



Fotoreceptory siatkówki i chemizm widzenia

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



Fotoreceptory siatkówki i chemizm widzenia

Siatkówka jest częścią oka, która odbiera bodźce wzrokowe. W jej skład wchodzi fotoreceptory – czopki i pręciki.

Źródło: Pixabay, domena publiczna.

W odbieraniu bodźców świetlnych uczestniczą specjalne komórki siatkówki oka: fotoreceptory. Wyróżnia się wśród nich **czopki**, służące do widzenia przy intensywnym oświetleniu i czułe na barwy, oraz **pręciki** – wrażliwe na bardzo słabe światło i umożliwiające widzenie o zmroku. Przy dłuższym przebywaniu w warunkach słabego oświetlenia wzrok przyzwyczaja się do ciemności – czy wiesz, dlaczego tak się dzieje? Światło powoduje reakcję fotochemiczną polegającą na powstawaniu związków pobudzających fotoreceptory. W pręcikach taką funkcję pełni związek pochodzący z rozpadu białka fotoreceptorowego – **rodopsyny**. W ciemności następuje synteza dużych ilości rodopsyny, w wyniku czego dochodzi do uwrażliwienia pręcików na słabe światło. Natomiast przejściu do oświetlonego pomieszczenia towarzyszy rozpad części nagromadzonej rodopsyny, co jest podstawą adaptacji wzroku do światła.

Twoje cele

- Omówisz budowę siatkówki.
- Scharakteryzujesz fotoreceptory siatkówki.
- Wyjaśnisz związek procesów chemicznych w siatkówce oka z mechanizmem widzenia.
- Opisziesz proces widzenia barw.

Przeczytaj

Siatkówka to wyściełająca gałkę oczną światłoczuła błona, zawierająca fotoreceptory: **czopki** i **pręciki** (komórki wzrokowe), będące przekształconymi neuronami przystosowanymi do odbierania bodźców świetlnych i zamieniania ich na impulsy nerwowe.

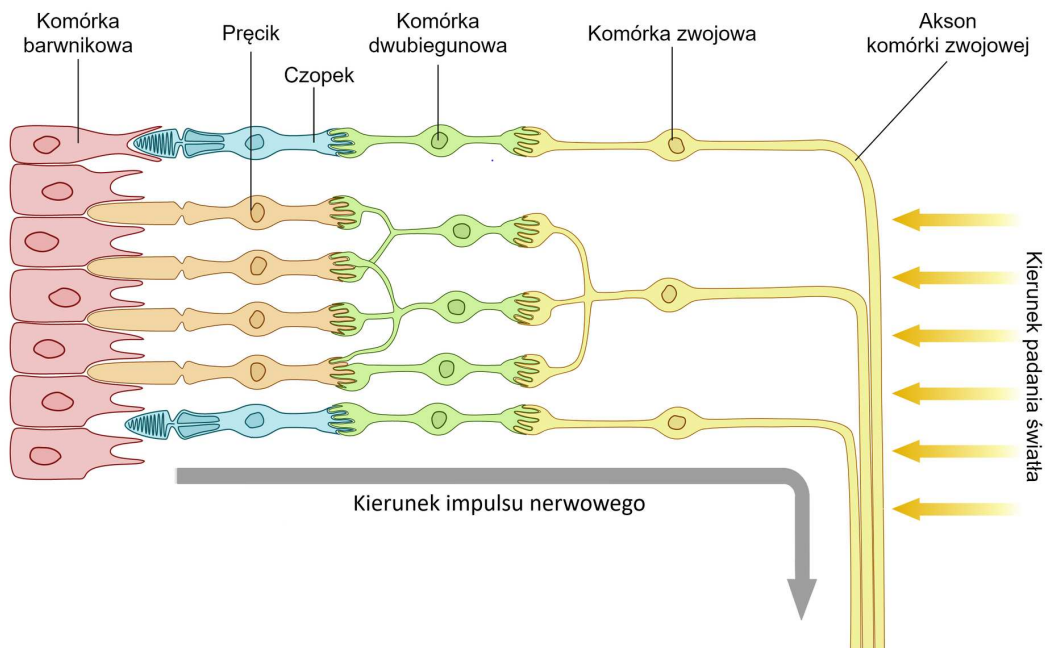
Aby zrozumieć poruszane w tym materiale zagadnienia, przypomnij sobie:

e-materiał pt. *Budowa narządu wzroku człowieka*.

Budowa siatkówki i droga przetwarzania informacji wzrokowej

Zanim promienie świetlne odbite od przedmiotu obserwacji dotrą do siatkówki, przechodzą przez elementy optyczne oka, tj. rogówkę, soczewkę oraz ciało szkliste, gdzie ulegają załamaniu. Powoduje to, że obraz powstający na siatkówce jest **pomniejszony** i **odwrócony**.

Następnie fotony zostają pochłonięte przez światłoczułe barwniki obecne w receptorach siatkówki – **jodopsynę** (w czopkach) i **rodopsynę** (w pręcikach). Barwniki te ulegają przemianom chemicznym, w wyniku których powstaje **impuls nerwowy**. Impuls przekazywany jest z fotoreceptorów do komórek dwubiegunowych, a następnie do ciał komórek zwojowych i ich aksonów. Aksony komórek zwojowych wchodzi w skład nerwu wzrokowego. Nerw wzrokowy przesyła impuls do płata potylicznego kory mózgowej. W mózgu następuje korekcja obrazu, co powoduje jego prawidłowe postrzeganie.



Uproszczony schemat budowy siatkówki oka. Obwodowo (najbliżej tylnej, zewnętrznej części gałki ocznej) ułożone są komórki barwnikowe – komórki nabłonka jednowarstwowego zawierające ziarna melaniny, które zapobiegają odbijaniu się światła wewnątrz gałki ocznej. Nad nimi znajdują się fotoreceptory (czopki i pręciki). Na powierzchni siatkówki (zwróconej do wnętrza gałki ocznej) występują komórki nerwowe: komórki dwubiegunowe i komórki zwojowe. Aksony komórek zwojowych łączą się w nerw wzrokowy.

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

Fotoreceptory

W procesie widzenia uczestniczą dwa rodzaje fotoreceptorów (inaczej zwanych receptorami wzrokowymi lub komórkami wzrokowymi): czopki i pręciki.

Czopki

Odbierają barwne bodźce świetlne, zapewniając widzenie kolorów oraz precyzyjne widzenie obiektów. Zawierają barwnik światłoczuły **jodopsynę**. Najlepiej funkcjonują w intensywnym oświetleniu. Istnieją trzy rodzaje tych fotoreceptorów, z których każdy zapewnia optymalną odpowiedź na światło o innej barwie: czerwonej, zielonej i niebieskiej. W siatkówce człowieka obecnych jest ok. 6 mln

czopków – najwięcej w tzw. osi oka w okolicy plamki żółtej (to miejsce najlepszej percepcji).

2

Pręciki

Reagują na światło o znacznie mniejszym natężeniu niż to, które jest konieczne do pobudzenia czopków. Umożliwiają widzenie kolorów białego, czarnego i szarego, widzenie w nocy, rozróżnianie kształtów oraz wykrywanie ruchomych obiektów. W oku człowieka znajduje się ok. 125 mln pręcików. Zajmują one obwodowe części siatkówki.

3

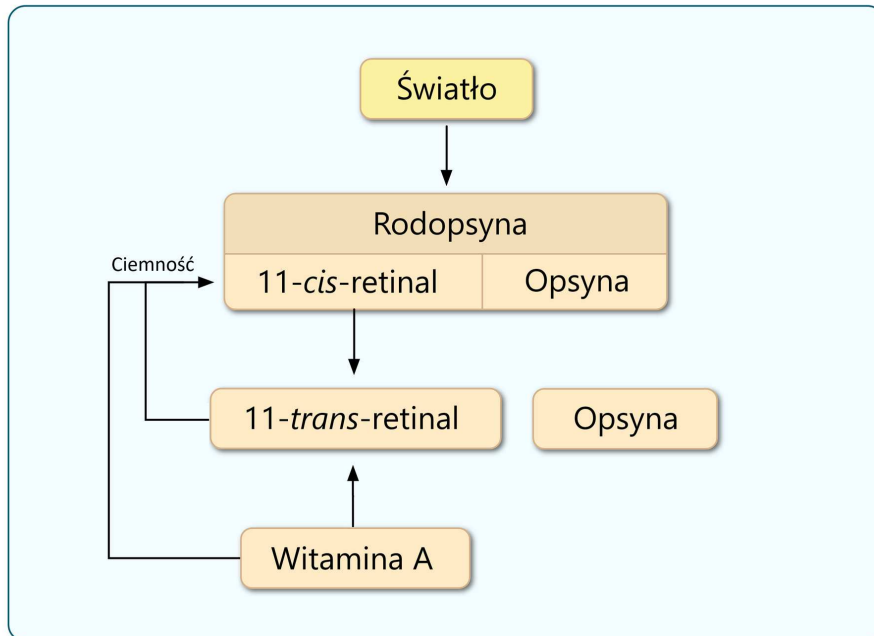
Plamka ślepa

Na siatkówce znajduje się również miejsce pozbawione receptorów, nazywane plamką ślepą – w obszarze tym nie powstaje obraz. Jest to miejsce wyjścia nerwu wzrokowego z gałki ocznej.

Chemizm widzenia

Każdy pręcik zawiera wrażliwy na światło barwnik, zwany **rodopsyną**. Rodopsyna zbudowana jest z białka **opsyny** i części barwnikowej: 11-*cis*-**retinalu** (aldehydu, będącego pochodną witaminy A). Pod wpływem energii świetlnej dochodzi do przekształcenia (**izomeryzacji**) 11-*cis*-retinalu w 11-*trans*-retinal. Następuje wówczas odłączenie retinalu od rodopsyny i powstaje opsyna. Proces ten prowadzi do wyzwolenia impulsu nerwowego.

W ciemności zachodzi proces resyntezy, podczas której 11-*trans*-retinal ulega przekształceniu w formę *cis*. Innym źródłem retinalu jest witamina A, która może ulec przekształceniu do 11-*cis*-retinalu lub do 11-*trans*-retinalu (który następnie jest przekształcany do 11-*cis*-retinalu). Powstały 11-*cis*-retinal łączy się z opsyną, odtwarzając cząsteczkę rodopsyny.



Procesy chemiczne w pręcikach umożliwiające powstanie wrażenia wzrokowego.

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

Ważne!

Retinol, będący podstawową formą witaminy A, musi być dostarczany do organizmu wraz z pożywieniem w postaci nieaktywnych prowitamin: β -karotenu lub estrów retinyłu.

Beta-karoten to barwnik, który w wyniku reakcji chemicznych w organizmie ulega przemianie do witaminy A (która przekształca się w 11-*cis*-retinal lub 11-*trans*-retinal). Ma właściwości antyoksydacyjne i korzystnie wpływa na funkcjonowanie wzroku. Występuje w żółtych, pomarańczowych i czerwonych warzywach (np. w marchwi, czerwonej papryce i dyni) i owocach (np. w brzoskwini, moreli).

Mechanizm widzenia barw

W siatkówce występują trzy typy czopków, które są wrażliwe na trzy podstawowe barwy: czerwoną, zieloną i niebieską. Poszczególne typy zawierają związki fotochemiczne, które podrażnione bodźcami światła o odpowiedniej barwie (długości fali) ulegają rozkładowi i wywołują impuls nerwowy. Impuls nerwowy dociera włóknami nerwu wzrokowego do ośrodków w korze mózgowej, gdzie kształtuje się odpowiednie wrażenie barwne. Przy

podrażnieniu wszystkich trzech typów czopków powstaje barwa biała. Stymulacja jednakowej liczby czopków czerwonych, zielonych oraz niewielkiej liczby czopków niebieskich daje barwę żółtą. Pobudzenie czopków niebieskich i zielonych wywołuje wrażenie barwy niebieskiej itd.

Więcej na ten temat przeczytasz w e-materiale pt. [Powstawanie obrazu i wrażenia wzrokowego](#).

Słownik

czopki

receptory wzroku wrażliwe na barwy; wypustki nerwowych komórek czopkowych siatkówki oka

izomeryzacja

reakcja chemiczna polegająca na przekształceniu jednego izomeru w drugi (np. formy *cis* związku w jego formę *trans*)

opsyny

grupa glikoprotein będących składnikami światłoczułych barwników biorących udział w procesie widzenia; oprócz opsyny w rodopsynie pręcików w czopkach znajdują się trzy opsyny (pojedynczy czopek zawiera tylko jeden rodzaj opsyn); opsyny te, łącząc się z retinalem, tworzą barwniki absorbujące światło

pręciki

receptory wzroku wrażliwe na słabe bodźce świetlne (odróżniają tylko odcienie szarości); wypustki nerwowych komórek pręcikowych siatkówki oka

retinal

związek organiczny należący do aldehydów, który wchodzi w skład barwnika wzrokowego – rodopsyny; występuje w dwóch formach izomerycznych *cis* i *trans*; forma *trans* retinalu generuje impuls nerwowy przekazywany nerwem wzrokowym do ośrodków wzrokowych mózgu

rodopsyna

(gr. *rhodon* – róża, *ōps* – oko) inaczej: purpura wzrokowa, czerwień wzrokowa; wrażliwy na światło organiczny związek chemiczny występujący w narządach wzroku głowonogów, stawonogów i kręgowców

siatkówka

wewnętrzna warstwa ściany gałki ocznej; rozróżnia się w niej część wzrokową, która pokrywa naczyniówkę, oraz część ślepą, która przylega do ciała rzęskowego i wewnętrznej powierzchni tęczówki

Animacja



Film dostępny pod adresem </preview/resource/RVvUoLH35Wl7p>

Fotoreceptory siatkówki i chemizm widzenia.

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

Film pod tytułem "Fotoreceptory siatkówki i chemizm widzenia".

Polecenie 1

Na podstawie informacji przedstawionych w filmie scharakteryzuj rodzaje fotoreceptorów siatkówki, zwracając uwagę na występujące między nimi różnice.

Polecenie 2

Na podstawie informacji przedstawionych w filmie wyjaśnij, na czym polega chemizm widzenia. Zwróć uwagę, w jaki sposób światło wpływa na barwnik znajdujący się w komórkach światłoczułych.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Przyporządkuj podane cechy do odpowiedniego rodzaju fotoreceptora.

Czopki

Odpowiadają za widzenie nocne.

Siatkówka człowieka zawiera ich średnio 125 mln.

Pręciki

Zawierają trzy rodzaje barwników wrażliwych na światło.

Charakteryzują się niewielką czułością na światło.

Siatkówka człowieka zawiera ich średnio 6 mln.

Odpowiadają za widzenie dzienne.

Zawierają jeden rodzaj barwnika wrażliwego na światło.

Charakteryzują się dużą czułością na światło.

Ćwiczenie 2



Plamka żółta to miejsce na siatkówce oka zwierząt naczelnych i kameleonów. Wskaż zdanie charakteryzujące plamkę żółtą.

- ☐ Zawiera dużą liczbę czopków i pręcików.
- ☐ Nie zawiera fotoreceptorów.
- ☐ Zawiera dużą liczbę czopków i nie zawiera pręcików.
- ☐ Zawiera dużą liczbę pręcików i nie zawiera czopków.

Ćwiczenie 3



Podczas drugiej wojny światowej piloci brytyjskiego RAF-u (Królewskich Sił Powietrznych, ang. Royal Air Force) spożywali duże ilości jagód i borówek w celu poprawienia widzenia nocnego. Dobroczynny wpływ antocyjanów zawartych w borówkach i jagodach został następnie wielokrotnie potwierdzony naukowo. Związki te przyspieszają regenerację barwnika wzrokowego.

Na podstawie: Yuri Nomi, Keiko Iwasaki-Kurashige, Hitoshi Matsumoto, *Therapeutic Effects of Anthocyanins for Vision and Eye Health*, „Molecule” 2019, nr 24(18), s. 3311.

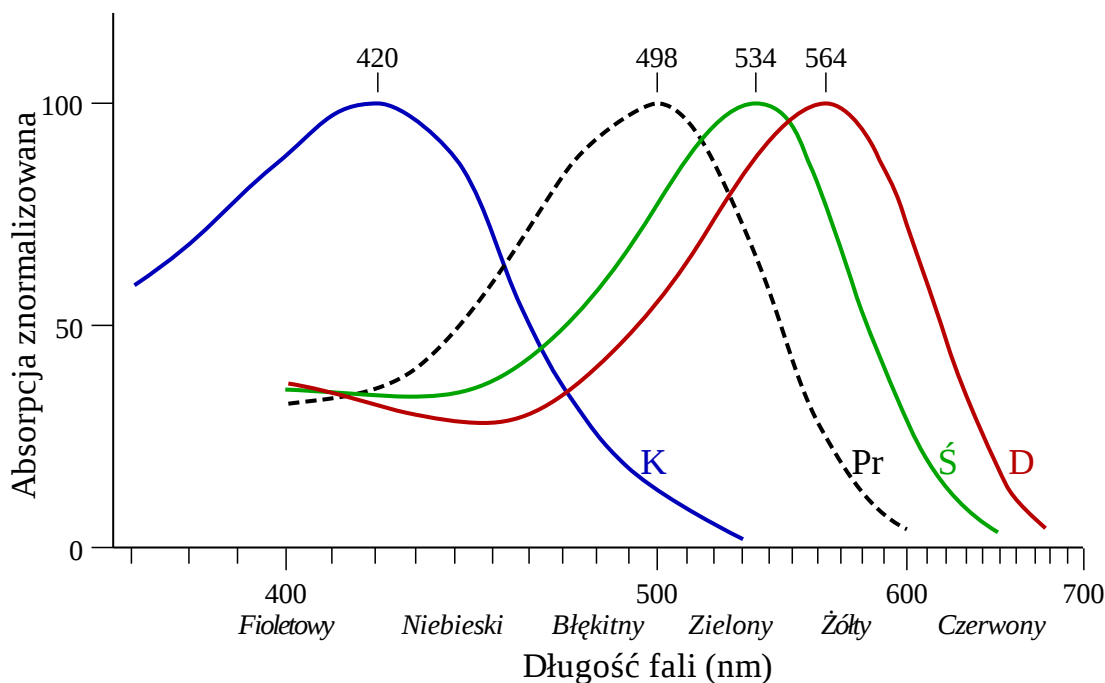
Na podstawie powyższego tekstu i własnej wiedzy zaznacz dwa zdania, które zawierają prawdziwe informacje.

- ☐ Antocyjany zawarte w borówkach przyspieszają połączenie 11-*cis*-retinalu z opsyną.
- ☐ Antocyjany zawarte w borówkach przyspieszają regenerację rodopsyny, która zachodzi w ciemności.
- ☐ Wspomniana w tekście regeneracja barwnika wzrokowego zachodzi w czopkach.
- ☐ Antocyjany zawarte w borówkach przyspieszają połączenie 11-*trans*-retinalu z opsyną.

Ćwiczenie 4



Poniższy wykres przedstawia absorpcję światła przez barwniki receptorowe czopków i pręcików. Przerywaną linią oznaczono absorpcję rodopsyny pręcików. We wszystkich rodzajach czopków część białkowa wiąże się z 11-*cis*-retinalem.



Krzywe spektrum absorpcji światła o krótkiej (K), średniej (Ś) i długiej (D) długości fali przez barwniki zawarte w ludzkich pręcikach (Pr) i czopkach.

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

Na podstawie powyższych informacji i analizy wykresu uzupełnij poniższy tekst tak, aby przedstawiał prawdziwe informacje. W każdym zdaniu wybierz właściwe określenie.

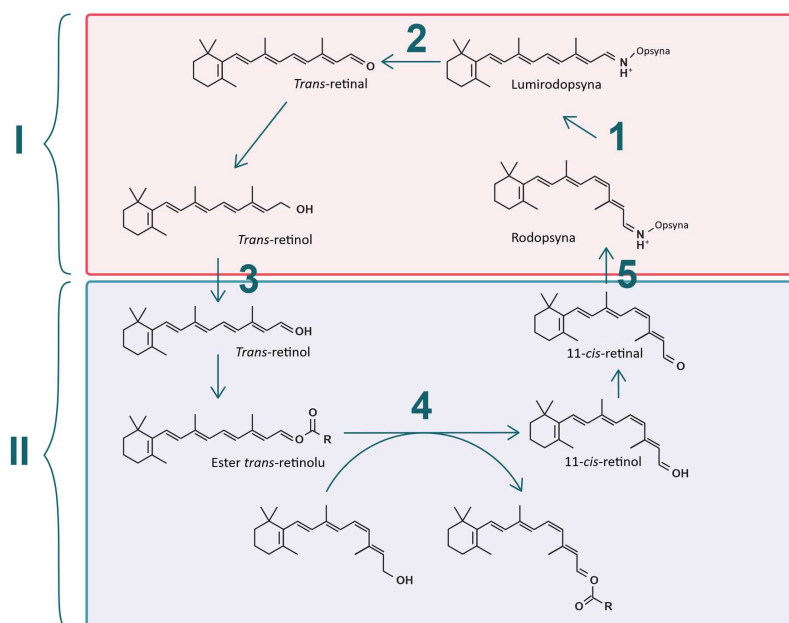
Istnieją ☐ ☐ rodzaje światłoczułych receptorów. Za różnice w długości pochłanianej fali świetlnej odpowiada ☐ ☐ część barwnika światłoczułego. Fala świetlna o długości 350 nm i 700 nm

☐ ☐ za widzenie nocne.

Ćwiczenie 5



Poniższy schemat przedstawia chemiczne podstawy widzenia. Zewnętrzne części komórek pręcikowych zawierają światłoczułą rodopsynę. Przejście formy *cis*-retinalu w formę *trans* powoduje zmiany konformacyjne jego cząsteczki, skutkujące wytworzeniem impulsu nerwowego.



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

Na podstawie powyższych informacji i analizy schematu przyporządkuj oznaczenia liczbowe do odpowiednich opisów.

Moment działania promieni świetlnych na rodopsynę

I

Moment odłączenia opsyiny od części niebiałkowej

2

Moment odtworzenia kompletnej rodopsyny

1

Zewnętrzna część komórki pręcikowej

5

Ćwiczenie 6



Na podstawie schematu i informacji zamieszczonych w ćwiczeniu nr 5 oraz własnej wiedzy oceń prawdziwość poniższych stwierdzeń.

Stwierdzenie	Prawda	Fałsz
Opsyna odłącza się wyłącznie od formy <i>trans</i> -retinalu.	☐	☐
Opsyna połączona z którąkolwiek formą retinalu występuje jedynie w zewnętrznej części komórek pręcikowych.	☐	☐
Przejście 11- <i>trans</i> -retinalu do 11- <i>cis</i> -retinalu jest procesem jednoetapowym.	☐	☐
Światło powoduje zmianę struktury retinalu z wyprostowanej na wygiętą.	☐	☐

Ćwiczenie 7



Na schemacie zamieszczonym w ćwiczeniu nr 5 wskaż liczbę oznaczającą etap resyntezy barwnika wzrokowego, na który pozytywny wpływ ma spożywanie żółtych, pomarańczowych i czerwonych warzyw. Uzasadnij wybór wskazanej przez siebie liczby.



W lutym 2020 r. na łamach czasopisma „Cell Death & Differentiation” opublikowano artykuł dotyczący wpływu czynników komórkowych na biosyntezę rodopsyny w siatkówce u muszki owocówki (*Drosophila melanogaster*) i myszy (*Mus musculus*). W obrębie siateczki śródplazmatycznej szorstkiej zlokalizowano szereg białek (EMC, EMC5 i EMC6), których brak skutkowało zatrzymaniem syntezy rodopsyny. Skądinąd wiemy, że białkowa część rodopsyny (opsyna) nie powstaje na rybosomach cytoplazmatycznych.

Na podstawie: Liangyao Xiong, Lin Zhang, Yeming Yang i in., ER Complex Proteins are Required for Rhodopsin Biosynthesis and Photoreceptor Survival in *Drosophila* and mice, „Cell Death & Differentiation” 2020, nr 27, s. 646–661.

Odnosząc się do powyższego tekstu, wyjaśnij, w jaki sposób można powiązać miejsce biosyntezy rodopsyny w komórkach siatkówki z miejscem pełnienia jej funkcji. W odpowiedzi uwzględnij fakt, że opsyna jest białkiem transbłonowym.

Dla nauczyciela

Autor: Anna Juwan

Przedmiot: biologia

Temat: Fotoreceptory siatkówki i chemizm widzenia

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

Podstawa programowa:

Zakres podstawowy

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

V. Budowa i fizjologia człowieka.

7. Regulacja nerwowa. Uczeń:

8) przedstawia budowę oraz działanie oka i ucha; omawia podstawowe zasady higieny wzroku i słuchu;

Zakres rozszerzony

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

XI. Funkcjonowanie zwierząt.

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

6) Regulacja nerwowa. Uczeń:

k) przedstawia budowę oraz działanie oka i ucha człowieka; omawia podstawowe zasady higieny wzroku i słuchu,

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):

- Omówisz budowę siatkówki.
- Scharakteryzujesz fotoreceptory siatkówki.
- Wyjaśnisz związek procesów chemicznych w siatkówce oka z mechanizmem widzenia.
- Opiszysz proces widzenia barw.

Strategie nauczania:

- konstruktywizm;
- konektywizm.

Metody i techniki nauczania:

- z użyciem komputera;
- rozmowa kierowana;
- ćwiczenia interaktywne;
- symulacja;
- gra dydaktyczna.

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.

Przed lekcją:

1. Uczniowie zapoznają się z treścią w sekcji „Przeczytaj”.
2. Uczniowie przypominają sobie informacje na temat budowy narządu wzroku człowieka.

Przebieg lekcji

Faza wstępna:

1. Nauczyciel wyświetla cele lekcji i temat zawarte w sekcji „Wprowadzenie”.
2. **Rozmowa wprowadzająca.** Nauczyciel prosi chętnych/wybranych uczniów o wyjaśnienie, czym jest i czym się charakteryzuje chemizm widzenia.

Faza realizacyjna:

1. **Praca z tekstem.** Nauczyciel wyświetla grafikę zamieszczoną w sekcji „Przeczytaj”, przedstawiającą uproszczony schemat budowy siatkówki oka, i wspólnie z uczniami analizuje ją, na podstawie treści przeczytanych w ramach przygotowania do lekcji.
2. **Praca w grupach z treścią e-materiału.** Nauczyciel dzieli uczniów na cztery grupy. Każda grupa na podstawie e-materiału przygotowuje zestaw pięciu pytań. Nauczyciel obserwuje pracę uczniów, w razie potrzeby służy pomocą. Zwraca uwagę, aby pytania były problemowe, a nie pamięciowe. Koryguje propozycje uczniów. Nauczyciel tworzy nowe grupy tak, aby w każdej znalazła się jedna osoba z każdej grupy poprzedniej. Każdy członek zespołu zadaje pytania przygotowane przez swój zespół, pozostali odpowiadają na nie.
3. **Praca z animacją pt. „Fotoreceptory siatkówki i chemizm widzenia”.** Uczniowie w zespołach dwuosobowych zapoznają się z treścią materiału oraz poleceniem nr 1 („Na podstawie informacji przedstawionych w filmie scharakteryzuj rodzaje fotoreceptorów siatkówki, zwracając uwagę na występujące między nimi różnice”) i wspólnie rozwiązują zadanie, wykonując tabelę porównującą czopki i pręciki.
4. **Utrwalenie wiedzy i umiejętności.** Nauczyciel przechodzi do sekcji „Sprawdź się”. Uczniowie wykonują indywidualnie ćwiczenia interaktywne 7 (dotyczące resyntezy barwnika wzrokowego) oraz 8 (dotyczące związku między miejscem biosyntezy rodopsyny w komórkach siatkówki a miejscem pełnienia jej funkcji), a następnie porównują swoje odpowiedzi z kolegą lub koleżanką.

Faza podsumowująca:

1. Nauczyciel prosi uczniów o rozwinięcie zdań: „Dziś nauczyłem/nauczyłam się...”, „Zrozumiałem/zrozumiałam, że...”, „Zaskoczyło mnie...”, „Dowiedziałem/dowiedziałam się...”.
2. Nauczyciel zadaje pytanie w celu sprawdzenia zrozumienia wiadomości przez uczniów: „Dlaczego w nocy nie widzimy barw?”.

Praca domowa:

1. Wykonaj ćwiczenia od 1 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.

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania animacji:

- Nauczyciel może wykorzystać animację na lekcji „Powstawanie obrazu i wrażenia wzrokowego”.

