

# Elektronový transportní řetězec

## Elektronový transportní řetězec

Elektronový transportní řetězec (správný český termín je dýchací řetězec; elektronový transportní systém je pouze doslovný překlad anglických textů) je sled na sebe navazujících redoxních systémů, které jsou lokalizované na **vnitřní mitochondriální membráně**. Vnitřní mitochondriální membrána je velice **selektivně propustná** a volně skrz ní prochází pouze malé nenabitě částice ( $H_2O$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$  a  $NH_3$ ). Kromě enzymů dýchacího řetězce jsou v této membráně zabudovány i transportní proteiny pro ionty, ale i pro různé nízkomolekulární látky (ATP, NADH,...) Právě tato vlastnost membrány umožňuje vytvářet iontové gradienty mezi matrix a intermembránovým prostorem mitochondrie, což je rozhodující i v případě  $H^+$  v průběhu dýchacího řetězce a s ním spojené anaerobní fosforylace (viz dále)

Dýchací řetězec zpracovává redukované kofaktory dodávané z cytoplasmy a Krebsova cyklu (matrix mitochondrie). Tyto kofaktory jsou v dýchacím řetězci reoxidovány. Soubor čtyř enzymových komplexů je označován jako Komplex I-IV.

### Komplex I

(*NADH dehydrogenáza*, *NADH: ubichinon oxidoreduktáza*) Komplex I katalyzuje **oxidaci NADH na  $NAD^+$**  a zároveň zajišťuje transport odebraných 2 elektronů na koenzym Q (CoQ, ubichinon). Přesná struktura Komplexu I obsahuje přes 40 podjednotek. Přes tyto podjednotky přechází elektrony až na ubichinon, který redukuje na ubichinol.

### Ubichinol

(*CoQH<sub>2</sub>*, *UQH<sub>2</sub>*) Ubichinol je redukovaná forma ubichinonu. Jedná se o extrémně hydrofobní molekulu, a to díky jeho dlouhému isoprenoidovému postrannímu řetězci, kterým je k vnitřní mitochondriální membráně připojen. V dýchacím řetězci funguje jako mobilní přenašeč elektronů z Komplexu I (II, popřípadně jiných enzymů – viz dále) na Komplex III.

### Komplex III

(*cytochrom c oxidáza*, *ubichinol:cytochrom c oxidoreduktáza*) Komplex III přijme elektrony z redukovaného CoQ (ten se zpět oxiduje na ubichinon) a transportuje je (přes dva cytochromy a FeS klaster) na cytochrom c.

### Cytochrom c

Cytochrom c je malý hemoprotein, který v dýchacím řetězci vystupuje jako **mobilní přenašeč elektronů**. Je připojený k vnějšímu povrchu vnitřní mitochondriální membrány (=nachází se v mezimembránovém prostoru, ale je ukotvený k vnitřní membráně). Na rozdíl od předchozích enzymů přijímá jedna molekula cytochromu pouze jeden elektron. Dochází přitom k redukci železa hemu z ferri = III na ferro = II formu. Elektrony jsou tedy po jednom transportovány z Komplexu III na cytochrom c a poté předávány na poslední enzym – Komplex IV. Komplex III a cytochrom c se souhrnně nazývají **Q-cyklus**.

### Komplex IV

(*cytochrom c oxidáza*, *cytochrom c:dioxid oxidoreduktáza*) Komplex IV převezme elektrony z redukovaného cytochromu c (ten se zpětně oxiduje na ferri formu) a dále je přes 2 cytochromy a 3 atomy mědi předává konečnému příjemci, což je kyslík. Kyslík přijímá 4 elektrony a tak vznikají dvě molekuly vody.

## Další vstupy do dýchacího řetězce

Kromě NADH vstupují do dýchacího řetězce i další redukované molekuly kofaktorů. Všechny tyto molekuly vstupují do dýchacího řetězce vždy přes CoQ.

### Komplex II.

(*sukcinátdehydrogenáza*, *SDH*) – jedná se o enzym Krebsova cyklu (součástí enzymu je FAD – flavinadenindinukleotid), který katalyzuje oxidaci sukcinátu na fumarát. Jelikož oxiduje sukcinát, samotná molekula enzymu se redukuje = přijímá elektrony. Aby mohl tento enzym opět fungovat v Krebsově cyklu, musí se zpětně oxidovat a to právě předáním získaných elektronů koenzymu Q. Strukturně je Komplex II (SDH) transmembránový protein stejně jako Komplexy I, III a IV.

### ETF

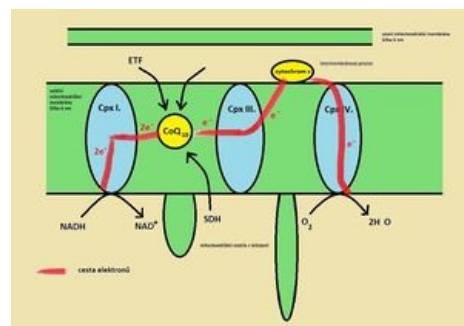


Schéma enzymových komplexů

zajišťuje přenos elektronů vzniklých během beta-oxidace do dýchacího řetězce.

## Redoxní potenciál a přeměny energií

### Redoxní potenciál

Redoxní potenciál vyjadřuje **míru afinity látek k elektronům**. Na základě rozdílů redoxních potenciálů v dýchacím řetězci jsou elektrony transportovány výše uvedeným postupem. Redoxní (konkrétněji redukční) potenciál NADH je nejnižším mezi ostatními enzymy dýchacího řetězce. Naopak afinita kyslíku k elektronům patří k jedné z nejvyšších. Díky tomuto faktu procházejí elektrony přes enzymy, u kterých se postupně zvyšuje hodnota redoxního potenciálu až ke kyslíku. Proto můžeme označit redoxní potenciály za hnací sílu dýchacího řetězce.

### Energie

Potenciální energii (potenciální rozdíl elektronů NADH/FAD/... a kyslíku) může být využita na konání práce. Jelikož je vnitřní mitochondriální membrána za normálního stavu pro protony nepropustná, při přečerpávání protonů z matrix do intermembránového prostoru koná buňka práci. Pumpování protonů (H<sup>+</sup>) probíhá přes Komplexy I, III a IV. Přečerpáním protonů vzniká **rozdíl v koncentracích** mezi matrix a intermembránovým prostorem (více protonů je v mezimembránovém prostoru) a tak se vytváří **gradient – potenciální energie** mezi oběma prostory. Tento gradient později může buňka využít opět na konání práce - na syntézu ATP.

## Syntéza ATP

Syntéza ATP probíhá díky enzymu ATP syntáza. Ten tvoří kanál přes vnitřní membránu mitochondrie a umožňuje tak návrat protonů z intermembránového prostoru zpět do matrix (za účelem zpětného vyrovnání koncentrací). Díky toku protonů dochází k roztočení části ATP syntázy, která zasahuje až do matrix mitochondrie. Rotace části enzymu je přenášena na další podjednotku (F<sub>1</sub>), která tlakem působí na okolní podjednotky a tak pohání fosforylaci ADP na ATP. Specifický přenašeč (ANT – adenine nucleotide translocator) následně přenáší nově nasyntetizované molekuly ATP výměnou za ADP ven z matrix do cytoplasmy.

 **Syntézu ATP již neoznačujeme jako dýchací řetězec, ale jako oxidativní fosforylaci.**

### UCP proteiny

Protony z intermembránového prostoru mohou do matrix pronikat i jiným způsobem, a to díky proteinům UCP (uncoupling protein). V těchto proteinech se ale ATP nevytváří, a proto se potenciální energie gradientu přeměňuje v energii tepelnou (to označujeme za neefektivní převod energie). Tento proces se uplatňuje především v hnědé tukové tkáni (nacházíme u novorozenců v oblasti lopatek a ledvin), kdy nacházíme ve vnitřní mitochondriální membráně UCP 1 protein (*uncoupling protein 1, termogenin*).

 *Podrobnější informace naleznete na stránce Hnědý tuk.*

## Odkazy

### Použitá literatura

- LEDVINA, Miroslav, et al. *Biochemie pro studující medicíny*. 2. vydání. Praha : Karolinum, 2009. 548 s. s. 85-90. ISBN 978-80-246-1414-4.
- učební text Dýchací řetězec a tvorba ATP 3. Lékařské fakulty UK, dostupné z <http://fb.lt.cz/skripta/ii-premena-latek-a-energie-v-bunce/7-dychaci-retezec-a-tvorba-atp/>
- přednáška Dýchací řetězec a tvorba ATP, dostupný z <https://www.youtube.com/watch?v=OtoPAghbymQ>