

# Dýchací řetězec

Dýchací řetězec je terminální sled reakcí buněčného dýchání, které mají za úkol zajistit tvorbu ATP. Využívá přitom redukovaných koenzymů, přenosu elektronů a protonů přes specifické komplexy. Produktem řetězce je energie, teplo a voda.

## Dýchací řetězec obecně

Lokalizace řetězce je na vnitřní membráně mitochondrií, aby byl zajištěn přísun redukovaných koenzymů z citrátového cyklu a  $\beta$ -oxidace. Projevuje se postupným uvolňováním energie, která je uložena **aerobní fosforylací** v ATP s účinností kolem 70 %.

Intenzita buněčného dýchání je přitom závislá na počtu krist v mitochondriích. V buňkách energeticky vytižených (např. myokard) je vysoký počet mitochondrií s vysokým počtem krist. To umožňuje vyšší zásobení kyslíkem, který se v konečné fázi řetězce spojuje s vodíkem za vzniku vody.

Vnitřní membrána mitochondrie je vysoce selektivní k propustnosti – to umožňuje vytvářet **koncentrační gradienty**, což je zásadní v udržování gradientu vodíkových kationtů  $H^+$ . Přenašeče elektronů nejsou v řetězci řazeny náhodně, nýbrž podle hodnot oxidačnického potenciálu od nejzápornějšího po nejkladnější. <sup>[1]</sup>

## Složky dýchacího řetězce <sup>[2]</sup>

Jsou to látky vesměs schopné přenosu elektronů a protonů. Řadíme mezi ně:

Koenzymy:

- Pyridinový koenzym  **$NADH+H^+$**  – hlavní donor elektronů v dýchacím řetězci
- Flavinový koenzym  **$FADH_2$**  – sekundární donor elektronů v dýchacím řetězci
- **Koenzym Q (ubichinon)** – volně pohyblivý (hydrofobní) derivát hydrochinonu, jeho funkcí je vázání elektronů a protonů a tím redukce na **ubichinol**
- **FeS-protein** – protein s elektron transportujícím centrem
- **Cytochromy** – železitá barviva schopná přenášet elektrony
- **Cytochromoxidáza** – poslední komplex cytochromů, je schopný přenést elektrony na kyslík a tím v reakci s vodíky vytvořit vodu

Kromě těchto důležitých složek jsou zde přítomny proteiny, které se označují jako **transmembránové komplexy**:

- **komplex I** – NADH-ubichinonreduktáza (NADH-dehydrogenáza – vstup  $NADH+H^+$ )
- **komplex II** – sukcinát-ubichinonreduktáza (vstup  $FADH_2$ )
- **komplex III** – ubichinol-cytochrom c-reduktáza
- **komplex IV** – cytochrom c-oxidáza
- (**komplex V**) – někdy se tak označuje  **$F_0F_1$ -ATP-syntasa**

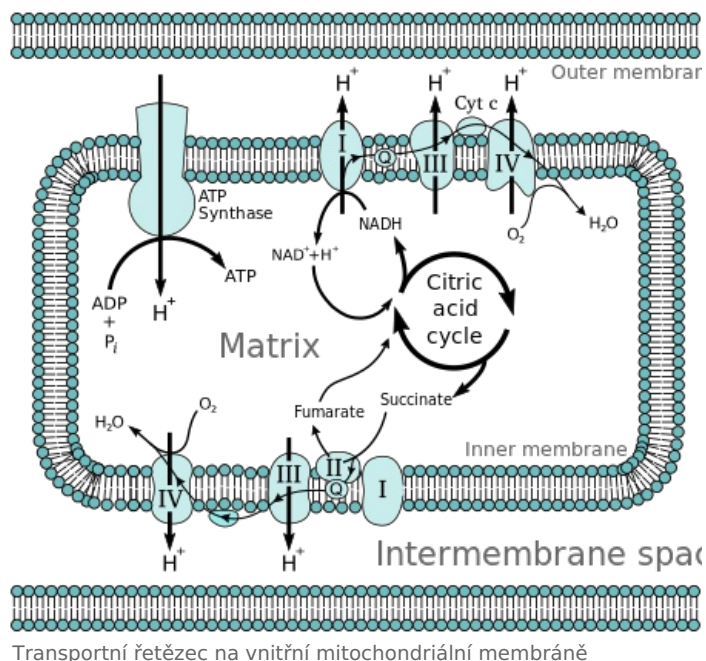
## Princip dýchacího řetězce

Samotný princip uvažuje **chemiosmotická hypotéza**, jelikož nebyl doposud dopodrobna objasněn.

Elektrony z flavinových a pyridinových koenzymů jsou přenášeny přes soustavu přenašečů, čímž zajišťují energii k tvorbě **elektrochemického protonového gradientu**. Ten se vytváří za pomoci **komplexů**, které pumpují vodíkové kationty z matrix mitochondrie do intermembránového prostoru. **ATP-syntasa** tvoří jedinou možnou cestu za normálních podmínek, kudy se protony mohou vracet zpátky do matrix. Díky vysokému gradientu se energie propuštěných protonů využívá k syntéze **ATP** z  $ADP+P_i$ .

## Přehled reakcí a výtěžek <sup>[3]</sup>

1. **komplex I** vytváří vstup pyridinového koenzymu  **$NADH+H^+$**  do systému, přičemž od koenzymu přebírá dva elektrony a dva protony. Tyto elektrony jsou předány koenzymu Q. Energie přenosu elektronů postačí k vypumpování  $4H^+$  do intermembránového prostoru (2 protony z  $NADH+H^+$  koenzymů + dva běžně přítomné



Transportní řetězec na vnitřní mitochondriální membráně

protony).

2. **komplex II** vytváří vstup flavinového koenzymu **FADH<sub>2</sub>** do systému. Ovšem předáním jeho elektronů na komplex III se obchází pumpování protonů z komplexu I.

3. **koenzym Q** odevzdává 2 elektrony **komplexu III** (cyt c-reduktáza) – další dva protony jsou odčerpány do intermembránového prostoru

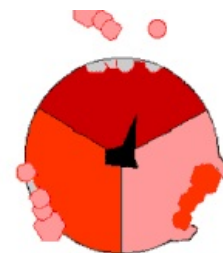
4. **komplex IV** (cyt c-oxidáza) přijímá dva elektrony od komplexu III a tyto elektrony přenesse na **kyslík**. Ten okamžitě reaguje s volnými protony za vzniku **vody**. Přitom je uvolněna energie k přenosu 4H<sup>+</sup> do mezimembránového prostoru.

**Výsledek dýchacího řetězce** je: <sup>[4]</sup>

- reoxidace redukovaných ekvivalentů (NADH+H<sup>+</sup> a FADH<sub>2</sub>)
- vytvoření vody
- přenesení 10H<sup>+</sup> do intermembránového prostoru v případě použití NADH+H<sup>+</sup>
- přenesení 6H<sup>+</sup> v případě použití FADH<sub>2</sub>

Závěrečným krokem je aerobní fosforylace, kdy F<sub>0</sub>F<sub>1</sub>-ATPasa propouští protony do matrix mitochondrie za tvorby ATP. Za každé **4 protony se vytvoří 1 ATP**.

- 1xNADH+H<sup>+</sup> = 2,5 ATP
- 1xFADH<sub>2</sub> = 1,5 ATP



ATP syntáza

## Odpřahovací proteiny <sup>[5]</sup>

*Uncoupling proteins* – proteiny ve vnitřní mitochondriální membráně, které dovolují procházet protonům z intermembránového prostoru zpět do matrix bez tvorby ATP, pouze s tvorbou **tepla**. Nejčastěji je najdeme krátce po narození v hnědé tukové tkáni. Zástupcem je například **termogenin** nebo dříve užívaný jedovatý 2,4-dinitrofenol. Thyroidní hormony mají také funkci uncouplerů.

## Odkazy

### Externí odkazy

- Studijní text pro střední školy (<http://www.studiumbiochemie.cz/dr.html#0>)

► Video mechanismu ATP-syntázy (<https://www.youtube.com/watch?v=PjdPTY1wHdQ>) (anglicky)

### Související články

- Mitochondrie
- Citrátový cyklus
- β-oxidace
- Regulace jednotlivých metabolických drah

### Použitá literatura

- LEDVINA, Miroslav, et al. *Biochemie pro studující medicíny. I. díl*. 2. vydání. Praha : Karolinum, 0000. 269 s. s. 85-95. ISBN 978-80-246-1416-8.
- DUŠKA, František. *Biochemie v souvislostech, 1.díl – základy energetického metabolismu*. 1. vydání. Praha : Karolinum, 2006. 165 s. s. 29-34. ISBN 80-246-1116-3.

### Reference

1. DUŠKA, František. *Biochemie v souvislostech, 1.díl – základy energetického metabolismu*. 1. vydání. Praha : Karolinum, 2006. 165 s. s. 30. ISBN 80-246-1116-3.
2. LEDVINA, Miroslav, et al. *Biochemie pro studující medicíny. I. díl*. 2. vydání. Praha : Karolinum, 0000. 269 s. s. 87-90. ISBN 978-80-246-1416-8.
3. DUŠKA, František. *Biochemie v souvislostech, 1.díl – základy energetického metabolismu*. 1. vydání. Praha : Karolinum, 2006. 165 s. s. 30-32. ISBN 80-246-1116-3.
4. DUŠKA, František. *Biochemie v souvislostech, 1.díl – základy energetického metabolismu*. 1. vydání. Praha : Karolinum, 2006. 165 s. s. 32. ISBN 80-246-1116-3.
5. DUŠKA, František. *Biochemie v souvislostech, 1.díl – základy energetického metabolismu*. 1. vydání. Praha : Karolinum, 2006. 165 s. s. 33. ISBN 80-246-1116-3.