

Elektrochemický potenciál protonů

V buněčném dýchání používá protonová pumpa energii k přepravě protonů z matrix mitochondrie skrz vnitřní mitochondriální membránu. Je to aktivní pumpa, která umožňuje vytvoření koncentračního gradientu zevně vnitřní mitochondriální membrány. Rozdíly v pH a v elektrickém náboji vytvářejí elektrochemický potenciál, který vyrábí pro buňku energii podobným principem jako baterie.

Definice

Elektrochemický potenciál je tedy gradient iontu, nebo protonů (elektrochemický gradient), který se může pohybovat přes membránu. V biologických procesech určuje směr, kterým se bude tento iont, nebo proton ubírat, ať už difúzí nebo aktivním transportem.

Vzorec

- Elektrochemický potenciál je definován jako:

$$\Psi = -\Delta\phi + (2,3 RT/F) \log (C_{\text{kation,ex}} / C_{\text{kation,in}})$$

Kde:

$\Delta\phi$ je elektrický potenciál přes membránu (ve V)

R je plynová konstanta ($8,314 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$)

T je absolutní teplota (v K)

F je Faradayova konstanta ($96,49 \text{ kC}\cdot\text{mol}^{-1}$)

- Samotný elektrochemický potenciál se tedy skládá ze dvou částí.

- Z elektrického potenciálu, který je způsobený změnou náboje napříč lipidovou membránou.
- Z rozdílu chemických koncentrací na obou stranách membrány.

Tendence elektricky nabitě částice projít přes membránu závisí na rozdílu elektrochemických potenciálů na každé straně membrány. Rozdíl chemických koncentrací se může přirovnat k potenciální energii, která je k dispozici pro práci uvnitř buňky. Tato energie, střídaná ve formě chemického potenciálu, se ukládá procesem oxidativní fosforylace do ATP k pozdějšímu využití.

Membrána mitochondrie je nepropustná pro protony směrem do matrix, proto se zde akumuluje více protonů, než-li v samotném matrix. Přebytek protonů je poté spláchnut přes ATP-synthasu při oxidativní fosforylaci a vzniku ATP.

Nulový elektrochemický potenciál

Elektrochemický potenciál iontu je nulový na úrovni rovnovážného/reverzního potenciálu (známého také jako Nernstův potenciál), kdy hodnota membránového potenciálu je v elektroosmotické rovnováze. To znamená, že pro tento membránový potenciál elektrická síla způsobena rozdílem potenciálů a chemická síla způsobena rozdílem koncentrací (nebo osmotickým rozdílem) jsou si rovné a působí v opačném směru. Množství vcházejících a vycházejících iontů je stejné.

Pokud mluvíme pouze o přechodu jednoho iontu, můžeme určit hodnotu rovnovážného potenciálu pomocí Nernstovy rovnice.

Nernstova rovnice

$$E_X = \frac{R \cdot T}{n \cdot F} \cdot \ln \frac{[X]_e}{[X]_i}$$

E_X je elektrochemický rovnovážný potenciál iontu X (V)

R je univerzální plynová konstanta [$8.314472 \text{ J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$]

T je absolutní teplota v K (tělesná teplota $37^\circ\text{C} = 310.15 \text{ K}$)

n je mocnost iontu (např. +1 pro K^+ a Na^+ , +2 pro Ca^{2+} , -1 pro Cl^- apod.)

F je Faradayova konstanta (96485.3399 C/mol)

ln je přirozený logaritmus

$[X]_e$ je extracelulární koncentrace iontu X

$[X]_i$ je intracelulární koncentrace iontu X

Transfer elektronů dýchacího řetězce je spojen s pumpováním protonů komplexy I, III a IV přes vnitřní mitochondriální membránu z matrix do mezimembránového prostoru. Tok protonů má za následek:

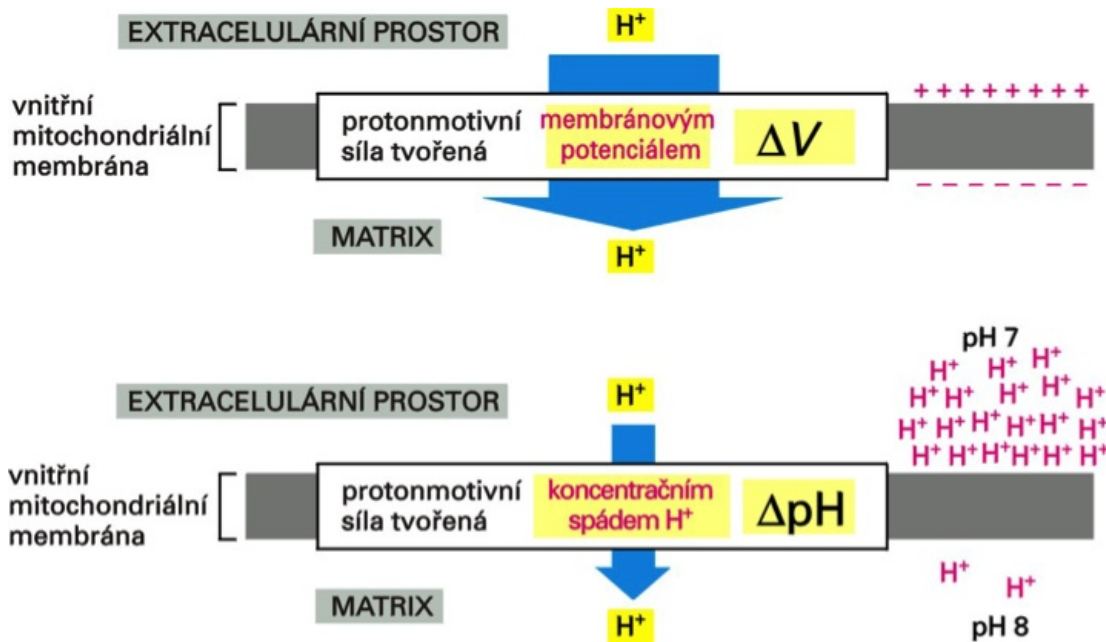
- Generování pH gradient přes vnitřní mitochondriální membránu, pH v matrix je vyšší než pH v cytosolu, kde je pH kolem 7.

2. Generování pH gradient přes vnitřní mitochondriální membránu, pH v matrix je vyšší než pH v cytosolu, kde je pH kolem 7.

Protonmotivní síla

Definice

Protonmotivní síla vyjadřuje závislost sekundárního aktivního transportu na membránovém potenciálu a poměru koncentrací H^+ vně a uvnitř buňky; je to ne zcela správné označení (nejde tu o sílu) pro elektrochemický potenciál vydělený Faradayovou konstantou. Analogicky můžeme hovořit obecně o ionmotivní síle. Gradient pH (ΔpH) žene H^+ zpět do matrix, tím zesiluje efekt membránového potenciálu ($\Delta \Psi$), který táhne protony zpět přes komplex ATP-syntázy. Součet ΔpH a $\Delta \Psi$, čili protonmotivní síla (PMF, Δp), může být měřena v milivoltech (mV). U typické buňky je PMF respirující mitochondrie v rozmezí hodnot 180 až 190 mV a je tvořena z membránového potenciálu 160 až 170 mV a pH gradientu okolo 0,3 až 0,5 jednotek.



Pokud jsou tedy částice v roztoku elektricky nabité, jako například ionty H^+ , pak tyto částice mají nejen energii chemickou v podobě chemického potenciálu μ , ale taky energii elektrickou.

Zdroje

1. Alberts et al., 2002
2. <https://biomikro.vscht.cz/vyuuka/bc/prednaska10.pdf>
3. Medicínská biofyzika – Leoš Navrátil, Jozef Rosina a kolektiv
4. http://che1.lf1.cuni.cz/html/Bioenerg0809_CZE.pdf
5. https://en.wikipedia.org/wiki/Electrochemical_gradient

Odkazy

- Elektroodové děje/Elektrochemický potenciál
- Proton