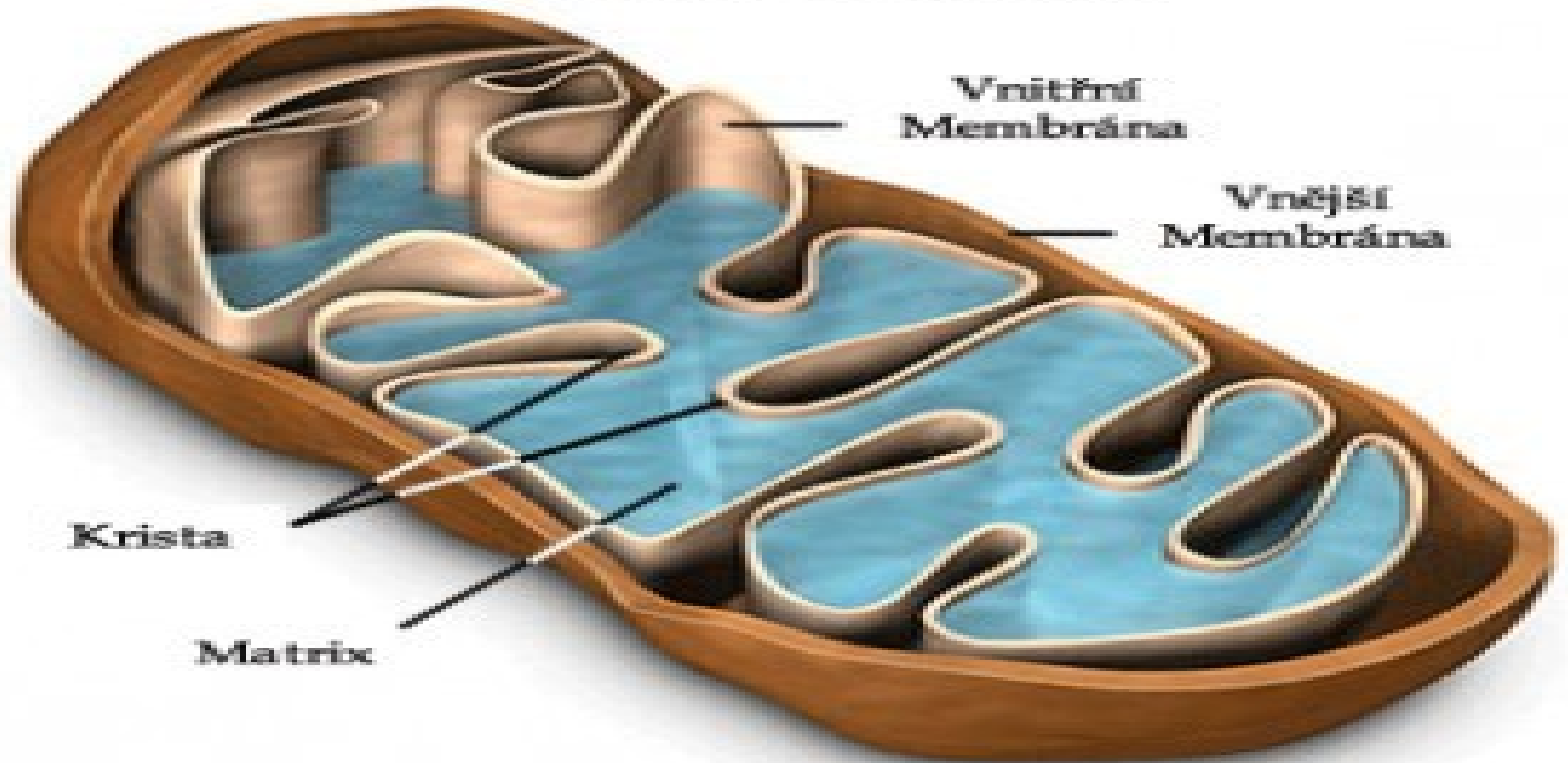


# Citrátový cyklus a dýchací řetězec

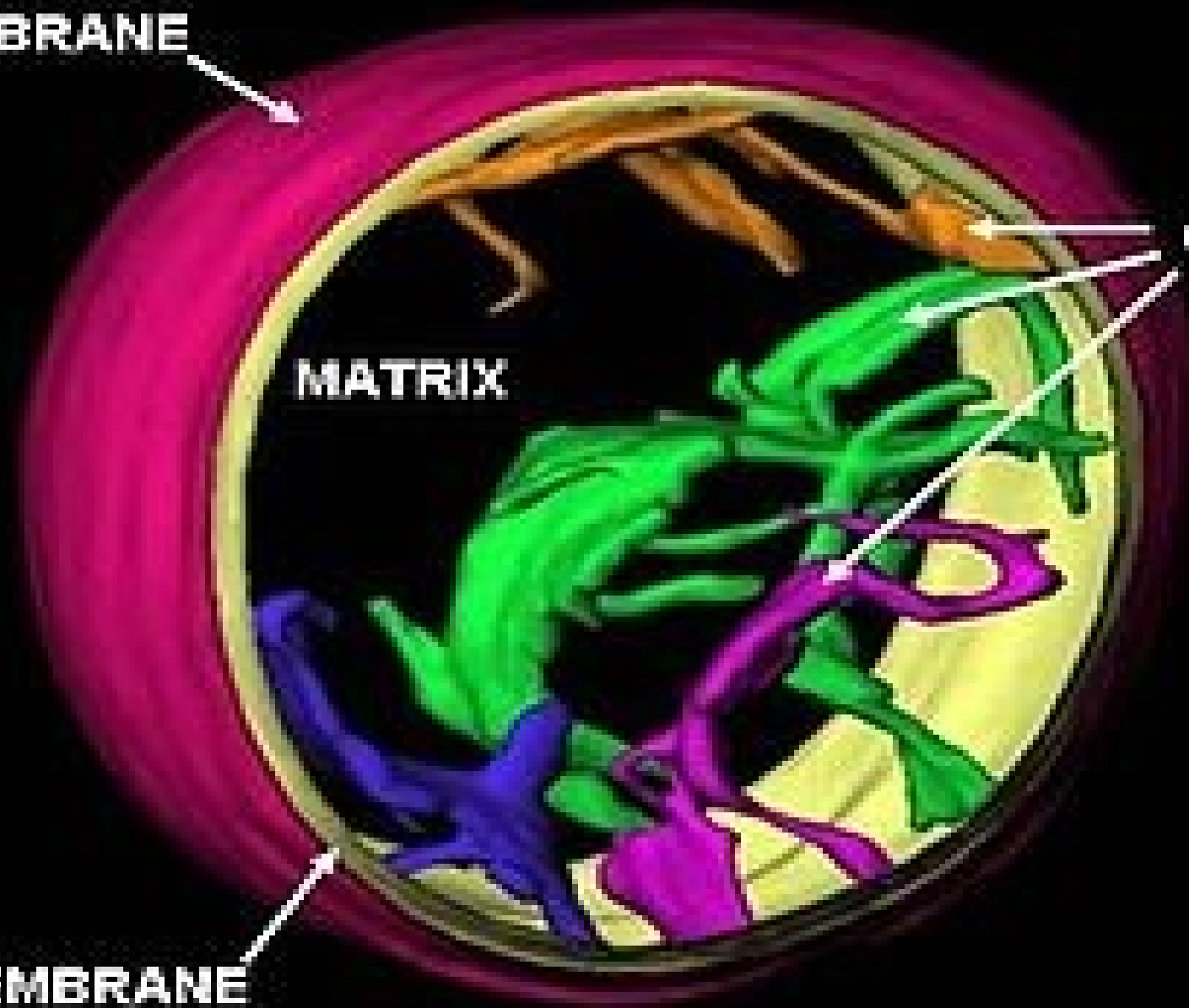
# Citrátový cyklus (Krebsův cyklus)

- ❖ Probíhá **v matrix mitochondrií** za **aerobních podmínek**.
- ❖ Probíhá ve všech buňkách kromě erytrocytů.
- ❖ Je to **amfibolický děj**.
- ❖ Je centrem energetického metabolismu buňky.
- ❖ Jsou na něj napojeny všechny dráhy energetického metabolismu:
  - **Dýchací řetězec**
  - **Glukoneogeneze**
  - **Transaminace, deaminace aminokyselin**
  - **Lipogeneze**

# Mitochondrie - uspořádání



**OUTER MEMBRANE**



**CRISTAE**

**MATRIX**

**INNER MEMBRANE**

# Funkce Krebsova cyklu

## ❖ Oxidace acetyl-CoA:

- Zisk vysoceenergetických vodíkových atomů vázaných v **NADH + H<sup>+</sup>** a **FADH<sub>2</sub>**.
- Zisk **GTP**.

## ❖ Tvorba meziproduktů anabolických drah:

- Syntéza hemu
- Glukoneogeneze

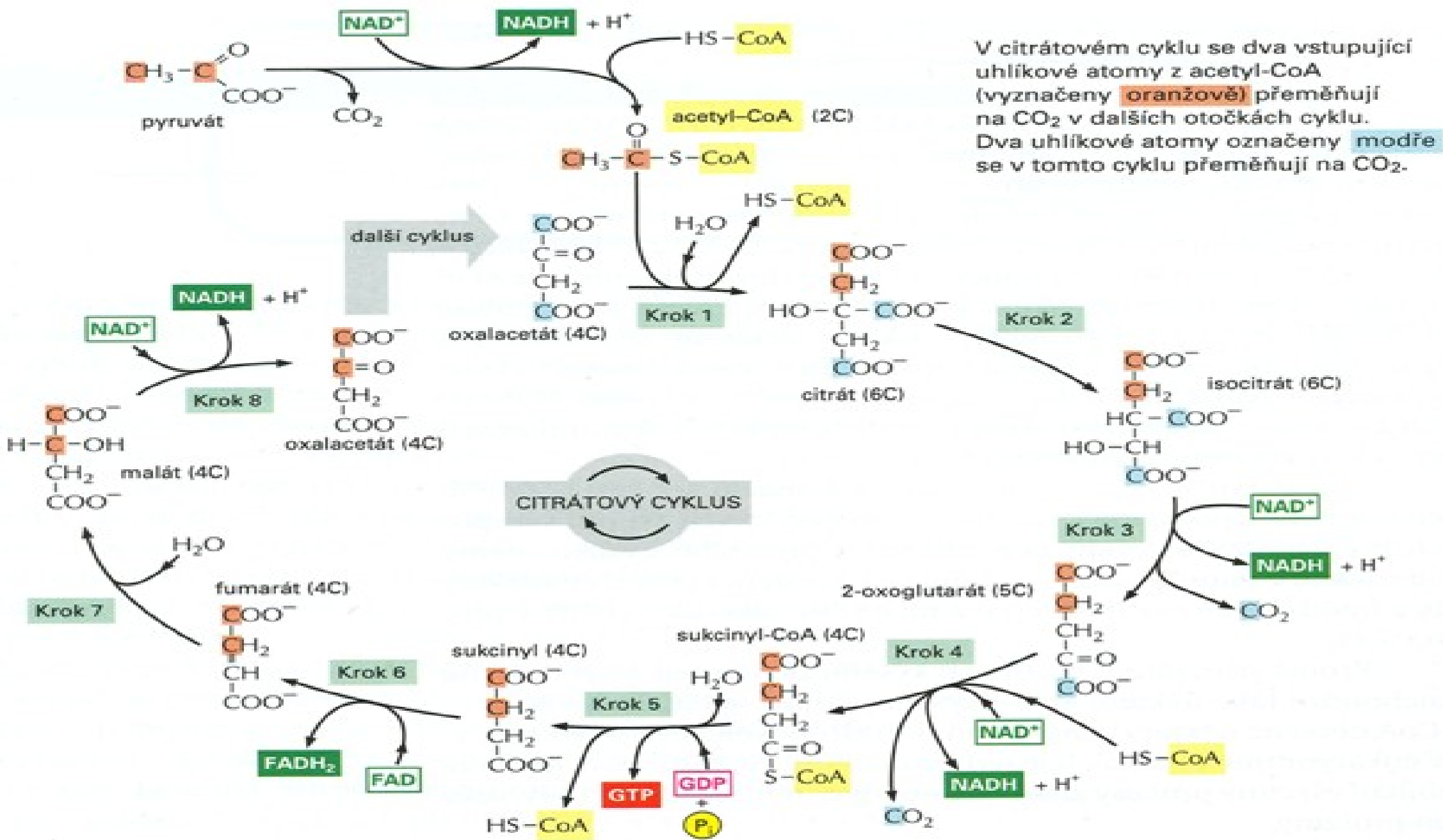
## ❖ Souhrnná rovnice Krebsova cyklu:



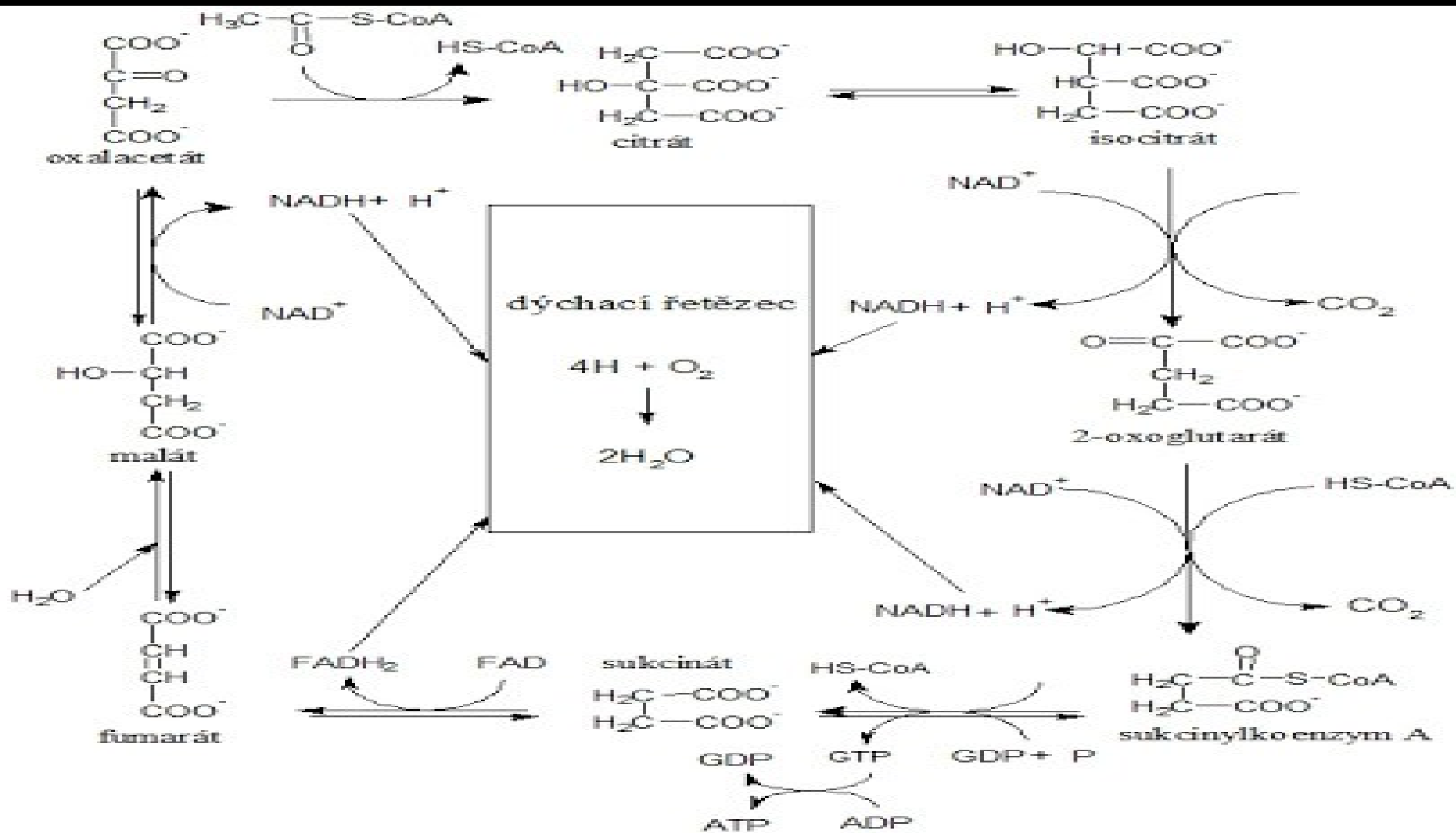
## ❖ Výchozí látka: **CH<sub>3</sub>-CO~SCoA**

## ❖ Produkty:

- **NADH + H<sup>+</sup>**
- **FADH<sub>2</sub>**
- **GTP**
- **CO<sub>2</sub>**



V citrátovém cyklu se dva vstupující uhlíkové atomy z acetyl-CoA (vyznačeny oranžově) přeměňují na  $\text{CO}_2$  v dalších otočkách cyklu. Dva uhlíkové atomy označeny modře se v tomto cyklu přeměňují na  $\text{CO}_2$ .



# Dýchací řetězec

- ❖ Probíhá **na vnitřní membráně mitochondrií**.
- ❖ Je to finální fáze buněčného dýchání.
- ❖ Využívají jej živočichové, rostlinné buňky ve tmě, houby a bakterie.
- ❖ Je realizován prostřednictvím **4 kotvených enzymatických komplexů a 2 mobilních přenašečů**.
- ❖ **Je to elektronový transportní řetězec.**



# Funkce dýchacího řetězce

❖ Syntéza energetických konzerv ATP v buňce.

❖ Uvolňování tepla.

❖ Výchozí látky DŘ:

➤ **NADH + H<sup>+</sup>**

➤ **FADH<sub>2</sub>**

➤ **½ O<sub>2</sub>**

❖ Produkty DŘ:

➤ **ATP**

➤ **H<sub>2</sub>O**

<https://www.youtube.com/watch?v=3y1dO4nNaKY>

<https://www.youtube.com/watch?v=PjdPTY1wHdQ>

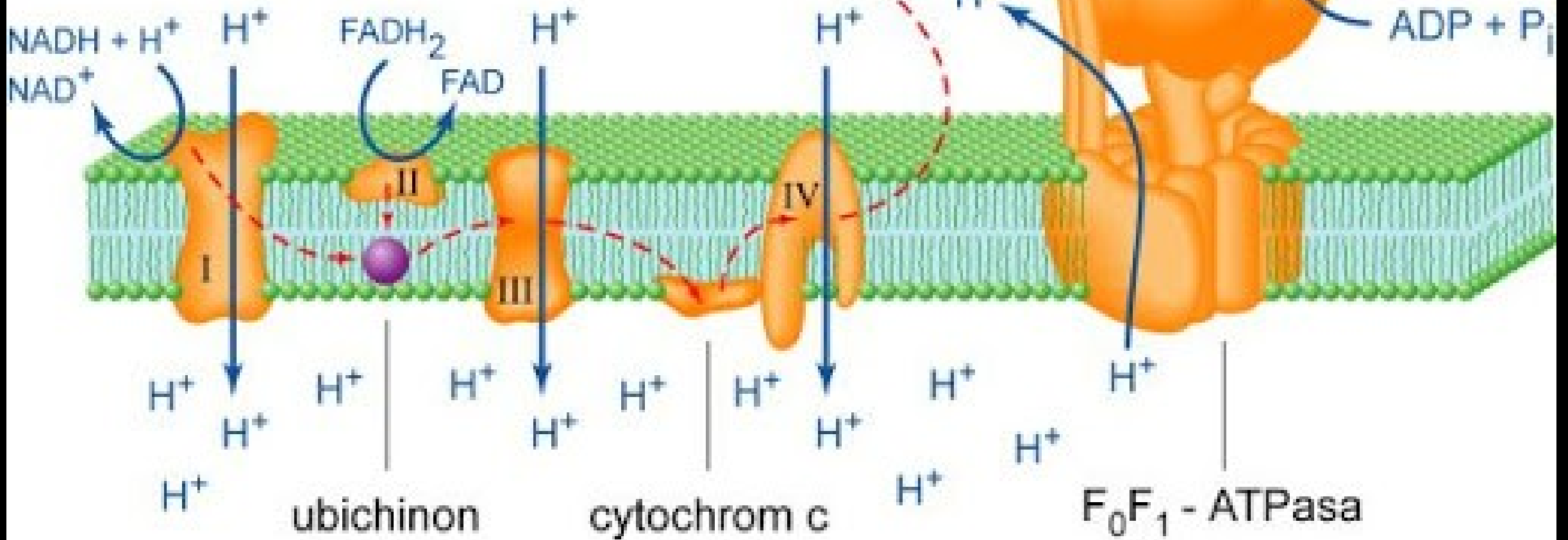
# Mechanismus dýchacího řetězce

- ❖ Do dýchacího řetězce vstupují 2 vodíkové atomy **H $\cdot$** , ale dýchacím řetězcem putují tyto atomy v disociované formě **(zvláště 2H $^+$  a 2e $^-$ )**
- ❖ 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 $_i$** .

## 1. Komplex I – NADH-ubichinonreduktáza (NADH-dehydrogenáza – vstup NADH+H<sup>+</sup>)

- ❖ Vytváří **vstup pyridinového koenzymu NADH+H<sup>+</sup> do systému**, přičemž od koenzymu přebírá **dva elektrony a dva protony**. Tyto elektrony jsou předány **koenzymu Q**.
- ❖ Energie přenosu elektronů postačí k vypumpování 4H<sup>+</sup> do intermembránového prostoru (2 protony z NADH+H<sup>+</sup> koenzymů + dva běžně přítomné protony).

MATRIX



MEZIMEMBRÁNOVÝ  
PROSTOR

## 2. Komplex II – sukcinát-ubichinonreduktáza (vstup $\text{FADH}_2$ ).

- ❖ Vytváří vstup flavinového koenzymu  $\text{FADH}_2$  do systému.
- ❖ Předáním jeho elektronů na komplex III se obchází pumpování protonů z komplexu I.
- ❖ koenzym Q odevzdává 2 elektrony komplexu III (cyt c-reduktáza) – další dva protony jsou odčerpány do intermembránového prostoru

### 3. Komplex III - ubichinol-cytochrom c-reduktáza

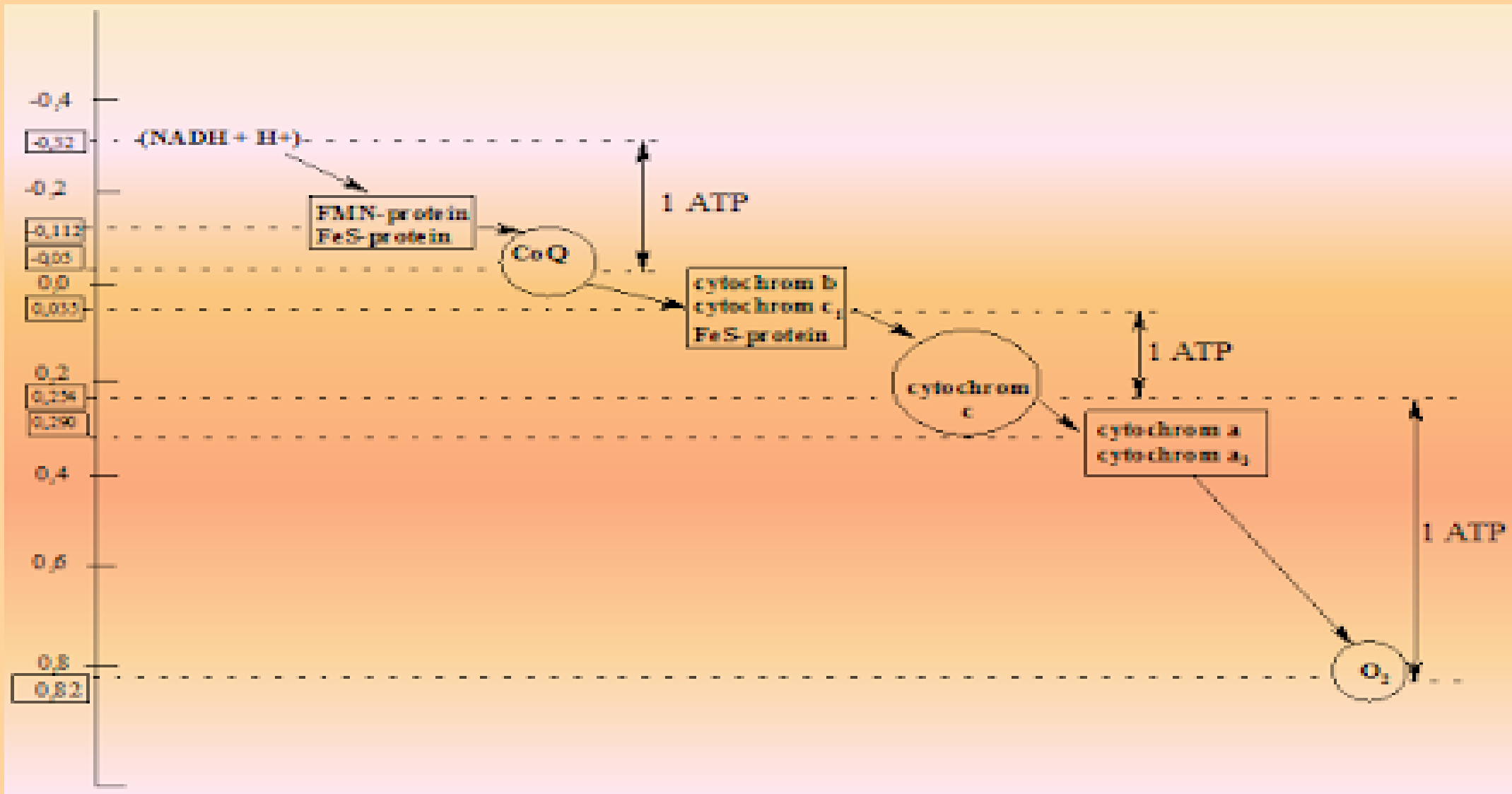
- ❖ Předává elektrony druhému mobilnímu přenašeči elektronů (cytochrom c).

### 4. Komplex IV - cytochrom c-oxidáza

- ❖ Poslední komplex cytochromů, je schopný přenést elektrony na kyslík a tím v reakci s vodíkovými ionty vytvořit vodu.
- ❖ Přitom je uvolněna energie k přenosu  $4H^+$  do mezimembránového prostoru.

### 5. Komplex V - někdy se tak označuje $F_0F_1$ -ATP-syntasa

- ❖ provádí reakci  $ADP + P_i \rightarrow ATP$ .



- ❖ **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.
  
- ❖ *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 jsou obsaženy krátce po narození v hnědé tukové tkáni. Zástupcem je například termogenin.



# Energetická bilance Krebsova cyklu a dýchacího řetězce

- ❖ Oxidací **1 acetyl-CoA** v krebsově cyklu se získají **3 NADH+H<sup>+</sup>** a **1 GTP** (GTP = energetický ekvivalent ATP).
- ❖ Ze 2 aktivovaných atomů **H<sup>•</sup>** (pocházejících z **NADH+H<sup>+</sup>**) se průchodem dýchacím řetězcem získají **3 ATP**.
- ❖ Ze 2 aktivovaných atomů **H<sup>•</sup>** (pocházejících z **FADH<sub>2</sub>**) se průchodem dýchacím řetězcem získají **2 ATP**.
  
- ❖ **To je celkem 12 ATP**
  
- ❖ Oxidací **1 pyruvátu** se získá celkem **15 ATP**.