ), nie zmieniając stopnia utlenienia żelaza. Na jedną cząsteczkę hemoglobiny przypadają cztery łańcuchy polipeptydowe, a zatem cztery grupy prostetyczne z czterema atomami dwuwartościowego żelaza – tym samym jedna cząsteczka hemoglobiny ma zdolność do przeniesienia czterech cząsteczek tlenu (lub innego gazu, o czym przeczytasz nieżej).

Wiązanie z tlenem jest nietrwale, a jego odłączenie wywołuje zmiany w układzie przestrzennym hemoglobiny. W związku z tym białko to występuje w dwóch postaciach:

- zwartej T (gdy tlen jest odłączony) – tzw. **hemoglobina odtlenowana**;
- luźnej R (gdy tlen jest przyłączony) – tzw. **hemoglobina utlenowana**.

W zależności od tego, ile cząsteczek tlenu przyłącza hemoglobina, wyróżniamy hemoglobinę odtlenowaną (deoksyhemoglobina) i utlenowaną (**oksyhemoglobina**).

Schemat utleniania hemoglobiny. Wyjściowa – zredukowana cząsteczka hemoglobiny zwana deoksyhemoglobina zawiera atom żelaza na stopniu utlenienia  $2^+$ . Gdy przyłączy się do niej cząsteczka tlenu, powstaje oksyhemoglobina, w której stopień utlenienia żelaza nie ulega zmianie. Około 0,5 do 3% oksyhemoglobiny ulega autoutlenianiu, w wyniku czego powstaje methemoglobina, w której żelazo zmienia stopień utlenienia z  $\text{Fe}^{2+}$  na  $\text{Fe}^{3+}$ . Methemoglobina jest zdolna do wiązania cząsteczek wody, ale już brak jej zdolności do wiązania tlenu. Utlenienie  $\text{Fe}^{2+}$  do  $\text{Fe}^{4+}$  powoduje powstanie ferrylohemoglobiny i jej denaturację.

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

U większości gatunków zwierząt kręgowych w okresie życia płodowego występuje specjalny typ hemoglobiny. Jest to **hemoglobina płodowa (HbF)**. Tworzą ją dwa łańcuchy polipeptydowe  $\alpha$  oraz dwa  $\gamma$ . U ludzi zanika przed 6. miesiącem życia dziecka – w organizmie dorosłego człowieka pozostaje ok. 1%.

Krzywe saturacji hemoglobiny (HbA) i hemoglobiny płodowej (HbF).  $P_{50}$  oznacza ciśnienie parcjalne tlenu, przy którym barwnik wysycony jest tlenem w 50%. Hemoglobina płodowa wykazuje większe powinowactwo do tlenu niż hemoglobina dorosłego człowieka, co ułatwia „przejmowanie” tlenu transportowanego przez hemoglobinę matki w krążeniu płodowym. Jednocześnie ma też mniejsze powinowactwo do  $\text{CO}_2$ , co ułatwia jego usuwanie z organizmu płodu przez związanie z hemoglobiną matki.

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

## Karbaminohemoglobina

Hemoglobina jako barwnik oddechowy transportuje również ok. 10% dwutlenku węgla ( $\text{CO}_2$ ) będącego produktem oddychania komórkowego. Dwutlenek węgla zgodnie z poniższym równaniem łączy się wiązaniem kowalencyjnym z **grupami aminowymi** łańcuchów białkowych hemoglobiny (nie łączy się z żelazem), tworząc **karbaminohemoglobinę** ( $\text{HbCO}_2$ ), czemu towarzyszy odłączenie protonów wodorowych. Jedna cząsteczka hemoglobiny może przyjąć maksymalnie 4 cząsteczki  $\text{CO}_2$ . Związanie dwutlenku węgla zmniejsza powinowactwo pozostałych łańcuchów powstałej karbaminohemoglobiny do tlenu poprzez **efekt Bohra**, więc jest on łatwo uwalniany w tkankach o wyższym metabolizmie.



## Karboksyhemoglobina

Żelazo zawarte w hemoglobinie wiąże się nie tylko z tlenem, lecz także z bezwonnym tlenkiem węgla (CO), potocznie zwanym czadem, tworząc **karboksyhemoglobinę** ( $\text{HbCO}$ ). Tlenek węgla ma 250 razy większe powinowactwo do hemoglobiny (deoksyhemoglobiny) niż tlen, a **dysocjacja** karboksyhemoglobiny zachodzi 10 razy wolniej niż w przypadku oksyhemoglobiny. Sprawia to, że już bardzo mała ilość CO, wiążąc się trwale z hemoglobiną, uniemożliwia przyłączenie  $\text{O}_2$  (jak również  $\text{CO}_2$ ): przy 0,1-procentowym stężeniu tlenu węgla w powietrzu następuje zablokowanie prawie całej hemoglobiny w organizmie, co skutkuje śmiercią przez uduszenie spowodowaną niedotlenieniem.

Schemat wiązania gazów oddechowych przez cząsteczki hemoglobiny. Jest ona zbudowana z czterech podjednostek, więc może związać maksymalnie cztery cząsteczki gazów oddechowych, także różnych. Związanie dwutlenku węgla zmniejsza powinowactwo pozostałych łańcuchów hemoglobiny do tlenu, natomiast związanie tlenu węgla trwale uniemożliwia wiązanie zarówno tlenu, jak i dwutlenku węgla.

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

Hemoglobina u niektórych zwierząt nie tylko transportuje gazy oddechowe, ale także stanowi ich magazyn. U większości jednak, funkcje magazynu pełni mioglobina.

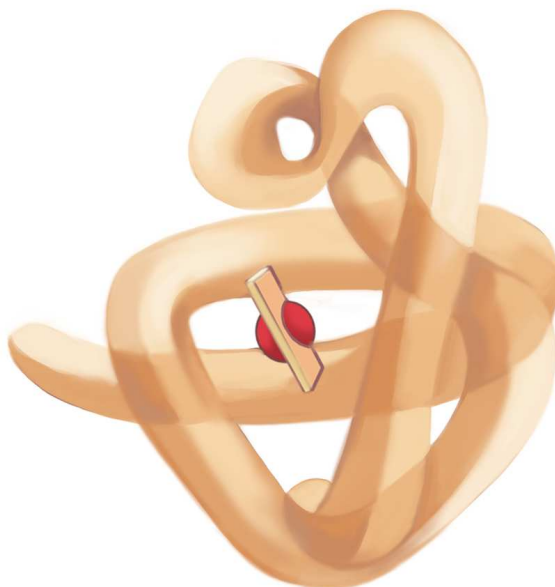


Hemoglobina zawarta w hemolimfie słodkowodnego ślimaka zatoczka rogowego ( *Planorbis corneus*) ma zdolność do magazynowania tlenu (podobnie jak mioglobina). Dzięki temu mięczak ten może przebywać w warunkach beztlenowych do 20 minut.

Źródło: Pixabay, domena publiczna.

## Mioglobina

W mięśniach poprzecznie prążkowanych (mięśniach czerwonych) ssaków, a także w tkankach bezkręgowców występuje barwnik oddechowy **mioglobina (Mb)**, która podobnie jak hemoglobina ma zdolność do nietrwałego wiązania tlenu: jedna cząsteczka mioglobiny wiąże jedną jego cząsteczkę.



## Mioglobina

Schemat struktury przestrzennej mioglobiny – zbudowana jest ona z jednego łańcucha polipeptydowego i jednej cząsteczki hemu (zawierającej żelazo na drugim stopniu utlenienia).

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

U większości zwierząt mioglobina stanowi 1% masy mięśni. U zwierząt nurkujących, przebywających dłuższy czas pod wodą, zawartość mioglobiny jest większa, np. u delfina wynosi 3,3%, a u foki – 7,7%. U ludzi jej ilość wzrasta w czasie treningów oraz podczas intensywnej pracy.

Mioglobina wykazuje większe powinowactwo do tlenu niż hemoglobina, a nawet hemoglobina płodowa. Jej funkcją jest **magazynowanie tlenu**. Jedna cząsteczka mioglobiny magazynuje jedną cząsteczkę tlenu. Gdy krew przepływa przez tkankę mięśniową poprzecznie prążkowaną, tlen odłącza się od hemoglobiny i część trafia do komórek, a część zostaje przechwycona przez mioglobinę. Zmagazynowany przez mioglobinę tlen uwalniany jest wówczas, gdy jego **ciśnienie parcjalne** w pracujących mięśniach spada. Gdy zapasy tlenu się wyczerpią, mięśnie przechodzą na proces oddychania beztlenowego.

Porównanie krzywych saturacji mioglobiny (Mb), hemoglobiny (HbA) oraz hemoglobiny płodowej (HbF).  $P_{50}$  oznacza ciśnienie parcjalne tlenu, przy którym barwnik wysycony jest tlenem w 50%. Mioglobina ma znacznie większe powinowactwo do tlenu niż hemoglobina. Uwalnianie tlenu z mioglobiny jest trudniejsze niż jego wiązanie i następuje w warunkach znacznego spadku ciśnienia parcjального tlenu.

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

**Barwniki oddechowe u zwierząt bezkręgowych**



Zwierzęta bezkręgowce o małych rozmiarach i małym tempie metabolizmu, żyjące w warunkach dużej lub wystarczającej ilości tlenu, m.in. pierwotniaki, gąbki i parzydełkowce, nie mają barwników oddechowych. Jednak u większości bezkręgowców białka te występują, głównie w postaci rozpuszczonej w osoczu lub hemolimfie, rzadziej zamknięte w komórkach. Najbardziej rozpowszechnionymi barwnikami u bezkręgowców są **hemoglobina** i **hemocyjanina**. Oprócz tego występują **chlorokruoryna**, **hemerytryna** (hemoerytryna) i **erytrokruoryna**. Niektóre gatunki mogą mieć jednocześnie dwa lub trzy różne barwniki oddechowe.

Cechy barwników oddechowych występujących u bezkręgowców zostały przedstawione w poniższej tabeli.

Barwnik oddechowy	Cechy budowy	Barwa	Występowanie
Hemoglobina	Zawiera jony $Fe^{2+}$ w układzie porfirynowym.	Czerwona	Rozpuszczona w osoczu krwi. Skąposzczety, pijawki, mięczaki.
Hemocyjanina	Nie ma układu porfirynowego hemu, zawiera jony miedzi $Cu^{2+}$ , łączące się z podjednostkami białkowymi.	Postać odtlenowana – bezbarwna; postać utlenowana – niebieska	Rozpuszczona w osoczu. Mięczaki, skorupiaki (homary, kraby), pajęczaki, głowonogi (ośmiornice, kałamarnice).
Chlorokruoryna	Zawiera jony żelaza $Fe^{2+}$ w układzie porfirynowym	Zielona	Rozpuszczona w osoczu. Niektóre wieloszczety morskie, pijawki i rozgwiazdy.
Hemerytryna	Nie ma układu porfirynowego hemu, zawiera jony żelaza $Fe^{2+}$ .	Postać odtlenowana – bezbarwna; postać utlenowana – fioletoworóżowa	Zamknięta w komórkach. Niektóre wieloszczety i pierścienice morskie.

Barwnik oddechowy	Cechy budowy	Barwa	Występowanie
Erytrokruoryna	Zawiera jony $Fe^{2+}$ , budowę zbliżoną do mioglobiny.	Czerwony	Rozpuszczona w osoczu. Skorupiaki, pierścienice.

## Inne funkcje barwników oddechowych

Oprócz transportowania i magazynowania tlenu barwniki oddechowe pełnią również inne funkcje – wszystkie zostały uwzględnione na poniższym schemacie.

- Funkcje barwników oddechowych
  - Transportują gazy oddechowe: tlen i dwutlenek węgla.
  - Jako białka tkanek ciała i płynów ustrojowych stanowią rezerwuar tlenu i wyznaczają pojemność tlenową tkanek organizmu.
  - Są magazynem hemu i żelaza.
  - Wykazują właściwości enzymatyczne, uczestnicząc w utlenianiu siarki i redukcji nadtlenku wodoru.

Funkcje barwników oddechowych.

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

### Ciekawostka

Występujące w glebie bakterie brodawkowe mogą wchodzić w interakcję o charakterze symbiozy z korzeniami roślin bobowatych (takich jak groch, soja, łubin). Powodują one powstawanie na korzeniach tych roślin brodawek korzeniowych, w których stwierdzono obecność białka o budowie podobnej do hemoglobiny – leghemoglobiny. Jej część niebiałkowa, zawierająca żelazo, jest syntezowana w komórkach roślinnych, natomiast część białkowa (globina) powstaje w komórkach bakterii brodawkowych. Wiążąc tlen, leghemoglobina umożliwia pobieranie azotu atmosferycznego przez beztlenowe bakterie korzeniowe.



Brodawki korzeniowe u rośliny bobowatej.

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

## Słownik

### chlorokruoryna

zielony barwnik oddechowy niektórych bezkręgowców, zawierający żelazo  $\text{Fe}^{2+}$  i zdolny do nietrwałego wiązania się z tlenem

### ciśnienie parcjalne

ciśnienie cząsteczkowe wywierane na ścianki naczynia przez każdy z gazów w mieszaninie, np. ciśnienie wywierane przez tlen w atmosferze

### dysocjacja tlenu

odłączanie tlenu od cząsteczki, np. hemoglobiny

### efekt Bohra

efekt wzrostu prawdopodobieństwa dysocjacji tlenu z oksyhemoglobiny wraz ze wzrostem stężenia  $\text{CO}_2$

### erytrokruoryna

czerwony białkowy barwnik oddechowy rozpuszczony w osoczu u niektórych bezkręgowców, zawierający żelazo  $\text{Fe}^{2+}$

### ferrylohemoglobina

ferryloHb; forma hemoglobiny, która powstaje w wyniku utleniania deoksyhemoglobiny z udziałem nadtlenu wodoru  $H_2O_2$

### **grupa aminowa**

organiczna grupa funkcyjna  $NH_2$ , nadająca związkowi charakter zasadowy; występuje m.in. w aminokwasach

### **grupa prostetyczna**

część niebiałkowa enzymu – białka złożonego, trwale z nim związana, obecna w jego centrum aktywnym i decydująca o rodzaju przyłączanego substratu

### **hem**

barwnik zwierzęcy, zbudowany z czterech pierścieni pirolowych (połączonych grupami  $=CH-$ ) i żelaza ( $Fe^{2+}$ ) przyłączonego do atomów azotu

### **hemerytryna**

fioletoworóżowy barwnik oddechowy zawarty w komórkach niektórych wieloszczetów i morskich pierścienic, zawierający w swojej budowie żelazo  $Fe^{2+}$

### **hemocyjanina**

niebieski białkowy barwnik oddechowy rozpuszczony w osoczu u niektórych zwierząt bezkręgowych, zawierający miedź  $Cu^{2+}$

### **hemoglobina (Hb)**

czerwony białkowy barwnik oddechowy, zawierający żelazo  $Fe^{2+}$ ; wiąże się nietrwale z tlenem; występuje u kręgowców w postaci zamkniętej w komórkach krwi – erytrocytach lub w postaci rozpuszczonej w osoczu u niektórych bezkręgowców

### **hemoglobina płodowa (HbF)**

białkowy barwnik oddechowy transportujący tlen u płodu, wykazujący większe powinowactwo do tlenu niż hemoglobina dorosłego człowieka; występuje u większości gatunków zwierząt kręgowych w okresie życia płodowego; u ludzi zanika niemal całkowicie do 6. miesiąca życia (w organizmie dorosłego człowieka pozostaje ok. 1% jej pierwotnego stężenia)

### **karboksyhemoglobina (HbCO)**

trwale połączenie hemoglobiny z tlenkiem węgla (CO), blokujące hemoglobinę i uniemożliwiające jej wiązanie się z tlenem

### **karbaminohemoglobina (HbCO<sub>2</sub>)**

nietrwałe połączenie hemoglobiny z dwutlenkiem węgla (CO<sub>2</sub>)

### **metaloproteiny**

białka złożone zbudowane z grupy białkowej i niebiałkowej – grupy prostetycznej, którą stanowią jony lub atomy metali

### **methemoglobina (MetHb)**

utleniona postać hemoglobiny, w której żelazo tworzy z tlenem trwałe wiązanie, wynikające ze zmiany stopnia jego utlenienia z Fe<sup>2+</sup> na Fe<sup>3+</sup>

### **oksyhemoglobina**

utlenowana forma hemoglobiny, nietrwałe związana z tlenem transportowanym z płuc do tkanek

### **pierścień pirolowy**

pierścień pięcioczłonowy zawierający jeden atom azotu, stanowiący podstawową jednostkę pierścienia porfiryнового

### **pierścień porfiryновый**

pierścień zbudowany z czterech pierścieni pirolowych połączonych ze sobą mostkami metinowymi =CH-, budujący między innymi cząsteczki hemoglobiny i chlorofilu

# Animacja

---

## Zmiana struktury przestrzennej hemoglobiny po przyłączeniu cząsteczki tlenu

Film dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/DnqRtTRDC>

Zmiana struktury przestrzennej hemoglobiny po przyłączeniu cząsteczki tlenu. [Typ medium bazowego został zmieniony, gdyż animacja wyrazić się niż grafika interaktywna unaocznia zmianę struktury przestrzennej hemoglobiny (dzięki możliwości symulacji ruchu poszczególnych tetramerów)].

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

Animacja przedstawia szczegółową budowę hemoglobiny.

---

### Polecenie 1

Wyjaśnij, na czym polega związek między budową cząsteczki hemoglobiny a funkcją, jaką pełni w organizmie.

### Polecenie 2

Wyjaśnij, czym jest spowodowana różnica w kształcie hemoglobiny utlenowanej i odtlenowanej.

### Polecenie 3

Wykaż, że cząsteczka hemoglobiny ma strukturę czwartorzędową.

### Polecenie 4

Wyjaśnij, jak na właściwości hemoglobiny wpływa przyłączenie pierwszej cząsteczki tlenu.

# Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

## Ćwiczenie 1



Przyporządkuj wymienione barwniki oddechowe do barwy, jaką nadają płynom ciała, w których występują.

hemerytryna

niebieska

hemoglobina

czerwona

chlorokruoryna

fioletoworóżowa

hemocyjanina

zielona

## Ćwiczenie 2



U zwierząt kręgowych za transport i magazynowanie tlenu odpowiadają hemoglobina i mioglobina.

Zaznacz zdania, które dotyczą **tylko** mioglobiny.

Zawiera żelazo na drugim stopniu utlenienia.

Ma zdolność do nietrwałego wiązania się z tlenem.

Jest białkiem złożonym z grupy metaloprotein.

Występuje w mięśniach poprzecznie prążkowanych.

Magazynuje tlen, pozwalając zwierzętom wodnym na dłuższe nurkowanie.

## Ćwiczenie 3



## Ćwiczenie 4



Zaznacz odpowiednie pojęcia, tak by stwierdzenia były poprawne.

Za magazynowanie tlenu, wykorzystywanego do pracy mięśni, odpowiada hemoglobina płodowa mioglobina erytropoetyna.

Hemoglobina płodowa Methemoglobina Karboksyhemoglobina ma większe powinowactwo do tlenu niż hemoglobina płodowa mioglobina hemoglobina dorosłego człowieka.

## Ćwiczenie 5



Przyłączenie pierwszej cząsteczki tlenu do podjednostki hemu powoduje zmianę kształtu pozostałych trzech podjednostek i rozluźnienie oddziaływań pomiędzy nimi, co zwiększa powinowactwo hemoglobiny do tlenu (kolejne trzy cząsteczki tlenu łatwiej łączą się z hemoglobiną niż pierwsza). Odłączenie cząsteczki tlenu od pierwszej podjednostki przyczynia się do ponownej zmiany kształtu pozostałych trzech, co zmniejsza ich powinowactwo do tlenu i powoduje, że łatwiej go oddają.

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

## Ćwiczenie 6



Wyjaśnij, dlaczego owady nie ulegają zczadzeniu.

## Ćwiczenie 7



Białko globina, składające się na cząsteczkę barwnika oddechowego hemoglobiny, ma budowę pierwszo-, drugo- i trzeciorzędową. Wskaż wiązania chemiczne, których obecność w strukturze tego białka świadczy o jego trzeciorzędowej strukturze.

## Ćwiczenie 8



Wyjaśnij, dlaczego hemoglobinę z przyłączoną cząsteczką tlenu nazywamy hemoglobiną utlenowaną, a nie utlenioną.



# Dla nauczyciela

---

**Autor:** Agnieszka Pieszalska

**Przedmiot:** biologia

**Temat:** Barwniki oddechowe i ich funkcje

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

**Podstawa programowa:**

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:

k) przedstawia rolę krwi w transporcie gazów oddechowych,

**Kształtowane kompetencje kluczowe:**

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

**Cele operacyjne:**

Uczeń:

- wymienia rodzaje barwników oddechowych u zwierząt kręgowych i bezkręgowych;
- wyjaśnia związek budowy hemoglobiny z jej funkcją;
- opisuje mechanizm powstawania karboksyhemoglobiny.

**Strategie nauczania:**

- konstruktywizm;
- strategia kształcenia wyprzedzającego;
- nauczanie hybrydowe.

**Metody i techniki nauczania:**

- pogadanka;
- analiza tekstu źródłowego;

- praca w grupach eksperckich;
- mapa myśli.

### **Formy pracy:**

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

### **Środki dydaktyczne:**

- komputery z dostępem do internetu;
- zasoby multimedialne zawarte w e-materiale;
- cztery arkusze papieru A1, flamastry.

### **Przed lekcją:**

Nauczyciel prosi uczniów o przygotowanie informacji dotyczących barwników oddechowych u zwierząt kręgowych (hemoglobiny, mioglobiny), krzywej dysocjacji hemoglobiny oraz barwników oddechowych u zwierząt bezkręgowych.

### **Przebieg zajęć**

#### **Faza wstępna:**

1. Nauczyciel prosi uczniów o zapoznanie się z wprowadzeniem do e-materiału. Zadaje pytania: „Dlaczego foki potrafią długo przebywać pod wodą?”, „Czy znacie przykłady innych zwierząt, które potrafią nurkować przez długi czas?”.
2. Uczniowie zapoznają się z treścią e-materiału, szukając odpowiedzi na pytania: „Jak dostarczyć do komórek odpowiednią ilość tlenu, który słabo rozpuszcza się w wodzie?”, „Jak są transportowane gazy oddechowe u większości zwierząt?”, „Gdzie występują barwniki oddechowe?”.
3. Nauczyciel podaje cele lekcji i formułuje jej temat.

#### **Faza realizacyjna:**

1. Nauczyciel dzieli uczniów na cztery grupy i prosi ich, by opierając się na e-materiale, przygotowali informacje na przydzielone tematy:
  - grupa I i II: hemoglobina, krzywa dysocjacji hemoglobiny;
  - grupa III i IV: mioglobina, barwniki oddechowe u zwierząt bezkręgowych.
2. Grupy wybierają po dwóch ekspertów, którzy najlepiej opanują otrzymane zagadnienia. Następnie eksperci zamieniają się grupami (I z III, II z IV) i przekazują zdobytą wiedzę. Po upływie wyznaczonego czasu eksperci wracają do swoich grup.

3. Nauczyciel rozdaje grupom arkusze papieru A1 oraz flamastry. Prosi uczniów, by w graficzny sposób uporządkowali informacje dotyczące barwników oddechowych (mapa myśli); mogą je przedstawić w formie haseł, symboli lub rysunków. Nauczyciel podaje czas na wykonanie zadania.
4. Uczniowie opracowują mapy myśli na podstawie e-materiału, wiadomości przygotowanych przed lekcją oraz wiedzy zdobytej od ekspertów grup, wypisując i ilustrując najistotniejsze informacje.
5. Nauczyciel kontroluje pracę grup oraz w razie potrzeby wyjaśnia wątpliwości.
6. Po upływie wyznaczonego czasu chętni uczniowie przedstawiają swoje prezentacje.
7. Uczniowie zapoznają się z grafiką interaktywną.
8. Nauczyciel zadaje pytanie: „Dlaczego tlenek węgla(II) jest gazem silnie trującym?”.

### **Faza podsumowująca:**

1. Nauczyciel zadaje pytania w celu sprawdzenia stopnia opanowania wiedzy przez uczniów: „Jakie barwniki oddechowe występują u zwierząt kręgowych i bezkręgowych?”, „Jaką budowę mają hemoglobina i mioglobina?”, „Jaką funkcję pełnią barwniki oddechowe?”.
2. Nauczyciel koryguje i uzupełnia wypowiedzi uczniów.
3. Nauczyciel ocenia aktywność uczniów podczas lekcji.

### **Praca domowa:**

Wykonaj ćwiczenia interaktywne od 1 do 8.

### **Materiały pomocnicze:**

Załącznik 1. Przykładowa mapa myśli (pdf).  
Plik o rozmiarze 157.96 KB w języku polskim

### **Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania animacji:**

Animacja może zostać wykorzystana w fazie realizacyjnej lekcji lub podczas przygotowania ucznia do zajęć.