

Katedra i Zakład Biofizyki

Potencjały błonowe

- [Potencjał równowagi](#)
- [Potencjał błonowy](#)
- [Potencjał spoczynkowy komórki](#)
- [Potencjał czynnościowy komórki](#)

Potencjał równowagi

Jeśli po obu stronach przegrody przepuszczalnej dla jonów wytworzyć różnicę stężeń tych jonów, to na skutek dyfuzji będą one przechodziły z przedziału o stężeniu wyższym do przedziału o stężeniu niższym. Przepływ jonów pomiędzy przedziałami można zatrzymać wytwarzając pomiędzy nimi odpowiednią różnicę potencjałów. Pole elektryczne będzie powodowało ruch jonów (migrację) w stronę przeciwną do kierunku ich ruchu związanego z dyfuzją. W ten sposób może dojść do równowagi pomiędzy strumieniem dyfuzyjnym i migracyjnym. Tym samym całkowity strumień przez przegrodę będzie równy zero i stężenia jonów w obu przedziałach przestaną się zmieniać. Wartość różnicy potencjałów przy której dochodzi do takiej równowagi nazywamy **potencjałem równowagi (Nernsta)**.

Rozważmy sytuację, gdy w roztworze znajdują się dwa rodzaje jonów (np. Na^+ i Cl^-) zaś przegroda jest selektywna, to znaczy przepuszcza tylko jeden rodzaj jonów (np. Na^+). Wówczas dyfuzyjne przechodzenie tych jonów z jednego przedziału do drugiego powoduje, że pomiędzy przedziałami wytwarza się różnica potencjałów elektrycznych. W układzie takim transport jonów będzie zachodził zatem do chwili, gdy rosnąca różnica potencjałów nie osiągnie wartości potencjału równowagi dla tych jonów. Wartość potencjału równowagi zależy rzecz jasna od wartości stężeń przenikających jonów w obu przedziałach (oznaczonych jako c_1 i c_2). Matematycznie potencjał równowagi (np. dla rozpatrywanych jonów sodowych) przedstawia wzór Nernsta:

$$V_{\text{Na}} = RT/zF \ln(c_1/c_2)$$

gdzie R oznacza stałą gazową, T - temperaturę, z - wartościowość jonu, zaś F - stałą Faradaya.

Występowanie potencjału równowagi (V_r) musi być brane pod uwagę, gdy rozważamy przepływ prądu w układzie z błoną selektywną.

Potencjał Nernsta pełni bowiem w takim układzie rolę dodatkowej siły elektromotorycznej. Schemat elektryczny takiego układu przedstawia rysunek obok. Ze względu na przeciwny kierunki siły elektromotorycznej (E) i potencjału równowagi dla przewodzących prąd jonów równanie opisujące natężenie płynącego prądu będzie miało postać:

$$J = g(E - V_r)$$

gdzie g jest przewodnością elektryczną (odwrotnością oporu) przewodzącego ośrodka. Widać więc, że o wielkości prądu danego jonu decyduje różnica pomiędzy napięciem zasilającym i potencjałem równowagi.

Strumień migracyjny równowagi dyfuzyjny

Układ elektryczny z SEM i potencjałem równowagi

Potencjał błonowy

Potencjałem błonowym lub membranowym nazywamy różnicę potencjałów pomiędzy wnętrzem komórki i jej otoczeniem ($V_m = V_w - V_z$).

Wygodnie jest przyjąć (i taka jest obowiązująca konwencja), że potencjał po zewnętrznej stronie błony wynosi zero. W takim razie napięcie pomiędzy obu stronami błony jest po prostu potencjałem wnętrza komórki mierzonym względem jej otoczenia. Zasada pomiaru wartości potencjału membranowego jest bardzo prosta. Przykład układu pomiarowego, jaki może być użyty w tym celu jest przedstawiony na rysunku obok. Jak widać układ ten składa się z miliwoltomierza oraz pary elektrod, z których jedna jest zanurzona w roztworze otaczającym badaną komórkę, druga natomiast, umieszczona w pipecie szklanej przebijającej błonę komórkową, ma dostęp do wnętrza komórki. Błona komórki przylega szczelnie do szkła, z którego jest zrobiona pipeta i nie dochodzi dzięki temu do bezpośredniego elektrycznego kontaktu pomiędzy wnętrzem i otoczeniem komórki. Miliwoltomierz mierzy różnicę potencjałów pomiędzy wnętrzem i otoczeniem komórki, czyli potencjał błonowy.

Pomiar potencjału błonowego

Potencjał spoczynkowy komórek

Z doświadczenia wiadomo, że większość żywych komórek utrzymuje stałą wartość różnicy potencjałów pomiędzy swym wnętrzem a otoczeniem. Ten stały potencjał wnętrza komórki względem jej otoczenia nazywamy **potencjałem spoczynkowym**. Zdolność komórki do utrzymywania stałej wartości potencjału spoczynkowego związana jest bezpośrednio z istnieniem różnicy stężeń niektórych jonów pomiędzy wnętrzem i otoczeniem komórki. Dla większości komórek jonami "najważniejszymi" z punktu widzenia potencjału spoczynkowego są jony sodu, potasu oraz chlorkowe. "Typowy" - czyli najczęściej spotykany - rozkład stężeń jonów jest taki, że na zewnątrz komórki stężenie jonów sodowych i chlorkowych jest większe niż wewnątrz komórki, natomiast stężenie jonów potasu jest większe wewnątrz komórki. Stała wartość potencjału błonowego może być utrzymana jedynie wtedy, gdy całkowity ładunek przepływający przez błonę jest równy zeru (w przeciwnym razie następowalaby zmiana ładunku błony i związana z tym zmiana potencjału). Błona komórki jest przepuszczalna dla jonów - w stanie spoczynku najlepiej przepuszczane są jony potasu, gorzej chlorkowe, najgorzej zaś sodowe. Wobec istniejących różnic stężeń indywidualne strumienie każdego z jonów nie są równe zero. W związku z tym potencjał spoczynkowy może być utrzymany, gdy suma ładunków przenoszonych przez jony w jednostce czasu (suma prądów jonowych) jest równa zero:

Rodzaj jonu	Stęż. zewn. kom.	Stęż. wewn. kom.
K^+	4 mM	140 mM
Na^+	144 mM	ok. 10 mM
Cl^-	114 mM	ok. 4 mM

$$I_{\text{Na}} + I_{\text{K}} + I_{\text{Cl}} = 0.$$

Oznacza to, że w stanie spoczynku, każdy z prądów jonowych ma różną od zera, stałą wartość, ich suma zaś wynosi zero. Stan spoczynku na błonie nie jest zatem stanem równowagi lecz stanem stacjonarnym, czyli takim w którym mimo braku równowagi termodynamicznej wartości parametrów opisujących stan układu nie zmieniają się.

Im większa jest przepuszczalność błony dla danego typu jonu, tym bardziej wartość potencjału spoczynkowego będzie zbliżona do potencjału Nernsta dla tego typu jonu. W związku z tym potencjał spoczynkowy jest zbliżony do potencjału Nernsta dla jonów potasowych, gdyż właśnie dla tych jonów błona jest najbardziej przepuszczalna w stanie spoczynku.

Mimo że prądy jonowe płynące przez błonę komórki w stanie spoczynku mają małe wartości, to jednak po pewnym czasie doprowadziłyby one do wyrównania wewnątrz- i zewnątrzkomórkowych stężeń jonów. Utrzymanie stałej różnicy stężeń jonów pomiędzy wnętrzem i otoczeniem komórki jest możliwe dzięki aktywnemu (tzn. wymagającego nakładu energii) transportowi zachodzącemu w przeciwnym - niż dyfuzja - kierunku. Klasycznym przykładem takiego aktywnego mechanizmu transportu jest pompa sodowo-potasowa.

Potencjał czynnościowy komórek

Niektóre z komórek, oprócz utrzymywania potencjału spoczynkowego są zdolne dodatkowo do szybkiej i krótkotrwałej zmiany potencjału błonowego - będziemy je nazywali komórkami pobudliwymi. Komórki nie posiadające tej zdolności nazywamy niepobudliwymi. Chwilową, impulsową zmianę potencjału błony komórkowej będziemy nazywali **potencjałem czynnościowym**. Potencjał czynnościowy powstaje w komórce pobudliwej, gdy potencjał jej błony przekroczy pewną graniczną wartość nazywaną progami pobudzenia. Warto zauważyć, że wielkość bodźca pobudzającego ma znaczenie jedynie dla powstania pojedynczego potencjału czynnościowego - nie ma ona natomiast wpływu na jego przebieg. Zmiany potencjału błonowego podczas trwania potencjału czynnościowego w przykładowej komórce nerwowej przedstawione są na rysunku obok. Jak widać "klasyczny" potencjał czynnościowy składa się z kilku faz:

1. gwałtownego wzrostu potencjału błonowego (depolaryzacji)
2. nieco powolniejszego spadku potencjału błony (repolaryzacji)
3. okresu, gdy potencjał błony jest niższy od potencjału spoczynkowego (hiperpolaryzacji)

Potencjał czynnościowy

Prąd sodowy, potasowy i całkowity

Z rozważań dotyczących potencjału spoczynkowego wynika, że aby doszło do zmiany potencjału błonowego to musi przez błonę popłynąć niezrównoważony prąd jonowy. Biorąc pod uwagę przedstawiony powyżej przebieg zmian potencjału błony jest jasne, że kształtujące go prądy jonowe muszą zmieniać się w czasie. W fazie depolaryzacji wzrost potencjału błony jest związany z napływem do wnętrza komórki dodatnich jonów (w komórce nerwowej są to jony sodowe). W czasie repolaryzacji ustaje dokomórkowy prąd sodowy, wzrasta natomiast odkomórkowy prąd potasowy. Wpływ ładunków dodatnich powoduje zmniejszanie się potencjału błony. Prąd potasowy płynie również wówczas, gdy potencjał błony osiąga wartość potencjału spoczynkowego - powoduje to, że komórka wchodzi w fazę hiperpolaryzacji. Dopiero gdy ustanie prąd potasowy potencjał błony powraca do wartości spoczynkowej. Przebieg zmian prądów: sodowego i potasowego w trakcie potencjału czynnościowego przedstawiony jest na rysunku obok. Jak wynika ze wzoru (2) na chwilowe wartości prądów płynących przez błonę komórkową mają wpływ dwa czynniki: chwilowa przepuszczalność błony dla danego typu jonów oraz aktualna wartość potencjału błonowego. Matematyczny model potencjału czynnościowego uwzględniający oba wymienione powyżej czynniki został opracowany przez Hodgkina i Huxley'a.

Zmiany przepuszczalności błony dla poszczególnych typów jonów są możliwe dzięki obecności w błonie białek posiadających zdolność do regulacji przepływu przez nie jonów (**kanałów jonowych**). Otwieranie się lub zamykanie tych kanałów (selektywnie przepuszczających dany typ jonów) umożliwia komórce kontrolę nad przepływem prądów poszczególnych jonów.

Wyjaśnić tu jednocześnie należy, że wielokrotna generacja potencjałów czynnościowych - umożliwiającą przepływ jonów sodu i potasu w kierunku zgodnym z różnicą stężeń - w konsekwencji prowadziłaby do wyrównania zewnątrz- i wewnątrzkomórkowych stężeń tych jonów. We wszystkich komórkach pobudliwych istnieje jednak mechanizm [aktywnego transportu](#) pompujący te jony wbrew różnicy stężeń i utrzymujący w ten sposób stężenia jonów na stałym poziomie.

[Powrót](#)

Copyright © 1998 Katedra i Zakład Biofizyki

Copyright ©: 1998-2010 Katedra i Zakład Biofizyki

Uwagi wysłesz tu: [LF](#)

Ostatnia aktualizacja: 6.3.2012