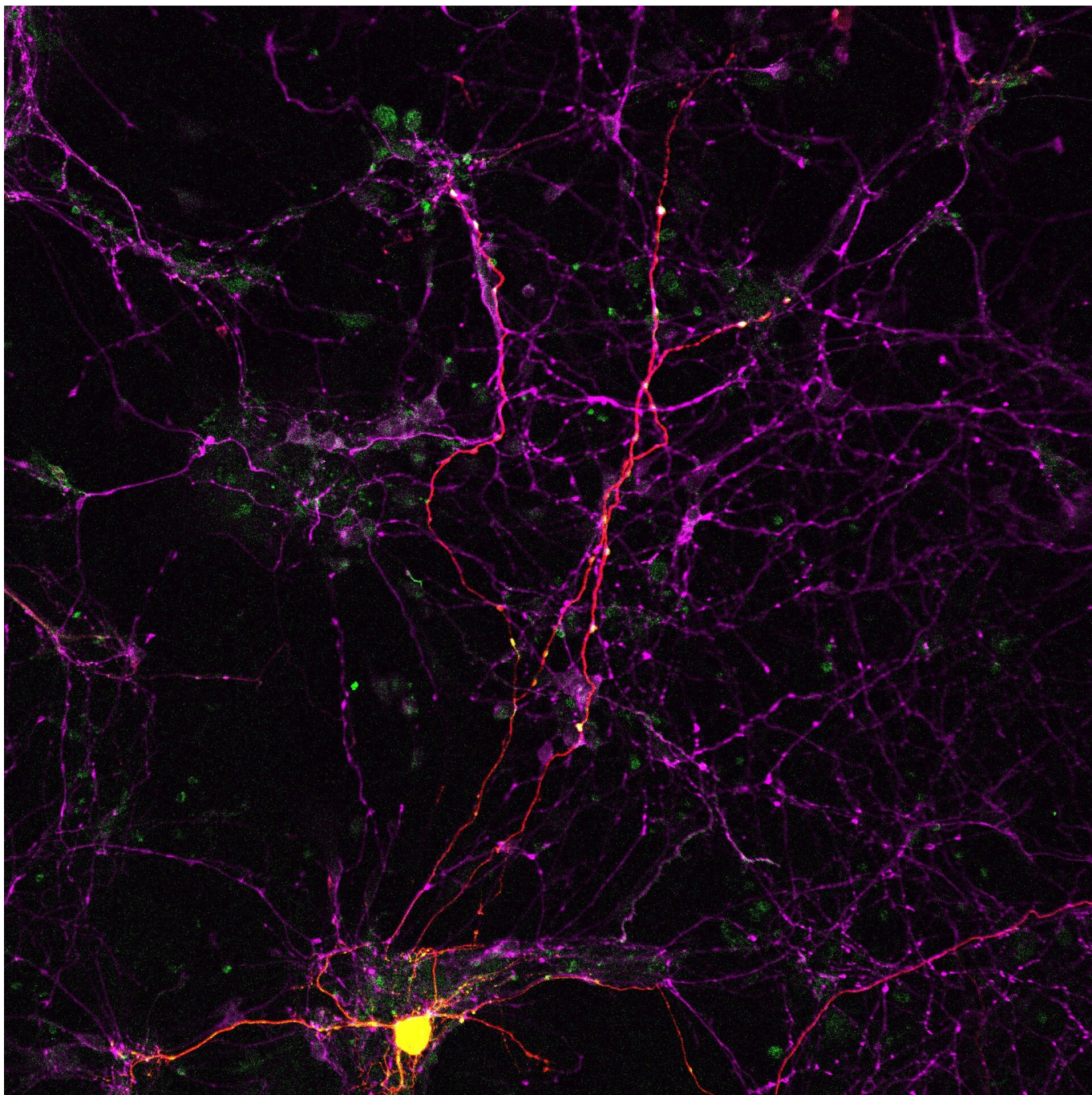




Modulatory przekąźnictwa synaptycznego

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Animacja 3D](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



Modulatory przekąźnictwa synaptycznego

Neurony kory mózgu, łącząc się za pomocą synaps, tworzą jedną z najbardziej złożonych sieci we wszechświecie. W korze mózgowej zdrowego człowieka znajduje się od 14 do 16 miliardów neuronów.

Źródło: Vienna Biocenter, Flickr, licencja: CC BY-NC-ND 2.0.

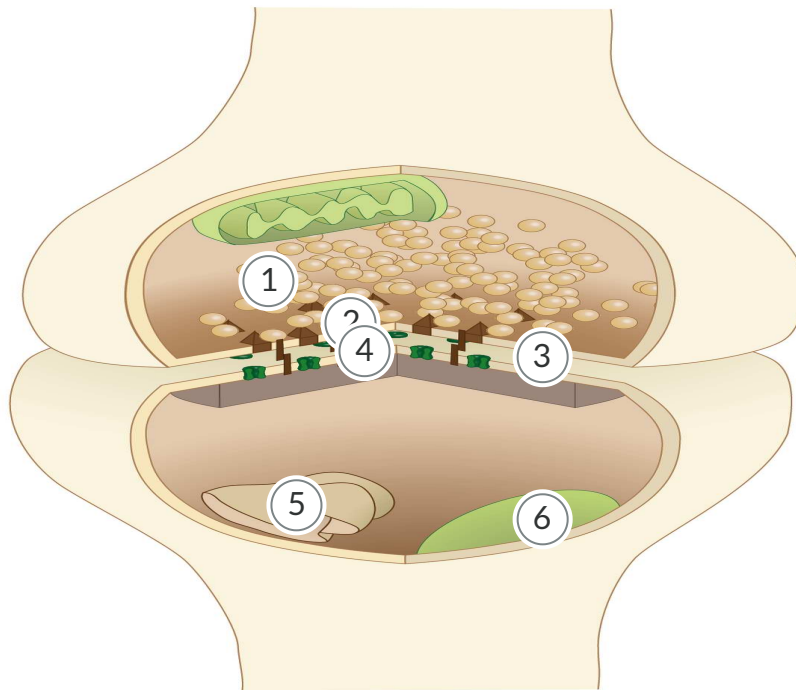
Zarówno w ośrodkowym, jak i w obwodowym układzie nerwowym oprócz neuroprzekazników do synaps wydzielane są cząsteczki pomocnicze, tzw. modulatory przekąźnictwa synaptycznego. Ich rolą jest wzmacnianie lub hamowanie działania danej synapsy.

Twoje cele

- Porównasz neuroprzekaznik i modulator synaptyczny.
- Podasz przykłady modulatorów synaptycznych.
- Wyjaśnisz mechanizm działania toksyny botulinowej na organizm człowieka.

Neuroprzekaźnik, a modulator synaptyczny

Neuroprzekaźnik (neurotransmitter) to cząsteczka chemiczna, dzięki której możliwe jest przekazywanie sygnałów pomiędzy komórkami nerwowymi, ale i do komórek mięśniowych czy komórek należących do gruczołów wydzielania wewnętrznego. W komórkach nerwowych neuroprzekaźniki gromadzone są w specyficznych tworach, określanych jako pęcherzyki synaptyczne. W tym samym miejscu zbierają się też wytwarzane przez te same komórki inne substancje chemiczne, nazywane **modulatorami przekazywania synaptycznego** lub inaczej neuromodulatorami. Uwolnione do szczeliny synaptycznej, wzmacniają lub hamują (modulują) działanie neuroprzekaźników wydzielanych przez ten sam neuron.



1

pęcherzyki z neuroprzekaźnikiem

dotychczas w ludzkim układzie nerwowym zidentyfikowano ponad 200 substancji pełniących funkcje neuroprzekaźników

2

cząsteczki adhezji komórkowej

białka odpowiedzialne za adhezję. Znajdują się w błonie komórkowej neuronu

3

szczelina synaptyczna

szczelina między aksonem jednego neuronu, a dendrytem drugiego neuronu

4

receptory neurotransmitera

białka wyłapujące pęcherzyki z neurotransmiterem ze szczeliny synaptycznej

5

retikulum endoplazmatyczne

6

mitochondrium

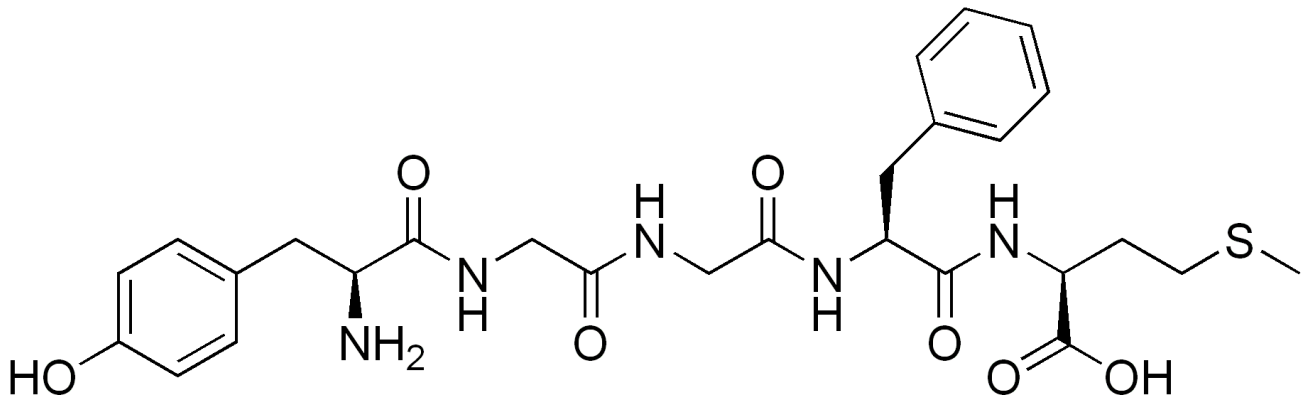
Schemat budowy synapsy chemicznej.

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

Modulatory przekąźnictwa synaptycznego to fizjologicznie czynne związki chemiczne uwalniane z [elementu presynaptycznego](#) wraz z neuroprzekąźnikiem. Większość z nich to duże cząsteczki [peptydowe](#) (neuropeptydy). Występują w ośrodkowym i obwodowym układzie nerwowym, choć największa ich produkcja odbywa się w [podwzgórzu](#).

Zadaniem neuromodulatorów jest nasilanie lub ograniczanie działania neuroprzekąźników, zwykle przez zamykanie lub otwieranie kanałów jonowych zlokalizowanych w błonach pre- lub [postsynaptycznych](#). Do cząsteczek uznawanych za modulatory synaptyczne zalicza się m.in.: [enkefaliny](#), [substancję P](#), czynnik wzrostu nerwów i tlenek azotu.

Met-enkefalina



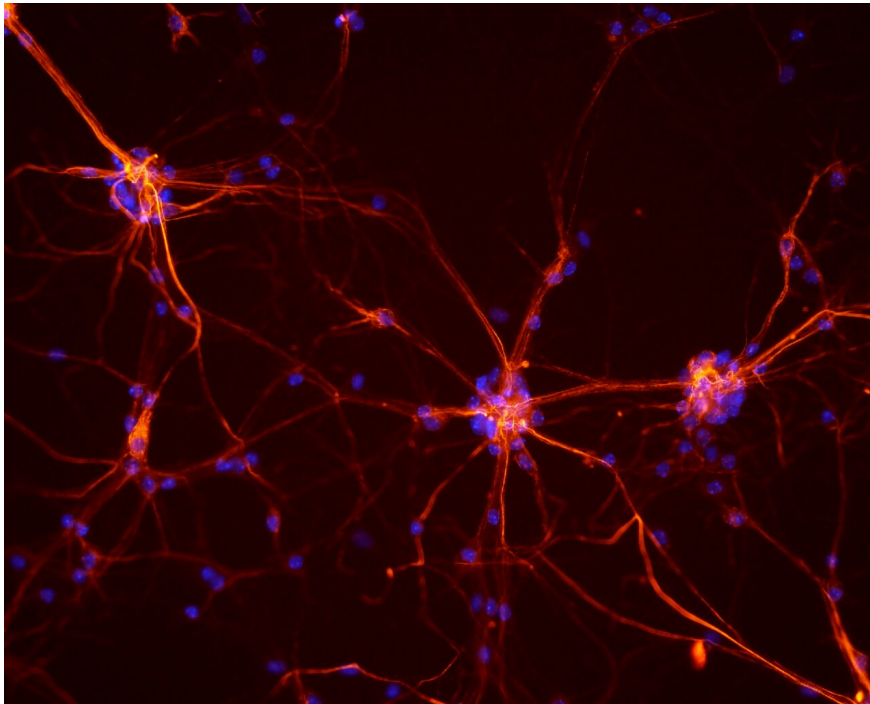
Endogenny peptyd opioidowy z grupy enkefalin, działający jako neuroprzekaźnik. Występuje naturalnie w wielu tkankach zwierzęcych, w tym ludzkich.

Źródło: Wikimedia Commons, domena publiczna.

Substancja P

Niektóre neuropeptydy pełnią także funkcje **troficzne** – np. pobudzając wzrost rozwijających się **neuroblastów** (komórek macierzystych dla neuronów i komórek glejowych). Istnieją również neuromodulatory, które poza synapsami są wydzielane w innych częściach organizmu, pełniąc funkcje niezwiązane z modulacją synaptyczną. Do tej grupy cząsteczek należą hormony: oksytocyna, wazopresyna (hormon antydiuretyczny) i somatostatyna.

Egzogenne modulatory synaptyczne



Komórki nerwowe z rdzenia kręgowego myszy (*Mus*).

Źródło: NICHD, Flickr, licencja: CC BY 2.0.

Oprócz endogennych (syntetyzowanych w organizmie) neuromodulatorów funkcję modulacyjną w synapsach mogą pełnić również niektóre egzogenne (pochodzące z zewnątrz) toksyny, m.in. toksyna tężcowa lub jad kiełbasiany (**toksyna botulinowa**). Obecność jadu kiełbasianego w organizmie powoduje porażenie wiotkie mięśni szkieletowych. Toksyna ta blokuje uwalnianie acetylocholiny w elemencie presynaptycznym synapsy nerwowo-mięśniowej, w wyniku czego dane grupy mięśni szkieletowych nie mogą się kurczyć. W niektórych przypadkach stosuje się miejscowo niewielkie stężenia toksyny botulinowej (botoksu), aby zmniejszyć nadmierne napięcie mięśniowe lub w celach kosmetycznych.

Słownik

adhezja

zjawisko przylegania do siebie powierzchni dwóch różnych ciał w wyniku przyciągania między ich cząsteczkami, np. między cząsteczkami wody w naczyniach tkanki przewodzącej

błona postsynaptyczna

jeden z trzech elementów synapsy; błona komórkowa neuronu odbierającego impuls nerwowy lub błona komórki efektorowej, do której docierają cząsteczki sygnałowe – neuroprzekaźniki

błona presynaptyczna

część synapsy; błona komórkowa neuronu przekazującego impuls nerwowy – błona kolbkowatego zakończenia aksonu, przez którą, w drodze egzocytozy, neuroprzekaźniki

uwalniane są do szczeliny synaptycznej

enkefaliny

peptydy opioidowe występujące w ośrodkowym układzie nerwowym, tłumiące czucie bólu

funkcja troficzna

modyfikuje procesy biosyntezy białek

modulator synaptyczny

cząsteczka wydzielana wraz z neuroprzekaźnikiem do szczeliny synaptycznej. Pobudza lub hamuje daną synapsę

neuroblasty

komórki macierzyste dla neuronów i komórek glejowych

neuroprzekaźnik

cząsteczka wydzielana przez neuron do szczeliny synaptycznej; łączy się ze swoistymi receptorami w błonie postsynaptycznej innej komórki, pobudzając lub hamując jej aktywność

peptyd

organiczny związek chemiczny, powstaje przez połączenie wiązaniami peptydowymi dwóch lub więcej aminokwasów

podwzgórze

struktura międzymózgowia kontrolująca liczne funkcje ośrodkowego i autonomicznego układu nerwowego; miejsce syntezy wielu hormonów i modulatorów synaptycznych

substancja P

peptyd zbudowany z 11. aminokwasów; jeden z neuroprzekaźników zaliczanych do neurokinin, działa w obrębie dróg czuciowych ssaków

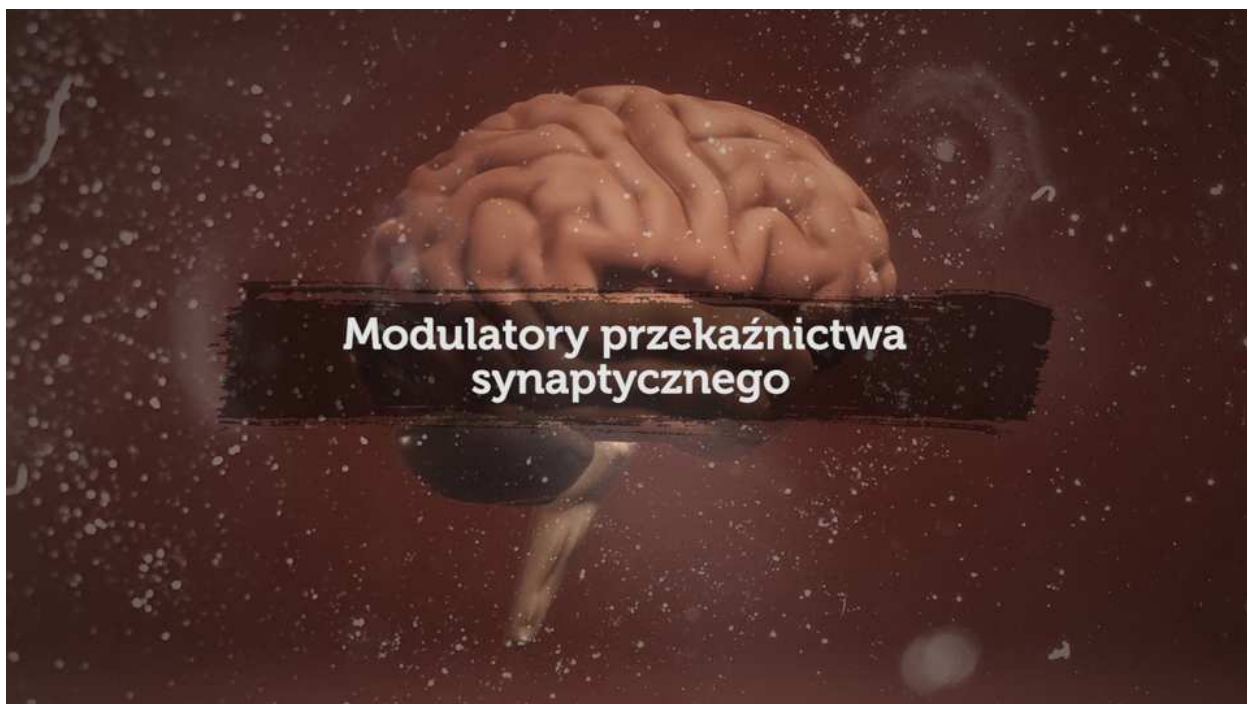
toksyna botulinowa (jad kiełbasiany, botoks)

toksyna produkowana przez beztlenowe bakterie *Clostridium botulinum*

Animacja 3D

Polecenie 1

Wykaż różnice między neuroprzekaźnikiem i modulatorem synaptycznym (neuromodulatorem), uwzględniając czas ich działania i efekt jaki wywołują, a następnie obejrzyj film, by sprawdzić swoją odpowiedź.



Film dostępny pod adresem </preview/resource/Rf6FlxCrcpf0u>

Źródło: dr Wojciech Glac, Uniwersytet Gdański, Katedra Fizjologii Zwierząt i Człowieka, reż. Englishsquare.pl Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Film opisuje modulatory przekąźnictwa synaptycznego.

Polecenie 2

Obejrzyj wywiad z ekspertem, a następnie podaj dwa przykłady modulatorów synaptycznych (neuromodulatorów) i opisz ich rolę w organizmie.

Dla zainteresowanych



Film dostępny pod adresem </preview/resource/R1MttQ6nHSWUI>

Źródło: dr Wojciech Glac, Uniwersytet Gdański, Katedra Fizjologii Zwierząt i Człowieka, reż. Englishsquare.pl Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Film opisuje działanie toksyny botulinowej na synapsy.

Polecenie 3

Scharakteryzuj rolę neuroprzekaźników, zwracając uwagę na to, gdzie występują i w jakich procesach fizjologicznych biorą udział.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Zaznacz poprawną odpowiedź.

- ☐ Związki syntetyzowane wewnątrz organizmu nazywane są egzogennymi.
- ☐ Przysadka mózgowa syntetyzuje oksytocynę i wazopresynę
- ☐ Synapsa leży między błoną presynaptyczną, a postsynaptyczną

Ćwiczenie 2



Zaznacz związki będące neuromodulatorami.

- ☐ jony wapnia
- ☐ substancja P
- ☐ oksytocyna
- ☐ adrenalina
- ☐ enkefaliny
- ☐ botulina

Ćwiczenie 3



Uzupełnij tekst poprawnymi sformułowaniami.

Neuromodulatory to związki o budowie chemicznej i różnym działaniu. Niektóre z nich poza synapsami pełnią funkcje niezwiązane z modulacją neuronalną. Przykładem mogą być hormony : oksytocyna i . Inne neuropeptydy mogą z kolei pełnić funkcje troficzne, czyli wzrost komórek macierzystych tkanki nerwowej nazywanych .

Ćwiczenie 4



Przyporządkuj prawidłowo opisy działania do grupy związków.

neuroprekaźniki

związki te mogą być wytwarzane przez organizm, na który działają lub pochodzić spoza tego organizmu

neuromodulatory

wzmacniają lub hamują działanie neuroprekaźników

działają na błony pre- lub postsynaptyczne

ich funkcją jest pobudzanie lub hamowanie aktywności błony postsynaptycznej

związki wydzielane przez neuron do szczeliny synaptycznej

Ćwiczenie 5



Oceń prawdziwość poniższych stwierdzeń.

Stwierdzenie	Prawda	Fałsz
Neuromodulatory to związki organiczne o specyficznym działaniu.	☐	☐
Neuromodulatory mogą być uwalniane do szczeliny synaptycznej razem z neuroprzekaźnikiem.	☐	☐
Enkefaliny należą do opioidów.	☐	☐
Substancja P, czynnik wzrostu i tlenek azotu należą do neuromodulatorów peptydowych.	☐	☐
Do endogennych modulatorów przekąźnictwa synaptycznego należą m.in. oksytocyna, wazopresyna, botoks.	☐	☐



U zdrowego człowieka impuls nerwowy docierający do synapsy nerwowo-mięśniowej powoduje otwarcie bramkowanych napięciem kanałów wapniowych, obecnych w błonie presynaptycznej. Wnikanie jonów wapnia do wnętrza neuronu poprzez otwarte kanały, inicjuje fuzję pęcherzyków synaptycznych z błoną presynaptyczną i uwolnienie acetylocholiny do szczeliny synaptycznej. Warunkiem niezbędnym do połączenia pęcherzyków synaptycznych z błoną komórkową neuronu i uwolnienia przekaźnika nerwowego na zewnątrz komórki jest obecność kilku białek transbłonowych (SNARE), tworzących tzw. kompleks fuzyjny.

Toksyna botulinowa, zwana również jadem kiełbasianym, to neurotoksyna wytwarzana przez bakterie *Clostridium botulinum*. W przypadku, gdy toksyna botulinowa dostanie się do organizmu, jest wchłaniana w jelitach i przez endocytozę przenika do układu krwionośnego i limfatycznego. Po wnikięciu do neuronu botulina staje się metaloproteazą, której celem działania są transbłonowe białka SNARE. Degradacja któregośkolwiek z tych białek, uniemożliwia połączenie się pęcherzyka synaptycznego z błoną presynaptyczną i uwolnienie acetylocholiny do przestrzeni presynaptycznej.

Na podstawie: Toksyna botulinowa – cudowna trucizna, Anna Mazurkiewicz-Pisarek, Andrzej Płucienniczak

Na podstawie powyższego tekstu uporządkuj w logiczny ciąg konsekwencje działania toksyny botulinowej.

jony wapnia napływają do wnętrza neuronu



acetylocholina nie zostaje uwolniona do przestrzeni synaptycznej



pocięte przez botulinę białka SNARE nie są w stanie stworzyć kompleksu fuzyjnego



neuroprzekaźnik nie wiąże się z receptorami błony postsynaptycznej



pęcherzyk synaptyczny nie może połączyć się z błoną presynaptyczną



pod wpływem impulsu nerwowego otwierają się kanały jonowe błony presynaptycznej



impuls nie zostaje przekazany



Ćwiczenie 7



Na podstawie tekstu do zadania 6. określ czy toksyna botulinowa jest dla człowieka endogennym, czy egzogennym modulatorem synaptycznym. Uzasadnij swoją odpowiedź.

Ćwiczenie 8



W Polsce botulinę stosuje się m.in. w leczeniu kurczu powiek lub twarzy oraz kręczu karku (wywołanego nadmiernym skurczem mięśni). Wyjaśnij, w jaki sposób terapia toksyną botulinową może pomóc w tych dolegliwościach. Uwzględnij mechanizm działania botuliny.

Dla nauczyciela

Autor: Anna Juwan

Przedmiot: Biologia

Temat: Modulatory przekąźnictwa synaptycznego

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:

2) przedstawia działanie synapsy chemicznej uwzględniając rolę przekąźników chemicznych; podaje przykłady tych neuroprzekąźników;

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:

d) przedstawia działanie synapsy chemicznej, uwzględniając rolę przekąźników chemicznych; podaje przykłady tych neuroprzekąźników,

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 neuroprzekaźnik i modulator synaptyczny.
- Podasz przykłady modulatorów synaptycznych.
- Wyjaśnisz mechanizm działania toksyny botulinowej na organizm człowieka.

Strategie nauczania:

- konstruktywizm;
- konektywizm.

Metody i techniki nauczania:

- z użyciem komputera;
- ćwiczenia interaktywne;
- analiza animacji;
- praca z filmem;
- śniegowa kula;
- gwiazda pytań.

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;
- arkusze papieru A3 z ilustracją gwiazdy.

Przed lekcją:

1. **Przygotowanie do zajęć.** Nauczyciel loguje się na platformie i udostępnia uczniom e-materiał „Modulatory przekąźnictwa synaptycznego”. Prosi uczestników zajęć o rozwiązanie ćwiczenia nr 2 (w którym mają za zadanie uzupełnić tekst dotyczący tematu lekcji) z sekcji „Sprawdź się” na podstawie treści w sekcji „Przeczytaj”.

Przebieg lekcji

Faza wstępna:

1. Nauczyciel wyświetla temat i cele lekcji zawarte w sekcji „Wprowadzenie”.

2. Raport z przygotowań. Nauczyciel za pomocą dostępnego w panelu użytkownika raportu weryfikuje przygotowanie uczniów do lekcji, m.in. sprawdza, kto wykonał zadane ćwiczenie. Może wyświetlić odpowiedzi uczniów na tablicy interaktywnej. Prosi wybranego ucznia o uzasadnienie swojego rozwiązania.

Faza realizacyjna:

1. **Praca z multimedium („Animacja 3D”).** Nauczyciel prosi uczniów, by wykonali polecenie nr 1 do multimedium: „Wskaż różnice między neuroprzekaźnikiem i modulatorem synaptycznym (neuromodulatorem)”. Następnie wyświetla film, a uczniowie na jego podstawie weryfikują swoje odpowiedzi.
2. **Kula śniegowa.** Nauczyciel informuje uczniów, że będą pracować metodą kuli śniegowej, wykonując na podstawie e-materiału następujące polecenia:
 - Podaj dwa przykłady modulatorów synaptycznych (neuromodulatorów) i opisz ich rolę w organizmie.
 - Scharakteryzuj rolę neuroprzekaźników.
 - Wskaż różnice między neuroprzekaźnikiem i modulatorem synaptycznym.Nauczyciel objaśnia wspomnianą wyżej metodę i wynikające z niej kolejne etapy pracy:
 - 1) najpierw uczniowie będą indywidualnie opracowywać odpowiedzi;
 - 2) potem połączą się w pary i porównają swoje propozycje, a na osobnej kartce zapiszą wspólne odpowiedzi;
 - 3) kolejnym krokiem będzie połączenie się par w czwórki, które – jak poprzednio – skonfrontują swoje odpowiedzi;
 - 4) uczniowie utworzą 8-osobowe zespoły i znów porównają swoje propozycje;
 - 5) przedstawiciele poszczególnych zespołów 8-osobowych zaprezentują na forum klasy uzgodnione w grupie odpowiedzi.
3. **Gwiazda pytań.** Nauczyciel dzieli klasę na trzy grupy. Każdy zespół otrzymuje arkusz papieru A3 z ilustracją gwiazdy. Zadaniem uczniów jest umieszczenie na ramionach gwiazdy pięciu pytań dotyczących tematu lekcji. Każdy zespół po napisaniu pytań przekazuje gwiazdę innej grupie, zgodnie z kierunkiem wskazówek zegara. Teraz zadaniem uczniów jest udzielenie odpowiedzi na zadane pytania na podstawie wiadomości znajdujących się w e-materiale. Uczniowie swoje odpowiedzi zapisują na otrzymanym arkuszu papieru A3. Po upływie wyznaczonego czasu grupy prezentują swoje gwiazdy. Nauczyciel w razie potrzeby uzupełnia informacje, wyjaśnia wątpliwości.
4. **Utrwalenie wiedzy i umiejętności.** Uczniowie samodzielnie wykonują ćwiczenie nr 6 (w którym mają za zadanie – na podstawie tekstu źródłowego – uporządkować w logiczny ciąg konsekwencje działania toksyny botulinowej) oraz ćwiczenie nr 7 (w którym mają za zadanie – na podstawie tekstu do zadania 6 – określić, czy toksyna botulinowa jest dla człowieka endogennym czy egzogennym modulatorem synaptycznym) 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. Nauczyciel wyświetla treści zawarte w sekcji „Wprowadzenie” i na ich podstawie dokonuje podsumowania najważniejszych informacji przedstawionych na lekcji. Wyjaśnia także wątpliwości uczniów.

Praca domowa:

1. Wykonaj ćwiczenia nr 3 i 4 z sekcji „Sprawdź się”.
2. Dla chętnych: Obejrzyj film „Dla zainteresowanych” w sekcji „Animacja 3D” i wykonaj ćwiczenie nr 8.

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:

- Uczniowie mogą przed lekcją zapoznać się z materiałem w sekcji „Animacja 3D”, aby przygotować się do późniejszej pracy.