

Przekazywanie sygnałów nerwowych

Nie można przecenić znaczenia układu nerwowego dla homeostazy organizmu oraz jego rozwoju i egzystencji w powiązaniu ze środowiskiem, w którym żyje. Swoją funkcję układ nerwowy może realizować dzięki unikalnym właściwościom komórek nerwowych. Jako receptory przyjmują bodźce ze środowiska, a w swojej „klasycznej” postaci transportują je wewnątrz organizmu oraz tworząc skomplikowane sieci neuronalne, umożliwiają ich analizę. Bez wątplenia kluczem do zrozumienia funkcjonowania układu nerwowego jest sposób przesyłania sygnału wzdłuż komórek nerwowych i między nimi.

■ DAWID BASAK I KARINA KUBIAK

Omówienie mechanizmu przekazywania sygnałów nerwowych i funkcjonowania mózgu wymaga poznania i zrozumienia takich zjawisk jak polaryzacja błony komórkowej i potencjał spoczynkowy komórki.

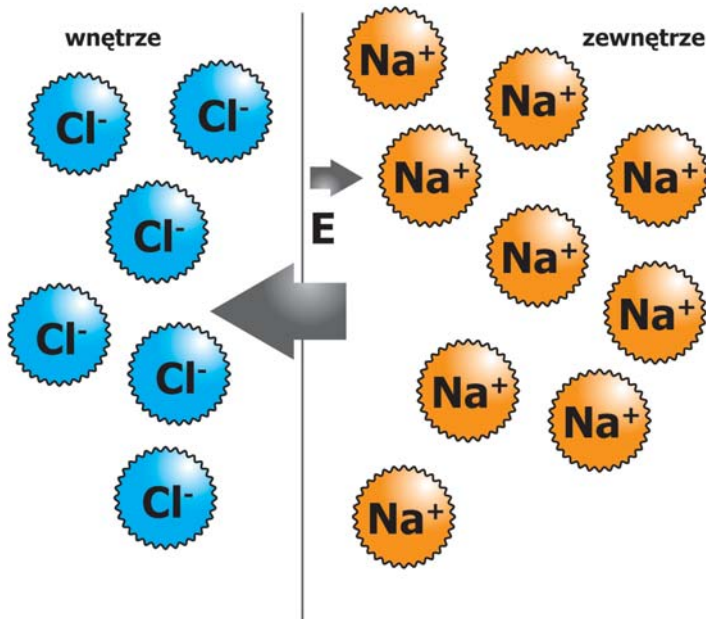
Polaryzacja błony komórkowej

Na wstępie przyjmijmy uproszczenie, które ułatwi dalsze rozważania. Komórka zwierzęca otoczona jest błoną komórkową. W konsekwencji wyróżnić możemy trzy obszary: wewnątrz, błonę i zewnątrz komórki. Błona odpowiada między innymi za selektywną wymianę substancji takich jak: składniki pokarmowe, produkty przemiany materii oraz jony pomiędzy komórką a jej otoczeniem. Z uwagi na właściwości elektryczne tkanki interesować nas będzie szczególnie wymiana jonów. Jony w organizmie są nośnikami ładunku elektrycznego. Kationy (jony dodatnie) to cząsteczki lub związki pozbawione jednego elektronu lub ich większej liczby. Aniony (jony ujemne) charakteryzuje nadmiar elektronów. Jeżeli w pewnym miejscu np. komórki nastąpi

rozdzielenie jonów dodatnich i ujemnych, to powstaną obszary o różnym ładunku elektrycznym, pojawi się różnica potencjału elektrycznego (Rys. 1). Dzieje się tak w przypadku błony komórkowej, w poprzek której występuje potencjał elektryczny.

Potencjał spoczynkowy to potencjał elektryczny pomiędzy wnętrzem komórki a jej zewnątrz, występujący wtedy, gdy komórka jest w stanie spoczynku, np. komórka nerwowa nieprzewodząca bodźca. Granicą obszarów o różnym stężeniu jonów może być błona komórkowa. W przypadku neuronu potencjał spoczynkowy wynosi około -70mV . Wartość ujemna oznacza, że wewnątrz komórki gromadzi się ładunek ujemny w stosunku do ładunku na zewnątrz komórki (Rys. 2). Potencjał spoczynkowy zarejestrowano, eksperymentalnie wprowadzając jedną z elektrod pomiarowych do wnętrza neuronu.

Pole elektrostatyczne, wynikające z jonyjowej polaryzacji błony, nie występuje na zewnątrz komórki, nie jest więc mierzalne na zewnątrz organizmu.



Rys. 1. Potencjał na granicy ośrodków o różnym ładunku elektrycznym

Z obserwacji potencjału spoczynkowego wynika, że błona komórkowa w stanie statycznym jest elektrycznie spolaryzowana. Istnieją dwa zasadnicze mechanizmy powodujące przemieszczanie się jonów w poprzek błony komórkowej:

- dyfuzja, która powoduje ruch jonów w celu wyrównania ich stężeń;
- działanie pompy jonowej, transportującej wybrane jony wbrew gradientowi stężenia, gradientowi potencjału lub obu równocześnie.

Dyfuzja to transport bierny, czyli bez nakładu energii.

Pompy jonowe zapewniają transport czynny wymagający dostarczenia energii. Równoczesna dyfuzja i działanie pomp jonowych powodują, że stężenie jonów potasu jest około 30 razy większe, a jonów sodu 10 razy mniejsze wewnątrz niż na zewnątrz komórki.

Pompy jonowe utrzymują potencjał spoczynkowy na stałym poziomie. Tworzą je wyspecjalizowane białka rozpoznające wybrane jony i „przeciągające” je przez błonę. Niezwykle ważnym transporterem jonów jest

pompa sodowo-potasowa transportująca kationy K^+ oraz Na^+ przez błonę komórkową. Jony K^+ są pompowane do wnętrza, a jony Na^+ na zewnątrz komórki. Statystycznie na każde dwa wpompowane jony K^+ wypompowane są trzy jony Na^+ . Tym samym „sumarycznie ładunek dodatni jest wypompowywany” z komórki. Dlatego potencjał spoczynkowy komórki nerwowej jest ujemny.

Do pracy pompy

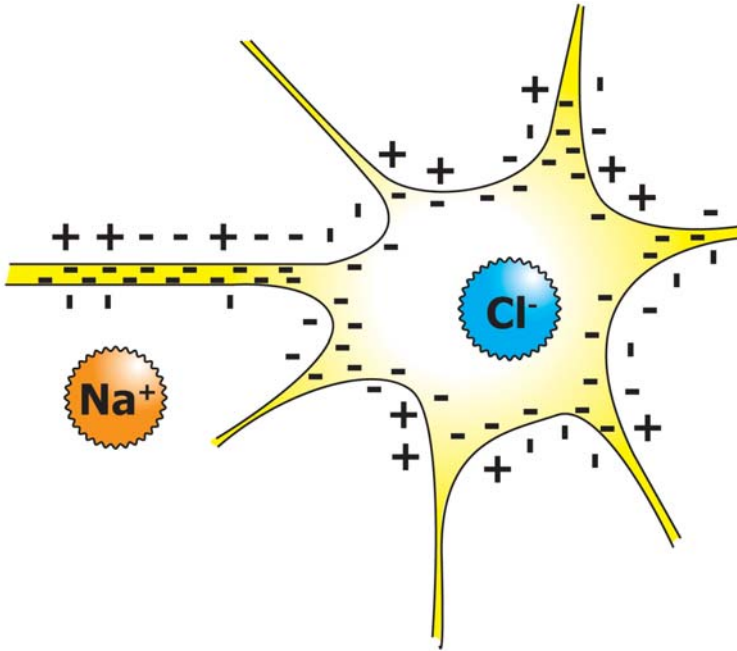
jonowej wykorzystywana jest energia uwalniana w wyniku hydrolizy ATP (adenozynotrójfosforan).

Jony przemieszczają się poprzez błonę również w wyniku dyfuzji przez kanały jonowe. Kierunek dyfuzji jest zawsze zgodny z gradientem stężenia jonów (oznacza to, że jony przemieszczają się z obszaru o większym stężeniu do obszaru o mniejszym ich stężeniu), natomiast określony kanał jonowy może zostać otwarty lub zamknięty.

Kanałami jonowymi nazywamy białka integralne (wbudowane w dwuwarstwę lipidową), posiadające zdolność do kontrolowanego przepuszczania jonów. Ze względu na rodzaj czynnika otwierającego (aktywującego) kanały jonowe dzielimy na trzy grupy:

- kanały zależne od napięcia (najistotniejsze dla przewodzenia sygnałów nerwowych),
- kanały zależne od ligandu,
- kanały aktywowane naprężeniem mechanicznym.

Bardzo istotną cechą kanałów jest ich selektywność, czyli zdolność do przepusz-



Rys. 2. Neuron posiada ujemny potencjał spoczynkowy

czania ściśle określonych typów jonów. Kanały jonowe można podzielić na kationowe lub anionowe, a gdy są jeszcze bardziej „wyspecjalizowane”, to określamy je jako np. sodowe, potasowe itd. Trzeba jednak podkreślić, że np. określenie kanał sodowy oznacza jedynie, iż najlepiej przepuszcza on jony sodu. Oprócz nich mogą przez ten kanał przechodzić – choć znacznie gorzej – także inne kationy.

Niezależnie od rodzaju kanału jego otwieranie się jest procesem typu „wszystko albo nic”. Co za tym idzie – kanał jest albo zamknięty i nie przepuszcza jonów, albo otwarty i wówczas jego przepuszczalność nie jest modulowana przez czynnik otwierający. Należy dodać, że procesy zmiany stanu kanału jonowego są w znacznym stopniu przypadkowe (stochastyczne). Działanie czynnika powodującego otwarcie kanału zmienia jedynie prawdopodobieństwo jego otwarcia.

Kanały zależne od napięcia regulowane są przez potencjał błonowy. Prawdopodobieństwo otwarcia większości z nich wzrasta wraz ze wzrostem potencjału błonowego – mówimy, że są to kanały aktywowane przez depolaryzację. Istnieją jednak również

kanały aktywowane przez hiperpolaryzację błony. Wrażliwość kanałów na potencjał błonowy związana jest z obecnością w strukturze białka kanałowego naładowanego elektrycznie fragmentu (nazywanego czujnikiem potencjału), reagującego na zmiany pola elektrycznego w błonie. Uważa się, że ruch tego czujnika powoduje zmianę konformacji białka kanałowego, prowadzącą do przemieszczenia

tw. bramki aktywacyjnej, otwierającej porę wodną. Innym istotnym elementem kanału zależnego od napięcia jest tzw. bramka inaktywacyjna. Obecność tej bramki powoduje, że jakiś czas po aktywacji (czyli otwarciu bramki aktywacyjnej) kanał przestaje przepuszczać jony – niezależnie od tego, czy napięcie na błonie sprzyja jego otwarciu. Mówimy wówczas, że kanał znajduje się w stanie inaktywacji. Ponowne otwarcie bramki inaktywacyjnej jest możliwe dopiero, gdy potencjał błonowy powróci do wartości spoczynkowej. Aniono- bądź kationoselektywność kanałów (nie tylko zależnych od napięcia) związana jest z istnieniem filtra selektywności. Filtrami tym są dodatnio (kanały anionoselektywne) lub ujemnie (kanały kationoselektywne) naładowane fragmenty cząsteczki białka kanałowego. Dzięki elektrostatycznemu odpychaniu przez filtr „niewłaściwe” jony nie mogą wchodzić do wnętrza kanału. Przypuszcza się, że budowa wnętrza kanału (czyli „ściany” pory wodnej) ma decydujące znaczenie dla jego przepuszczalności specyficznych jonów (sodowych, potasowych itp.).

Kanały zależne od ligandu są klasyfikowane w zależności od rodzaju aktywującej je cząsteczki. Mówimy zatem o kanałach takich jak receptory acetylocholiny, kwasu gamma-aminomasłowego (GABA), dopaminy i wielu innych. Podobnie jak kanały zależne od napięcia są one również selektywne względem różnych rodzajów jonów. **Różnorodność kanałów aktywowanych chemicznie pozwala na wykorzystywanie ich do regulowania wielu procesów zachodzących w żywych komórkach. Uczestniczą one również w transmisji synaptycznej i jej modulacji, w procesie fotorecepcji, regulacji procesów fosforylacji białek itd.**

Kanały aktywowane naprężeniem mechanicznym (mechanoreceptory) ulegają otwarciu w odpowiedzi na pojawienie się w błonie sił odkształcających ją (naprężeń). Dzięki temu uczestniczą w przekształcaniu sygnałów mechanicznych na elektryczne. Występują one między innymi w komórkach rzęsatych (zwanymi również komórkami słuchowymi, rzęskowymi lub włoskowatymi), znajdujących się w błonie podstawnej narządu Cortiego, przetwarzając dźwięki na impulsy elektryczne.

Struktura błony ogranicza dyfuzję jonów Na^+ w znacznie większym stopniu niż jonów K^+ . W stanie spoczynku jony K^+ dyfundują przez kanały 100 razy łatwiej niż jony Na^+ , gdyż potencjał spoczynkowy powoduje niemal całkowite zamknięcie kanałów sodowych. Tak więc jony Na^+ wypompowane na zewnątrz komórki nie przenikną do jej wnętrza tak łatwo jak jony K^+ , które wpompowane do komórki mogą ją łatwo opuścić. Stan równowagi zostaje osiągnięty, gdy odpyły kationów K^+ z komórki jest równy dopływowi kationów Na^+ . W przypadku komórki nerwowej dzieje się tak wtedy, gdy różnica potencjałów wynosi -70mV . Potencjał ten może się nieznacznie różnić w przypadku innych komórek.

Oprócz kationów, swobodnie dyfundować przez błonę mogą aniony Cl^- . Poza opisaną dystrybucją jonów wpływ na potencjał spoczynkowy mają ładunki ujemne białek i fosforanów organicznych, występujących

wewnątrz komórki. Są one zbyt duże, aby mogły dyfundować przez błonę.

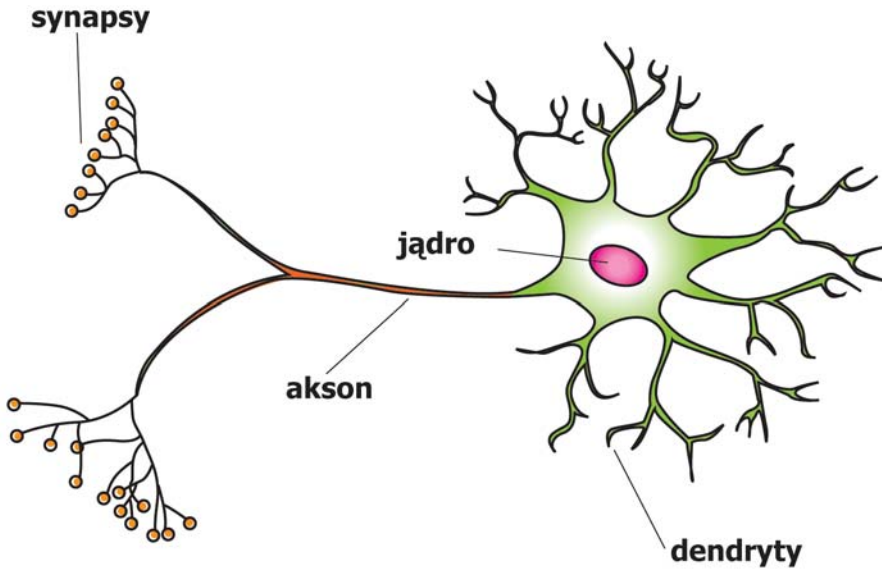
Potencjał spoczynkowy

Znając zasadę działania opisanego powyżej „mikrogeneratorsa” elektrycznego, można sprecyzować funkcję, jaką pełni komórka nerwowa (neuron) w organizmie i wyjaśnić, do czego jest jej potrzebny potencjał spoczynkowy.

W porównaniu z innymi komórkami neuron ma dość nietypowy kształt. Jego ciałem stanowi największy fragment komórki i zawiera liczne organelle, w tym jądro komórkowe. Od ciała komórki nerwowej odchodzą liczne wypustki zwane dendrytami oraz pojedyncza wypustka zwana aksonem (Rys. 3). Dendryty są licznymi, silnie rozgałęzionymi, krótkimi wypustkami, służącymi do odbierania przez neuron bodźców. Również ciało komórki nerwowej może odbierać bodźce. Akson (inaczej neuryt) to długa pojedyncza wypustka, niekiedy rozgałęziona, przewodząca impuls nerwowy z ciała komórki do kolejnego neuronu, komórki mięśniowej lub gruczołowej.

Synapsa chemiczna i elektryczna

Impuls nerwowy jest falą depolaryzacji przebiegającą wzdłuż neuronu. Mówiąc prościej – w błonie otwierają się „furtki”, przez które sód napływa do komórki. Taka fala depolaryzacji, która niesie określoną informację, gdy dotrze do strefy wyjściowej neuronu, czyli zakończenia aksonu, musi zostać przekazana następnej komórce nerwowej lub efektorowi, którym mogą być komórki mięśniowe lub wydzielnicze. Ciągłość czynnościowa jest nieodzownym warunkiem prawidłowego działania układu nerwowego, a więc również całego organizmu. W parze z ciągłością czynnościową nie idzie ciągłość strukturalna, ponieważ poszczególne komórki nerwowe nie są połączone, a co najwyżej stykają się ze sobą. Podobnie jak akson z efektorom. **Obszar styku aksonu z dendrytem kolejnej komórki nerwowej lub efektorom nazywamy synapsą.**



Rys. 3. Budowa neuronu

Synapsy dzielimy na:

- nerwowo-nerwowe;
- nerwowo-mięśniowe;
- nerwowo-gruczołowe;
- nerwowo-platek.

W każdej synapsie możemy wyróżnić szczególne obszary.

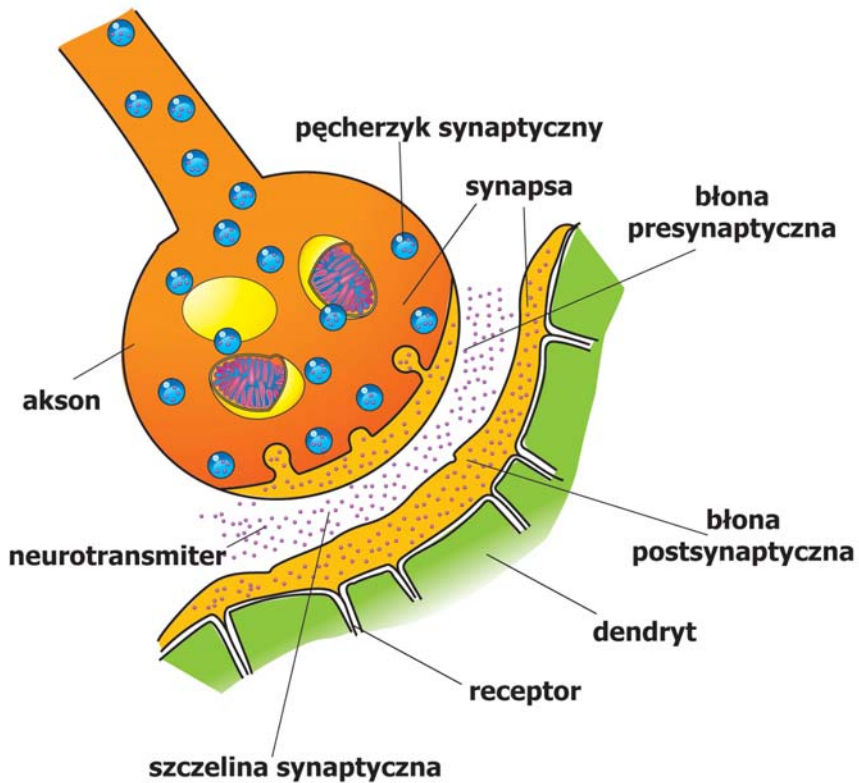
- **Część presynaptyczna** (predsynaptyczna) – bezmielinowe zakończenie aksonu doprowadzające impulsy nerwowe. Zwykle ma kształt kolbki. Jej ważną część stanowi tzw. błona presynaptyczna. W zakończeniu aksonu występuje wiele mitochondriów i drobnych pęcherzyków synaptycznych zawierających tzw. mediator synaptyczny (przebieźnik, transmitter, neuromediator).
- **Szczelina synapsy** – oddziela część presynaptyczną od postsynaptycznej. Wypełniona jest materiałem śródsynaptycznym. Występują tu wolne jony Ca^{2+} oraz różne enzymy.
- **Część postsynaptyczna** (zasynaptyczna). Błoną postsynaptyczną nazywamy błonę komórki odbiorczej – nerwowej, mięśniowej lub gruczołowej. Część tej błony, znajdująca się naprzeciwko presy-

naptycznej części aksonu jest nazywana błoną subsynaptyczną. Tu znajdują się kanały jonowe oraz swoiste, chemiczne struktury białkowe, tzw. błonowe receptory molekularne.

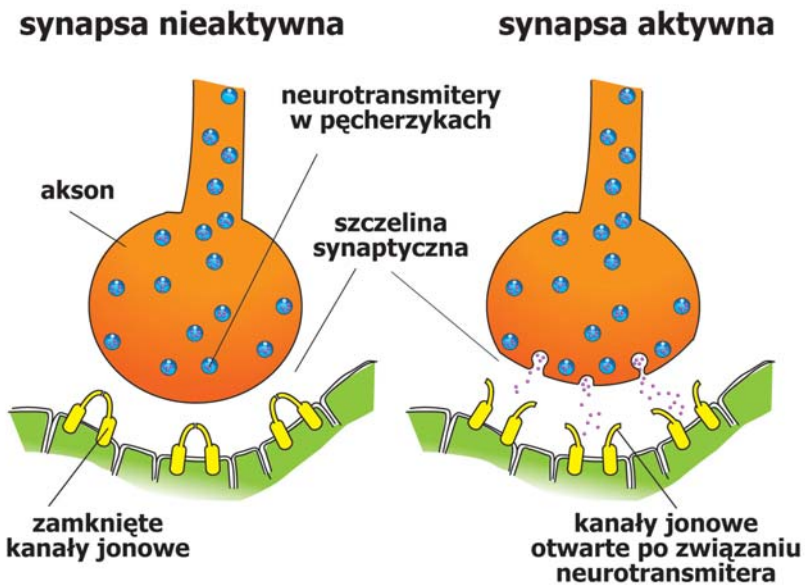
Większość synaps przewodzi impuls nerwowy na zasadzie chemicznej. Istnieją również synapsy elektryczne.

W synapsach chemicznych najbardziej istotnym momentem w przekazywaniu impulsu nerwowego jest zmiana jego nośnika. W części presynaptycznej nośnikiem informacji są potencjały czynnościowe. Zaś w obrębie samej synapsy dochodzi do zmiany nośnika elektrycznego na chemiczny. Dzieje się tak dzięki transmitterom synaptycznym (przebieźnikom synaptycznym, neuromediatorom).

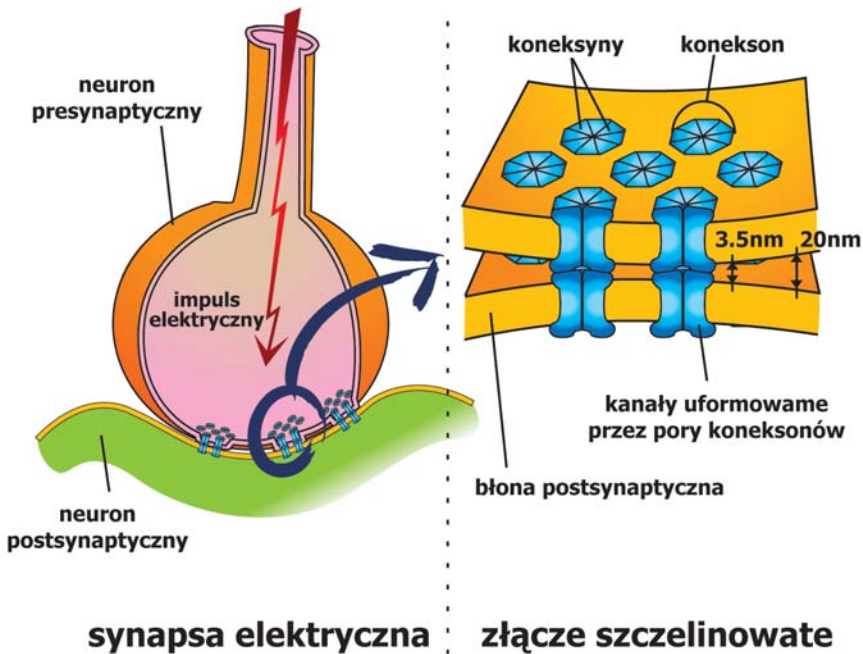
Synapsy chemiczne charakteryzują się szczeliną synaptyczną o szerokości 30–50 nm, w której brak jest ciągłości strukturalnej pomiędzy elementami presynaptycznymi i postsynaptycznymi. Tutaj elementem przenoszącym pobudzenie jest transmitter chemiczny. Przewodzenie jest jednokierunkowe. Opóźnienie synaptyczne jest znaczne i sięga 0,3–0,5 ms. Opóźnienie



Rys. 4. Budowa synapsy



Rys. 5. Budowa synapsy chemicznej



synapsa elektryczna

złącze szczelinowate

Rys. 6. Budowa synapsy elektrycznej

związane jest z czasem trwania zachodzących w synapsie procesów koniecznych dla przekazania impulsu nerwowego. Są nimi:

- otwarcie kanałów wapniowych;
- sekrecja transmitera z obszaru presynaptycznego;
- dyfuzja transmitera przez szczelinę synapsy;
- wiązanie się transmitera z receptorem błonowym;
- zmiany przepuszczalności błony postsynaptycznej dla jonów;
- wytworzenie potencjałów czynnościowych w postsynaptycznej części synapsy.

Oprócz synaps chemicznych w układzie nerwowym występują również synapsy elektryczne. Mają one szczelinę synapsy o znacznie mniejszej szerokości, bo wynoszącej do 2 nm. W synapsach elektrycznych jest zachowany bezpośredni kontakt między elementami pre- i postsynaptycznymi. Elementem przenoszącym pobudzenia w tego rodzaju synapsie jest potencjał elektryczny. W przeciwieństwie do synapsy che-

micznej w synapsie elektrycznej opóźnienie przebiegu impulsu nerwowego jest niewielkie. Zależy ono jedynie od prędkości przenoszenia elektrotonicznego, zachodzącego na niedużą odległość między elementami post- i presynaptycznymi. W synapsach elektrycznych możliwe jest przewodzenie dwukierunkowe.

Potencjał czynnościowy

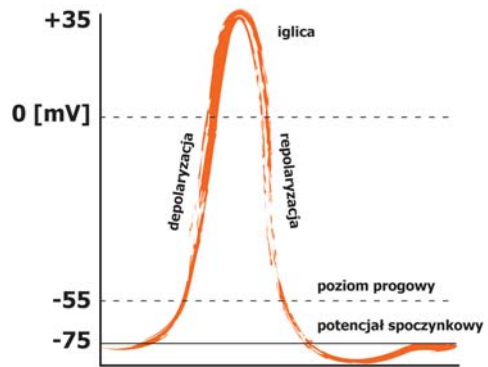
Potencjał spoczynkowy istniejący w neuronie umożliwia wykonanie pracy związanej z odebraniem bodźca i przewodzeniem informacji do kolejnych komórek. Taki pojedynczy „bit” informacji zwany jest **impulsem nerwowym**. Warunkiem przewodzenia impulsu nerwowego w aksonie jest odebranie bodźca wystarczająco silnego (ponadprogowego). Bodźcem wywołującym impuls nerwowy może być pobudzenie chemiczne, elektryczne lub mechaniczne neuronu. Jeśli bodziec będzie słaby, czyli podprogowy, to wywoła on jedynie lokalną zmianę potencjału na skutek zwiększenia przepuszczalności

kanałów jonowych Na^+ . Bodziec wystarczająco silny wywoła potencjał czynnościowy (Rys. 7), czyli takie zaburzenie potencjału spoczynkowego neuronu, które spowoduje przewodzenie tego zaburzenia wzdłuż aksonu. Depolaryzacja błony o około 15mV (czyli do -55mV) nie powoduje powstania impulsu nerwowego – jest to pobudzenie podprogowe. Silniejsza depolaryzacja spowoduje otwarcie kanałów Na^+ i dostanie się jonów Na^+ do komórki, a tym samym całkowitą depolaryzację, a nawet chwilową odwrotną polaryzację do $+35\text{mV}$ błony. Efekt ten zwany jest iglicą.

Obszar objęty depolaryzacją rozprzestrzenia się wzdłuż aksonu. W obszarze sąsiadującym z miejscem depolaryzacji także dochodzi do depolaryzacji, a następnie do repolaryzacji. W ten sposób zjawisko depolaryzacji z repolaryzacją rozchodzi się wzdłuż ciała neuronu. Repolaryzacja polega na zamknięciu kanału Na^+ i otwarciu kanału K^+ , co pozwala na przywrócenie ujemnego potencjału wewnątrz komórki. Cykl depolaryzacji i repolaryzacji trwa około 1 milisekundę. W czasie kolejnych kilku milisekund neuron powraca do potencjału spoczynkowego i jest przejściowo mniej wrażliwy na bodźce.

Zależne od napięcia kanały sodowe i potasowe są odpowiedzialne za zmiany przepuszczalności błony wielu typów komórek pobudliwych w trakcie potencjału czynnościowego. Jeśli bodziec pobudzający błonę ma wielkość ponadprogową, to powoduje otwarcie odpowiednio dużej ilości kanałów sodowych i gwałtowny wzrost przewodnictwa błony dla jonów sodowych. Kanały sodowe po krótkim czasie ulegają inaktywacji i przewodnictwo błony dla sodu szybko maleje. Jednocześnie z kanałami sodowymi otwierają się kanały potasowe. Proces ten jest jednak wolniejszy. Błona później osiąga maksymalną wartość przewodnictwa dla jonów potasu.

Obserwując z zewnątrz błonę komórkową neuronu, można stwierdzić, że jest ona naładowana dodatnio w stanie spoczynku, a impuls nerwowy to przemieszczenie się ładunku

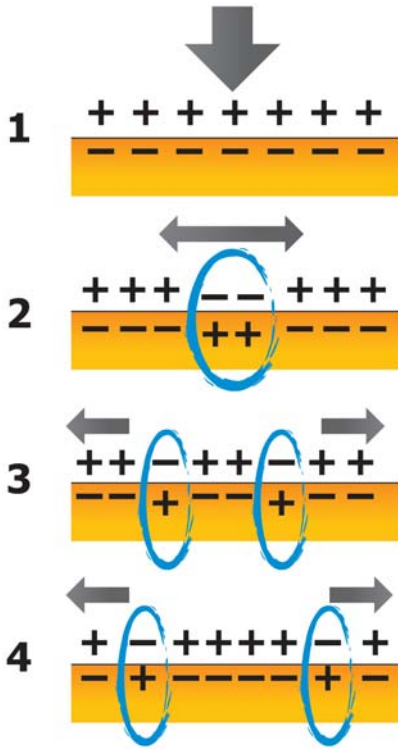


Rys. 7. Przebieg pobudzenia neuronu

ku ujemnego po jej powierzchni (Rys. 8). Warto dodać, że ze względu na milisekundowy czas repolaryzacji błony (czyli osiągnięcia stanu wyjściowego) przewodzony sygnał nie może się cofnąć. Przewodzenie sygnałów nerwowych można porównać do ładunku wybuchowego z lontem. Po podpaleniu lontu (impuls ponadprogowy i generacja fali potencjału czynnościowego) sygnał przemieszcza się tylko w jednym kierunku, aż osiągnie efektor (czyli bombę), co wywołuje określoną reakcję (wybuch ładunku).

Model elektryczny komórki nerwowej

Impuls biegnie wzdłuż komórki nerwowej, aż dociera do synapsy, czyli szczeliny znajdującej się między dwoma neuronami. Sygnał elektryczny musi „przeskoczyć” przez szczelinę. W tym celu może skorzystać z pośrednictwa neuroprzekaźnika. Kolejno pierwszy neuron uwalnia do szczeliny synapsy cząsteczki neuroprzekaźnika, np. acetylocholiny. Acetylocholina wiąże się z receptorami błony komórkowej (postsynaptycznej) drugiego neuronu, otwierając znajdujące się w niej kanały, przez które napływają do komórki dodatkowo naładowane jony. To powoduje depolaryzację (zniesienie ładunku elektrycznego) błony (postsynaptycznej) komórki przyjmującej impuls nerwowy. Depolaryzacja jest związana z powstaniem nowego impulsu elektrycznego, który zaczyna przemieszczać się wzdłuż kolejnego neuronu. W ten sposób



Rys. 8. Rozchodzenie się fali pobudzenia po powierzchni komórki.

komórki nerwowe przekazują sobie pobudzenie za pomocą cząsteczek chemicznych.

Czucie można podzielić na powierzchniowe (eksteroceptywne), głębokie (proprioceptywne), trzewne (interoceptywne) oraz zmysłowe (teleceptywne).

Czucie eksteroceptywne (powierzchniowe) odbierane jest przez receptory umieszczone w skórze. Pozwalają one odczuwać:

- dotyk i ucisk (włókna z osłonką mielinową utworzoną przez komórki glejowe, chroniące i odżywiający komórkę nerwową),
- temperaturę (włókna z osłonką mielinową),
- ból (w percepcji bólu uczestniczą dwa rodzaje włókien – posiadające i pozbawione otoczki mielinowej).

Uszkodzenie tkanki równocześnie pobudza włókna mielinowe i włókna bezmielinowe. Pierwsze przewodzą sygnał elek-

tryczny z szybkością kilkunastu metrów na sekundę. Włókna, które takiej osłonki nie mają, przewodzą impulsy zdecydowanie wolniej, z prędkością od 0,5 do 2 metrów na sekundę. Dlatego jeden bodziec bólowy jest odbierany przez mózg jako dwa sygnały – jeden szybki, silny i ostry, drugi opóźniony, bardziej rozlany i mniej precyzyjnie zlokalizowany. By się przekonać, że rzeczywiście tak jest, wystarczy się ukłuć szpilką albo innym ostrym przedmiotem.

Czucie proprioceptywne (głębokie) informuje nas o pozycji poszczególnych części ciała w przestrzeni (włókna z osłonką mielinową), czucie interoceptywne (trzewne) odbiera informacje z narządów wewnętrznych (dwa rodzaje włókien: niektóre z osłonką, inne bez), a czucie teleceptywne (zmysłowe) rejestruje informacje odbierane przez oczy, uszy, nos etc., czyli przekazuje wiadomości o tym, co dzieje się na zewnątrz nas (zarówno włókna z osłonką, jak i bez osłonki mielinowej).

Dopiero mózg łączy ze sobą te odrębne bodźce czuciowe i tworzy z nich percepcję, czyli uczucie docierające do naszej świadomości.

PIŚMIENNICTWO

- A. Bochenek, M. Reichel, *Anatomia człowieka*, tom 5, Warszawa, PZWL 2007.
- *Anatomia i fizjologia człowieka*, pod red. B. Gołęba, W. Z. Traczyka, Łódź, Jaktorów 1997.
- L. Janiszewski, G. Barbacka-Surowiał, J. Surowiał, *Neurofizjologia porównawcza*, Warszawa, PWN 1993.
- *Biofizyka dla biologów*, pod red. W. Leyko, M. Bryszewskiej, Warszawa, PWN 1997.
- *Wybrane zagadnienia z biofizyki*, pod red. S. Miększa, A. Hendricha, Wrocław, Volumes 1998.

DAWID BASAK

Nauczanie Fizyki i Matematyki, Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, ul. Grudziądzka 5/7, Toruń

dr KARINA KUBIAK

Department of Chemical and Process Engineering, University of Strathclyde, James Weir Building, 75 Montrose Street, Glasgow G1 1XJ
Zakład Biofizyki i Fizyki Medycznej, Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, ul. Grudziądzka 5/7, Toruń