

Klidový membránový potenciál

Klidový membránový potenciál je stav nestimulované buňky, napětí na polarizované semipermeabilní membráně. Toto napětí je výsledkem **rovnováhy** ustavené na základě působení **koncentračního a elektrického gradientu** jednotlivých iontů. Hodnoty tohoto napětí se pohybují v rozmezí **-50 až -90 mV^[1]** (v závislosti na tkáni).

Téměř všechny buňky jsou **úplně polarizované**, jinak řečeno jsou schopny **vytvořit a udržovat** klidový membránový potenciál. V těle se však nacházejí buňky, které nazýváme jako buňky **neúplně polarizované** (např. pacemakerové buňky), které neustále mění svou polaritu a tím **nejsou schopny KMP vytvořit**.

Udržování KMP

KMP je udržován třemi mechanismy:

1. rozdílné koncentrace iontů;
2. rozdílná propustnost membrány pro různé ionty;
3. činnost Na⁺/K⁺ ATPázy.

Rozdílné koncentrace iontů

V intracelulárním a extracelulárním prostředí jsou **odlišné koncentrace iontů**, což podmiňuje i **odlišný náboj** a semipermeabilitu membrány.

To je také jeden z faktorů, který podmiňuje semipermeabilitu biologické membrány (volná průchodnost látek slabě polarizovaných a rozpustných v tucích – voda, glycerol, CO₂, urea, a to v místech zakřivení membrány nebo při změně elektrického pole).

Uvnitř buněk je převaha záporně nabitých bílkovin **A⁻** a **K⁺** iontů, dále se zde vyskytují ve velmi malém množství ionty Cl⁻ a Na⁺. V prostoru **extracelulárním** je naopak převaha **Na⁺** a **Cl⁻** iontů a v malém množství se zde vyskytují ionty K⁺.

Vnitřní prostředí buňky je **záporné** oproti **vnějšímu**, které má náboj **kladný**.

Záporný náboj intracelulárního prostoru je podmíněn především **bílkovinami, které nejsou schopny přecházet skrz membránu**. Dále je udržován **stále otevřenými iontovými kanály** pro K⁺, které v malé míře vystupují ven z buňky dle svého koncentračního gradientu. Tím vytváří elektrický gradient, který se snaží tomuto proudu draselných iontů bránit. Čím je přestup draselných iontů do extracelulárního prostoru větší, tím je elektrický gradient vyšší. Jakmile dojde k vyrovnání koncentračního gradientu, vznikne rovnováha mezi prouděním K⁺ iontů z buňky a do buňky.

Draslík má menší hydratační obal (= větší molekula = menší obal) a proto lépe volně prochází membránou.

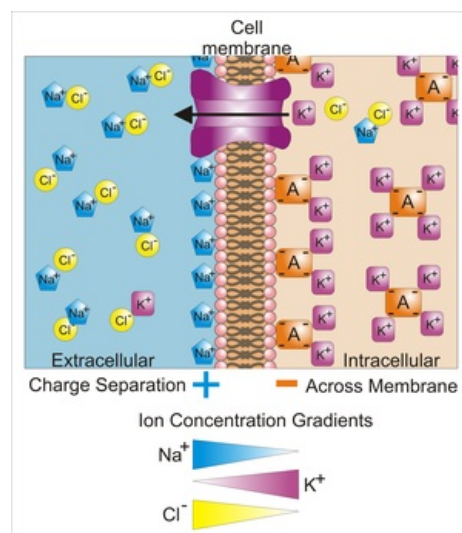
Zastoupení iontů v organismu [2]

	intracelulárně (mmol/l)	extracelulárně (mmol/l)
Na ⁺	10-14	140
K ⁺	140-160	4,4
Cl ⁻	3,4	108
Anionty proteinů A ⁻	155	7
Ca ²⁺	0	2,4
HCO ₃ ⁻	7-10	24

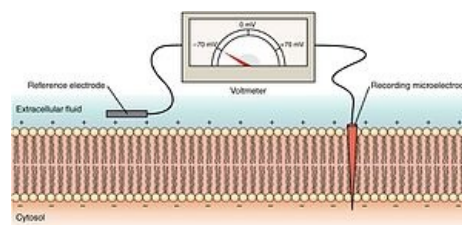
Rozdílná propustnost membrány pro různé ionty

Iontové kanály jsou **propustné pro draselné ionty**, ale téměř úplně nepropustné pro ionty sodné. **Permeabilita** membrány pro jednotlivé ionty je **ovlivňována koncentrací Ca²⁺ iontů**. Ty ovlivňují velikost potenciálu zprostředkovaně – regulací permeability iontových kanálů pro K⁺, Na⁺ a Cl⁻.

Činnost Na⁺/K⁺ ATPázy



Rozložení iontů při KMP



Měření KMP na membráně

Kromě draselných iontů uniká z extracelulárního prostoru do intracelulárního určité množství Na^+ iontů (mnohem nižší, než K^+). Tato pumpa **udržuje dynamickou rovnováhu** pohybu kladných iontů jejich aktivním transportem zpět v poměru **2 K^+ dovnitř a 3 Na^+ ven**.

Tato funkce způsobuje další **posun napětí o cca 5 až 10 mV** směrem k negativnějším hodnotám. Na^+/K^+ ATPáza udržuje rovnovážný stav koncentrací iontů – je tedy z dlouhodobého hlediska důležitá pro udržení klidového potenciálu na membráně zejména u vzrušivých buněk (neurony, svalová vlákna).

NERNST EQUATION

$$V_m = 61.5 \times \log \left(\frac{[\text{ION}]_{\text{OUT}}}{[\text{ION}]_{\text{IN}}} \right) \sim \text{IONS with SINGLE CHARGE e.g. Na}^+$$
$$V_m = 30.75 \times \log \left(\frac{[\text{ION}]_{\text{OUT}}}{[\text{ION}]_{\text{IN}}} \right) \sim \text{DOUBLE CHARGE e.g. Ca}^{2+}$$



Výpočet KMP

Nernstova rovnice

Průchod K^+ iontů přes membránu indukuje elektrické napětí. Toto **napětí vytvoří protiváhu chemické síle** za vzniku dynamické rovnováhy (stejný počet K^+ prochází dovnitř i ven). Takto vzniklé napětí nám umožňuje spočítat Nernstova rovnice:

$$E = \frac{RT}{zF} \ln \frac{[X_o]}{[X_i]}$$

E – membránový potenciál, **R** – molární plynová konstanta ($8,314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$), **T** – teplota v kelvinech (teplota ve $^{\circ}\text{C} + 273,15$), **z** – náboj jednoho iontu, **F** – Faradayova konstanta ($9,6485 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$), **[X_o]**, **[X_i]** – koncentrace daného iontu extracelulárně a intracelulárně.

Tato rovnice předpokládá, že přes membránu prochází pouze ionty K^+ .

Podrobnější informace naleznete na stránce Nernstova rovnice.

Goldmannova rovnice

Vzhledem k tomu, že semipermeabilní membrána není propustná pouze pro jeden iont, nelze výpočet z Nernstovy rovnice použít jako přesný. Přesnějšího výpočtu dosáhneme, pokud vezmeme v úvahu **propustnost i pro ostatní ionty**. Reálná propustnost pro ionty je přibližně 90 % pro K^+ , 3 % pro Na^+ a 7 % pro Cl^- . Takový výpočet nám umožňuje Goldmannova rovnice:

$$E = \frac{RT}{F} \ln \frac{P_{\text{Na}^+} [\text{Na}_o^+] + P_{\text{K}^+} [\text{K}_o^+] + P_{\text{Cl}^-} [\text{Cl}_i^-]}{P_{\text{Na}^+} [\text{Na}_i^+] + P_{\text{K}^+} [\text{K}_i^+] + P_{\text{Cl}^-} [\text{Cl}_o^-]}$$

E – membránový potenciál, **R** – molární plynová konstanta ($8,314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$), **T** – teplota v kelvinech (teplota ve $^{\circ}\text{C} + 273,15$), **z** – náboj jednoho iontu, **F** – Faradayova konstanta ($9,6485 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$), **P_x** – relativní propustnost pro daný iont.

Hodnota vypočítaná Goldmannovou rovnicí je již velmi podobná skutečné hodnotě, která je ještě lehce ponížena funkcí Na^+/K^+ ATPázy.

Podrobnější informace naleznete na stránce Goldmannova rovnice.

Odkazy

Související články

- Membránový potenciál
- Buněčná membrána
- Iontové kanály
- Iontové pumpy
- Sodno-draselná pumpa

Použitá literatura

- KITTNAR, Otomar, et al. *Lékařská fyziologie*. 1. vydání. Praha : Grada, 2011. 790 s. ISBN 978-80-247-3068-4.
- MYSLIVEČEK, Jaromír, et al. *Základy neurovědy*. 2. vydání. Praha : TRITON, 2009. 390 s. ISBN 978-80-7387-088-1.
- TROJAN, Stanislav, et al. *Lékařská fyziologie*. 4. vydání. Praha : Grada, 2003. 772 s. ISBN 80-247-0512-5.

Reference

1. KURIŠČÁK, Eduard. *Interaktivní učebnice fyziologie* [online]. ©2011. [cit. 15.6. 2011]. <<https://fyzi-share.lf1.cuni.cz/Ucebnice/texts/Wiki%20Pages/Membr%C3%A1nov%C3%BD%20potenci%C3%A1l.aspx/>>.
2. KITTNAR, Otomar. *Lékařská fyziologie*. 1. vydání. Praha : Grada, 2011. 790 s. ISBN 978-80-247-3068-4.