

SEC VIII.	Biochemické deje
SEC VIII. 2	Citrátový cyklus a dýchací reťazec

Cieľové požiadavky

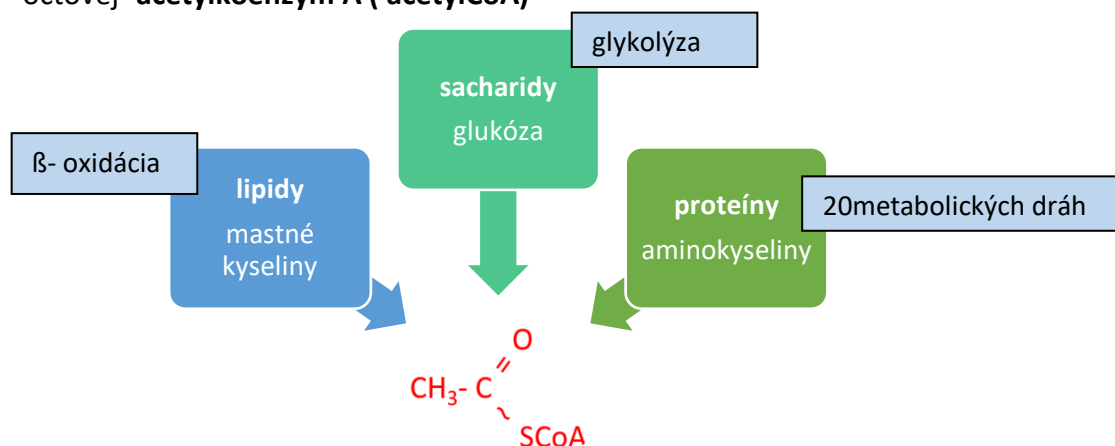
Obsahový štandard: Katabolický dej. Anabolický dej. Endergonický dej, exergonický dej. Makroergická väzba. Glykolýza, β -oxidácia, citrátový cyklus, dýchací reťazec.

Výkonový štandard:

- Vysvetliť význam jednotlivých biochemických dejov (katabolické, anabolické, amfibolické), vymenovať konkrétne príklady.
- Lokalizovať priebeh citrátového cyklu, dýchacieho reťazca,
- Vysvetliť vzťah medzi glykolýzou, citrátovým cyklom a dýchacím reťazcom.
- Vysvetliť vznik a funkciu ATP v energetickom metabolizme bunky.
- Vysvetliť prepojenie β – oxidácie mastných kyselín a citrátového cyklu.
- Opísať biochemické deje z hľadiska energetickej bilancie.

Energetický význam redoxných procesov

- Organizmy, bunky získavajú energiu na životné prejavy oxidáciou živín
- Oxidácie živín na CO_2 a H_2O prebiehajú v mitochondriách
- spoločný medziproduktom odbúravania všetkých živín je aktivovaná forma kyseliny octovej- **acetylkoenzým A (acetylCoA)**



- v slede dejov sa oxiduje na CO_2 v **Krebsovom (citrátovom) cykle**- za súčasnej redukcie koenzýmox oxidoreduktáz

Karboxylové kyseliny sú prítomné v bunke ich deprotonizovanej (aniónovej)forme- solí.

Karboxylová kyselina	Deprotonizovaná forma kyseliny
jablčná	malát
oxaloctová	oxalacetát
mliečna	laktát
citrónová	citrát
fumárová	fumarát
jantárová	sukcinát
glycerová	glycerát
pyrohroznová	pyruvát
octová	acetát

Krebsov (citrátový) cyklus

- 1937- objaviteľ Hans Adolf Krebs (1953- **nobelová cena**)
- Prebieha v **matrixe mitochondrií**
- Cyklus kyseliny citrónovej(citrát) alebo cyklus trikarboxylových kyselín- podľa prvých dvoch medziproduktov (*obsahujú 3 karboxylové skupiny*)

Podstata

- Spoločná kruhová amfibolická metabolická dráha všetkých živín
- **Oxidácia (rozklad) acetylCoA na CO₂**, vznik redukovaných koenzýmov **NADH+ H⁺** a **FADH₂** za vzniku energeticky bohatých látok



Priebeh citrátového cyklu

- **Vstup AcetylCoA do citrátového cyklu ako produktu metabolických dráh**
- 2x dekarboxylácia, 4x dehydrogenácia(oxidácia), 1x substrátová fosforylácia)

A.Premena acetylkoenzýmu A- z 1molekuly → 2molekuly CO₂, 2molekuly NADH + 2H⁺

	Mechanizmus reakcie		produkty
1.	Kondenzácia acetálového zvyšku AcetylCoA s oxálacetátom	H ₂ O	citrát + CoA
2.	Izomerizácia citrátu		izocitrát
3.	Dekarboxylácia a dehydrogenácia izocitrátu	NAD ⁺	2-oxoglutarát+ CO ₂ + NADH + H⁺
4.	Dekarboxylácia a dehydrogenácia 2-oxoglutarátu	NAD ⁺ CoA	sukcinyl-CoA + CO ₂ + NADH + H⁺

B.Obnova oxálacetátu(5-8)- vznik GTP-ATP, FADH₂ a NADH+ H⁺

	Mechanizmus reakcie		produkty
5.	Premena sukcinylCoA	P, GDP, ADP, H ₂ O	sukcinát + koenzým A + GTP-ATP(nepriamo)
6.	Oxidácia (dehydrogenácia) sukcinátu za vzniku násobnej väzby	FAD!!!	Fumarát + FADH₂
7.	adícia(hydratácia) vody na dvojitú väzbu fumarátu	H ₂ O	malát
8.	oxidácia(dehydrogenácia)malátu (OH na oxo skupinu)	NAD ⁺	oxalacetát+ NADH + H⁺

Energetická bilancia citrátového cyklu (z 1 molekuly AcetylCoA)

Spôsob vzniku ATP	čiasťkovo	celkovo
ATP priamo v 1 citrátovom cykle	1ATP	+1ATP
nepriamo regeneráciou 1 molekuly FADH ₂ v dýchacom reťazci	1x1,5(2)ATP	+1,5(2)ATP
nepriamo regeneráciou 3 molekúl NADH v dýchacom reťazci	3x 2,5(3)ATP	+7,5 (9)ATP
Spolu:		10(12)ATP

- 2 molekuly CO₂.....z bunky odstraňovaný, spôsobuje acidózu a tým smrť
- 3H⁺tvorba vodíkového gradientu a vody (60% energie sa využije na endergonické deje, 40% uloží do ATP)

Dýchací (koncový oxidačný) reťazec

- Sled dejov na vnútornej membráne mitochondrií

Podstata:

- **Vodík viazaný v redukovaných koenzýmoch sa postupne oxiduje kyslíkom za vzniku vody, pričom sa uvoľní veľké množstvo energie**
1. Oxidácia (dehydrogenácia) redukovaných foriem koenzýmov, ich obnova a návrat do citrátového cyklu (*zdrojom koenzýmov je hlavne citrátov cyklus a β- oxidácia*)
 2. Jednosmerný prechod protónov vodíka cez vnútornú membránu mitochondrií a ich hromadenie na jednej strane membrány- **vznik protónového gradientu**

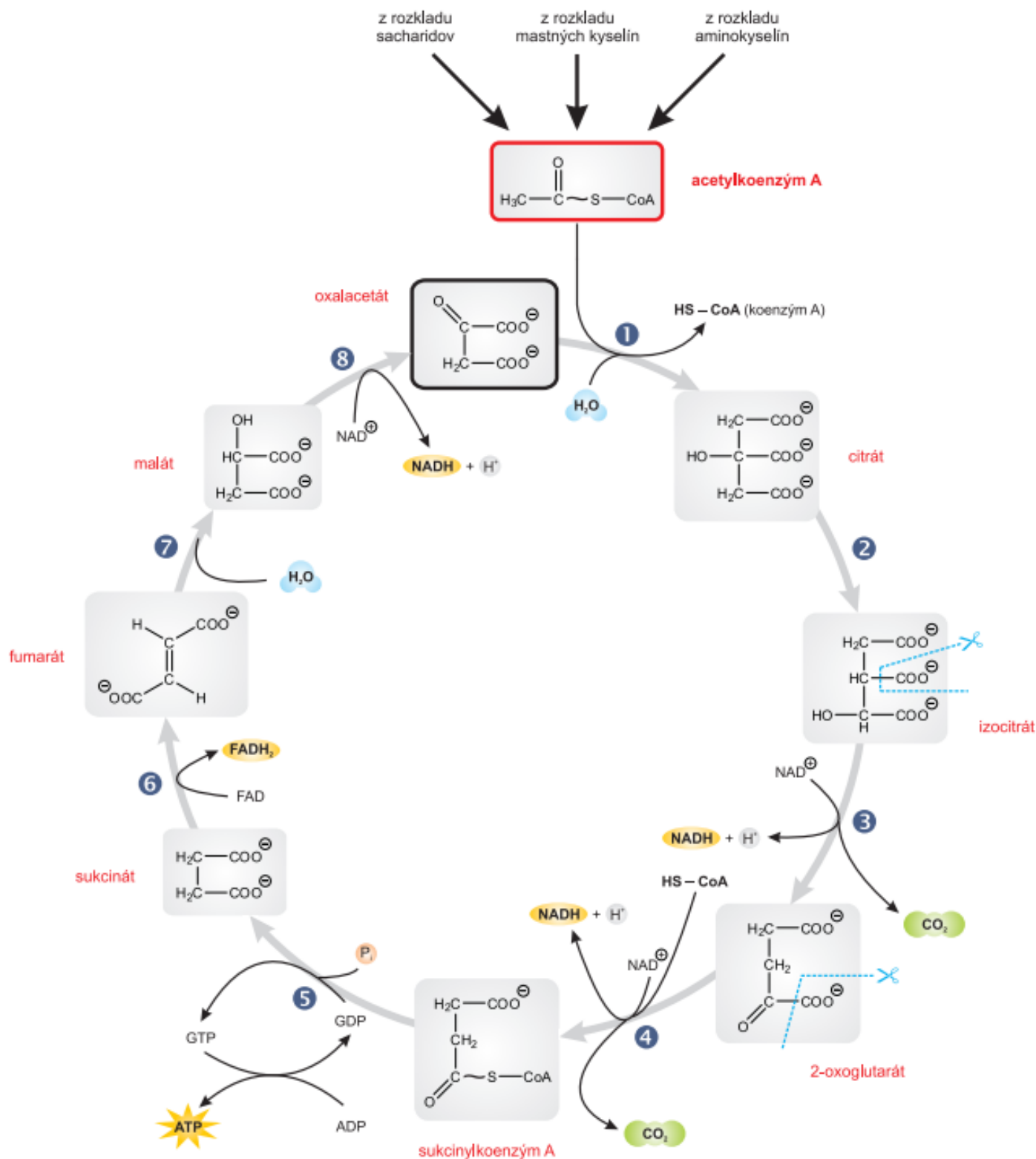
Protónový (koncentračný)gradient

- elektrochemický článok na rozhraní dvoch prostredí oddelených membránou
 - vzniká prechodom H⁺ cez vnútornú membránu mitochondrií
 - je zdrojom elektrickej energie, ktorá sa využije na syntézu ATP
3. na úrovni FAD sa atómy vodíka štiepia na e⁻ a p⁺
 4. prenos elektrónov (*cez cytochrómy, koenzým Q*) na voľný kyslík transportovaný do buniek hemoglobínom a vznik aniónu kyslíka(redukcia kyslíka)

$$\frac{1}{2} \text{O}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow \text{O}^{2-}$$
 5. kyslíkový anión sa zlučuje s kationom vodíka za **vzniku vody a energie (z NADH 2,5ATP, z FADH₂ 1,5ATP)**

$$2\text{H}^+ + \text{O}^{2-} \rightarrow \text{H}_2\text{O}$$
 6. elektrická energia článku sa využije na syntézu ATP z ADP a P pomocou ATP-syntázy- **oxidačná fosforylácia**

$$\text{ADP} + \text{P} + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{ATP} \text{ (vznikom ATP sa znižuje gradient o } 2\text{H}^+)$$
 - Pri reakcii sa uvoľní 237,4kJ/mol energie(*riadené uvoľnenie aby sa uložila do ATP*)



Obr. 10.3 Schéma citrátového cyklu

Zdroj schémy: KMEŤOVÁ, J., SKORŠEPA, M., VYDROVÁ, Mária.: Chémia pre 3.ročník gymnázia so štvorročným štúdiom a 7.ročník gymnázia s osemročným štúdiom. Martin: Vydavateľstvo Matice slovenskej, 2011. 98s. ISBN 978-80-8115-042-5