

# Energetický metabolismus buňky



# Buněčné dýchání – Základní principy

- Základním energetickým substrátem je ATP.
- Jeho zásoby jsou velice omezené. V organismu je proto několik metabolických drah sloužících k jeho obnově - regenerace ATP.
- Anaerobně i aerobně z různých makroergních substrátů - glukóza, glykogen, laktát, mastné kyseliny, glycerol a aminokyseliny.



# Základní energetické reakce v cytoplazmě

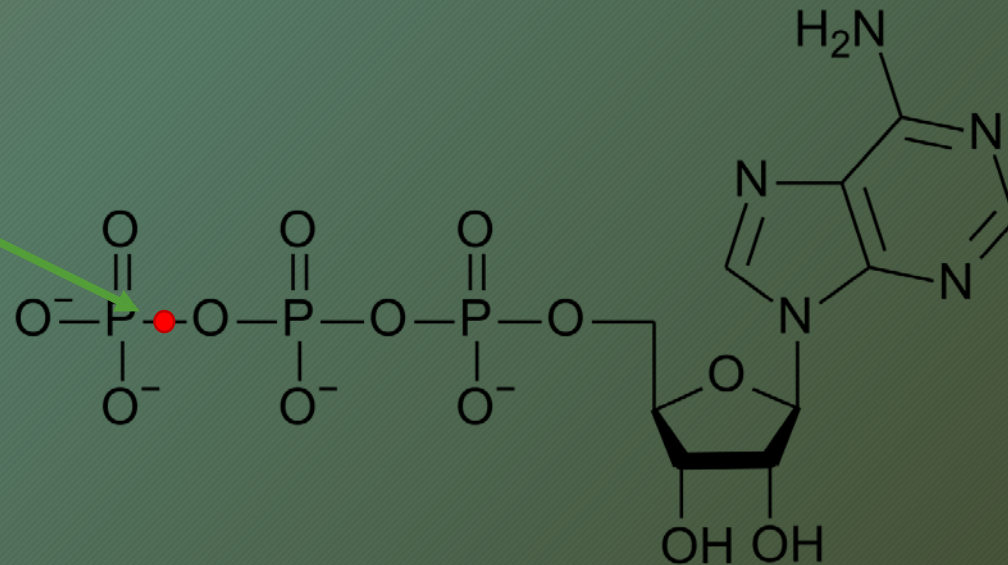
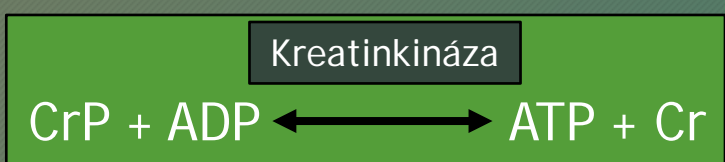
## 1. Hydrolýza ATP za přítomnosti ATPázy



## 2. Myokinázová reakce



## 3. Kreatinfosfátová reakce



<https://cs.wikipedia.org/wiki/Adenosinetrifosf%C3%A1t>

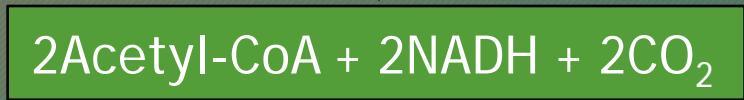
# Základní energetické reakce v cytoplazmě

## 4. Anaerobní glykolýza

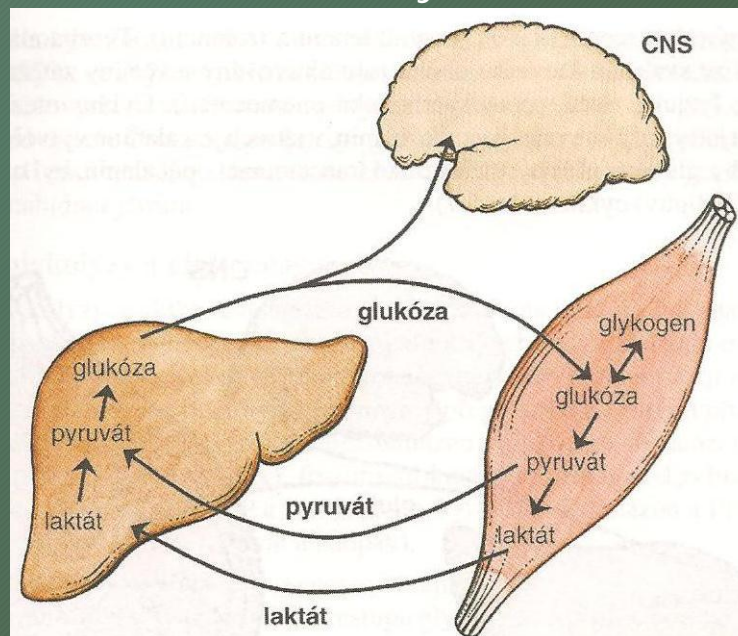


2ATP

Oxidace pyruvátu



Coriho cyklus



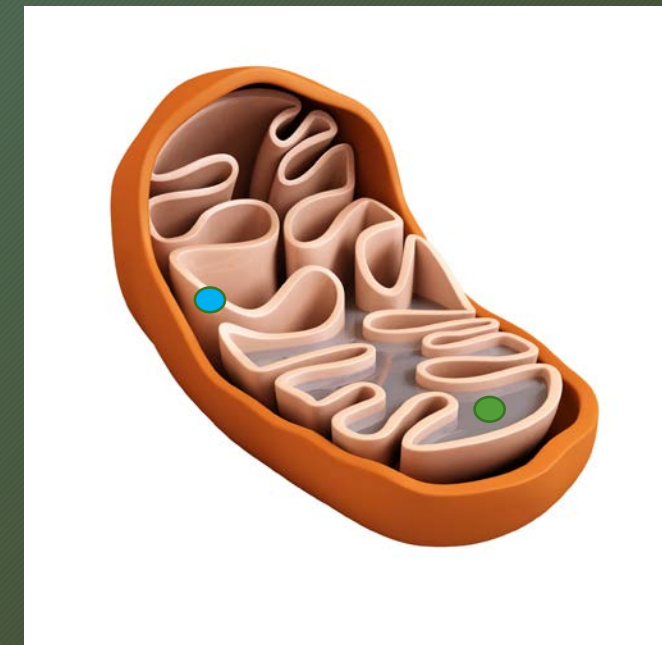
# Základní energetické reakce v mitochondrii

## 5. Oxidativní fosforylace

### 1. Citrátový cyklus v matix

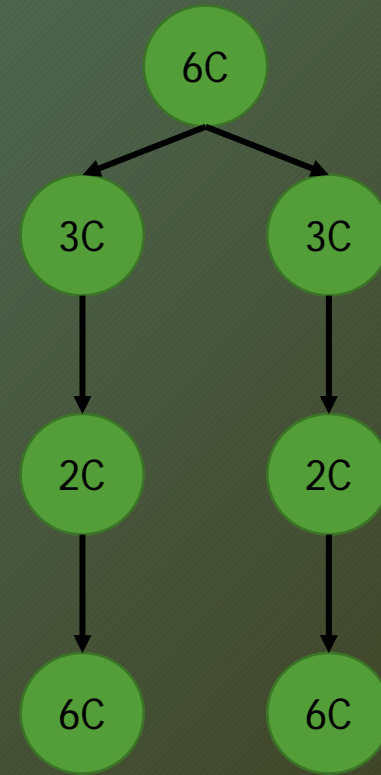


### 2. Dýchací řetězec - Elektronový transportní řetězec v kristě



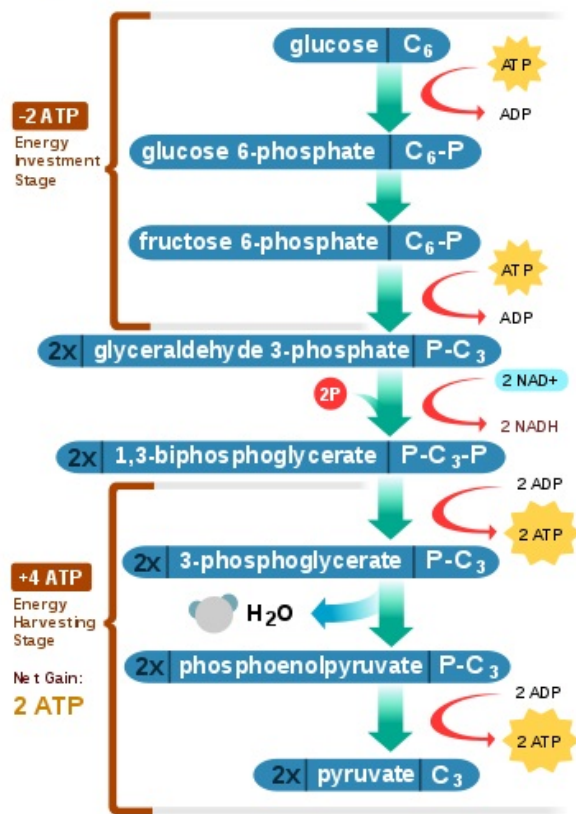
# Základní principy

- Vždy se jedná o **cyklus - kruh**.
- Cílem anaerobní glykolýzy je z šesti uhlíkaté molekuly (glukóza) udělat dvě tři uhlíkaté molekuly (pyruvát). Ty jsou oxidovány za vzniku dvou menších molekul (acetyl-CoA) - získá se 2ATP a 4NADH.
- Acetyl-CoA se v citrátovém cyklu slučuje s kys. oxaloctovou v kyselinu citrónovou (šesti uhlíkatá sloučenina), ta je následně opět štěpena na kys. oxaloctovou (čtyř uhlíkatá sloučenina) - získá se 2ATP, 6NADH, 2FADH<sub>2</sub>.
- Redukované koenzymy o celkovém součtu 10NADH a 2FADH<sub>2</sub> jsou v dýchacím řetězci oxidovány a získané H<sup>+</sup> jsou využity pro aktivaci ATP-syntázy (ATP z ADP a P<sub>i</sub>) - získá se 34ATP.

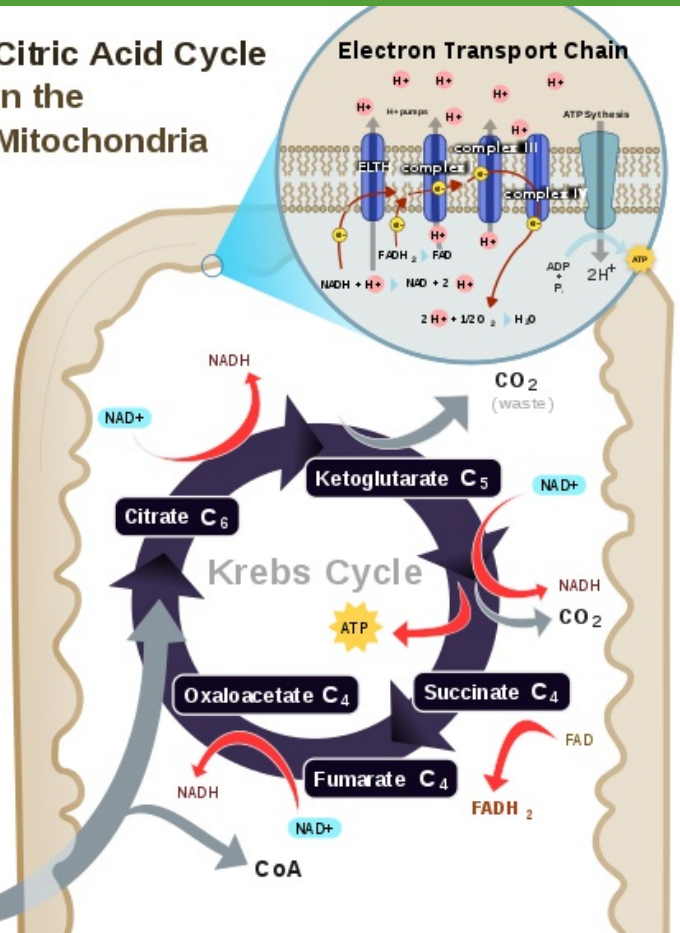


# Shrnutí metabolismu glukózy v buňce

## Glycolysis in the Cytoplasm



## Citric Acid Cycle in the Mitochondria



# Interaktivní znázornění metabolických mechanismů

Sledujte v odkazech níže:

- Elektronový transportní řetězec
- ATP syntáza





# Využití MK v E metabolismu

## 5. Aerobní metabolismus

### 1. Citrátový cyklus v matix

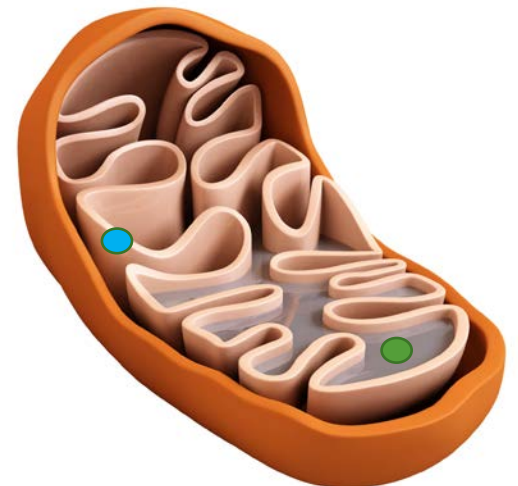


### 2. Dýchací řetězec - Elektronový transportní řetězec v kristě



Acyl-CoA

Mastné kyseliny

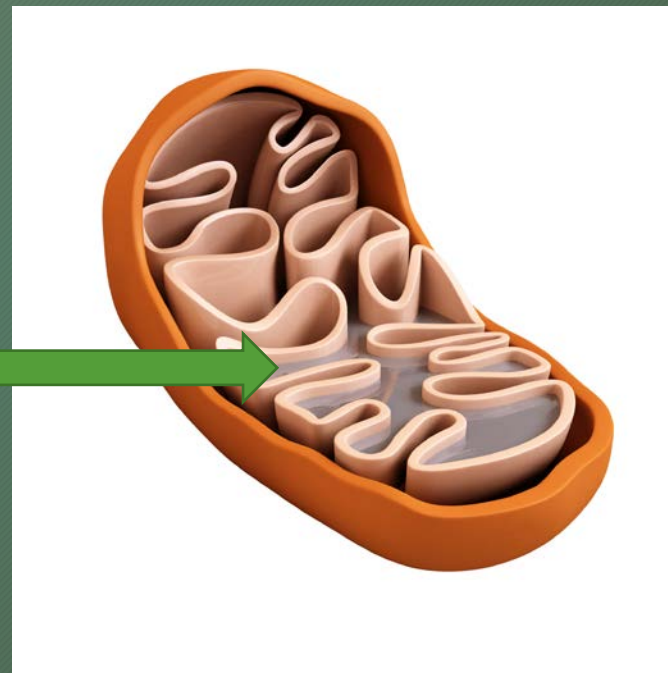


# Metabolismus MK

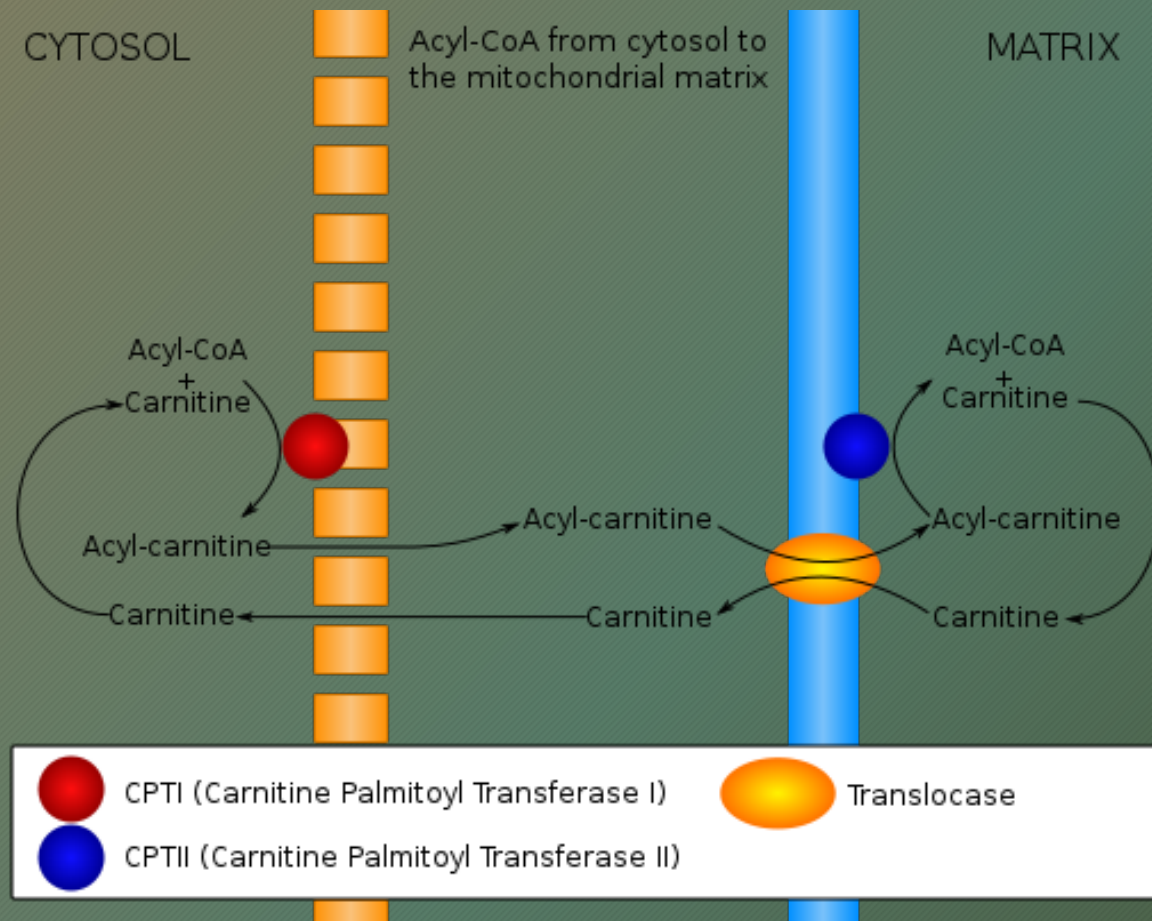
- V závislosti na délce řetězce:
  - MK s krátkým řetězcem (C4-C6)
  - MK se středně dlouhým řetězcem (C8-C10)
  - MK s dlouhým řetězcem (C12-C18)
  - MK s velmi dlouhým řetězcem (> C18)
- Kromě aktivace koenzymem A musí mastné kyseliny od délky 12C použít karnitinového přenašeče, který se nachází mezi vnější a vnitřní membránou mitochondrie.
- Kyseliny delší 18C se musí nejprve zkrátit v endoplazmatickém retikulu nebo peroxizomu.

# Funkce karnitinu

*karnitinacyltransferáza-1 a 2 (CAT-1,2)*



# Funkce karnitinu

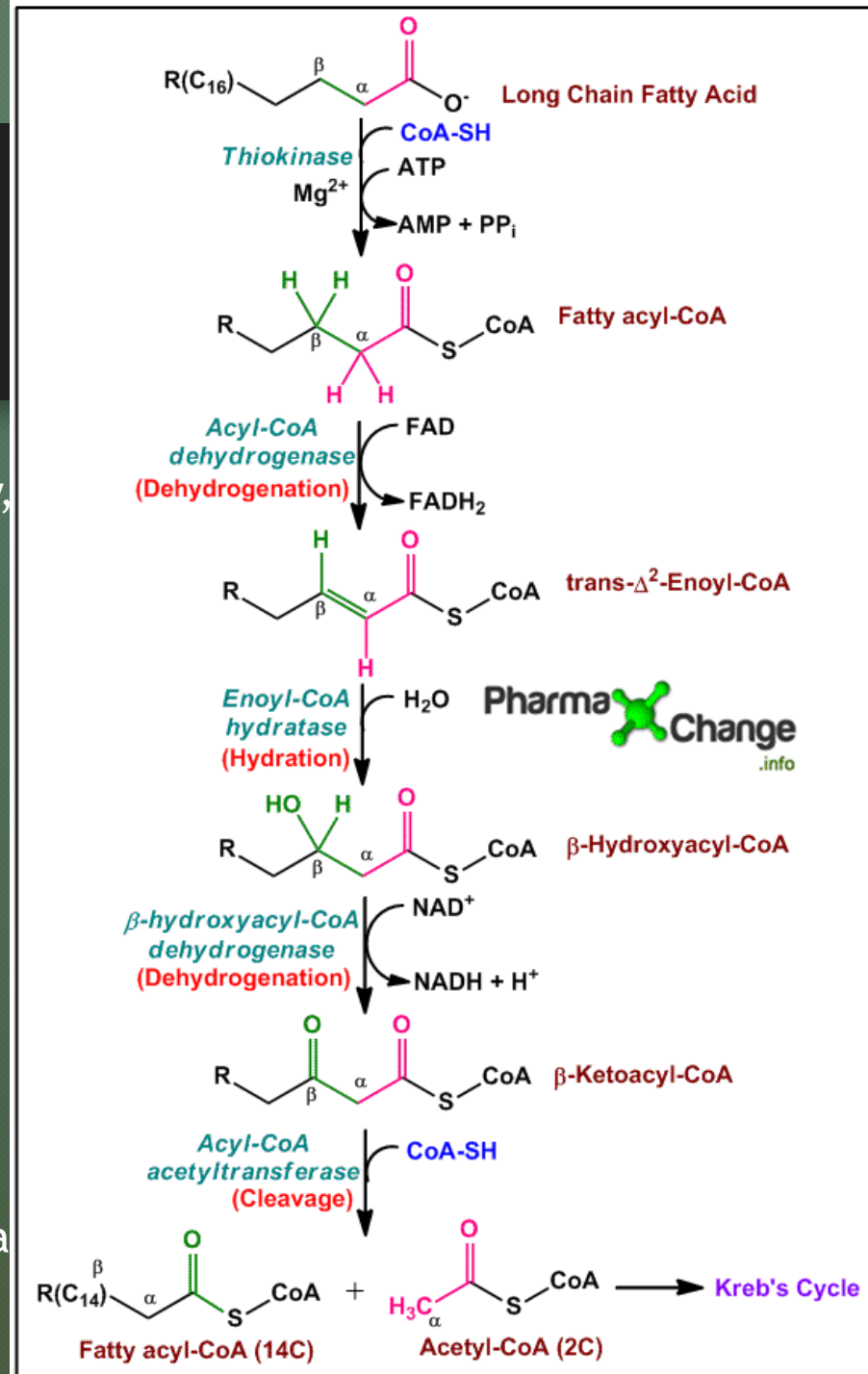


# Beta oxidace MK

- 1.  $\text{Acyl-CoA} + \text{FAD} \rightarrow \text{nenasycený acyl-CoA} + \text{FADH}_2$ 
  - Na  $\beta$ -uhlíku acyl-CoA dochází k dehydrogenaci a tvorbě dvojné vazby, přičemž se redukuje flavinový koenzym.
  - Katalyzováno enzymem acyl-CoA-dehydrogenáza.
- 2.  $\text{Nenasycený acyl-CoA} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \beta\text{-hydroxyacyl-CoA}$ 
  - Adice vody na dvojnou vazbu.
  - Katalyzováno enzymem enoyl-CoA-hydratasa.
- 3.  $\beta\text{-hydroxyacyl-CoA} + \text{NAD}^+ \rightarrow \beta\text{-oxoacyl-CoA} + \text{NADH} + \text{H}^+$ 
  - Dehydrogenace hydroxylové skupiny a  $\beta$ -uhlíku za vzniku  $\text{NADH} + \text{H}^+$ .
  - Katalyzováno enzymem  $\beta$ -hydroxyacyl-CoA-dehydrogenáza.
- 4.  $\beta\text{-oxoacyl-CoA} + \text{HS-CoA} \rightarrow \text{Ac-CoA} + \text{acyl-CoA}(-2\text{C})$ 
  - Konečný krok, kdy se odštěpí Acetyl-CoA a řetězec se tak zkrátí o dva uhlíky.
  - Katalyzováno enzymem thiolasa.

# Beta oxidace MK

- 1. Acyl-CoA + FAD  $\rightarrow$  nenasycený acyl-CoA + FADH<sub>2</sub>
  - Na  $\beta$ -uhlíku acyl-CoA dochází k dehydrogenaci a tvorbě dvojné vazby, flavinový koenzym.
  - Katalyzováno enzymem acyl-CoA-dehydrogenáza.
- 2. Nenasycený acyl-CoA + H<sub>2</sub>O  $\rightarrow$   $\beta$ -hydroxyacyl-CoA
  - Adice vody na dvojnou vazbu.
  - Katalyzováno enzymem enoyl-CoA-hydratasa.
- 3.  $\beta$ -hydroxyacyl-CoA + NAD<sup>+</sup>  $\rightarrow$   $\beta$ -oxoacyl-CoA + NADH + H<sup>+</sup>
  - Dehydrogenace hydroxylové skupiny a  $\beta$ -uhlíku za vzniku NADH + H<sup>+</sup>.
  - Katalyzováno enzymem  $\beta$ -hydroxyacyl-CoA-dehydrogenáza.
- 4.  $\beta$ -oxoacyl-CoA + HS-CoA  $\rightarrow$  Ac-CoA + acyl-CoA(-2C)
  - Konečný krok, kdy se odštěpí Acetyl-CoA a řetězec se tak zkrátí o dva
  - Katalyzováno enzymem thiolasa.



# Výtěžek beta oxidace

- Mastné kyseliny jsou bohatým zdrojem jak Ac-CoA, tak kationtů vodíku, které redukují příslušné koenzymy FAD a NAD<sup>+</sup> - dýchací řetězec.
- Orientační výtěžek pro kyselinu palmitovou (C16) činí:
  - 8x Acetyl-CoA = 80 ATP (v posledním kroku se ze čtyř uhlíkatého acyl-CoA vytvoří 2x Acetyl-CoA);
  - 7x NADH+H<sup>+</sup> = 17,5 ATP;
  - 7x FADH<sub>2</sub> = 10,5 ATP;
  - ztráta 2 ATP pro aktivaci acylu.
- Dohromady je tedy teoretický výtěžek 106 ATP.

# Dělení AMK

- Glukogenní AMK jsou AMK, které mohou být procesem glukoneogeneze převedeny na glukózu. Ketogenní AMK jsou naopak odbourávány na ketolátky.
- Produkce glukózy z glukogenních AMK zahrnuje přeměnu těchto AMK na oxokyseliny a následně na glukózu. Oba tyto děje se odehrávají v játrech. Tento mechanismus se uplatňuje především při nedostatečném příjmu potravy a dlouhotrvajícím hladovění.



# Využití AMK v E metabolismu

- Celý proces začíná odstraněním  $\alpha$ -aminodusíku (obvykle transaminací), načež je částečně oxidovaný řetězec degradován na amfibolické intermediáty (acetyl-CoA, citrát,  $\alpha$ -ketoglutarát, sukcinyl-CoA, fumarát, oxalacetát, acetacetyl-CoA).
- AMK je možné také dělit podle toho, na jaký intermediát je degradována (dělení je opět narušeno např. isoleucinem, který se může degradovat jak na Acetyl-CoA tak na sukcinyl-CoA). Tyto intermediáty mohou být buďto zpracovány citrátovým cyklem, nebo použity v anabolismu.

# Vstup jednotlivých AMK do E metabolismu dle jejich typu

## Glukogenní AMK:

- Alanin
- Arginin
- Asparagin
- Kyselina asparagová
- Cystein
- Kyselina glutamová
- Glutamin
- Glycin
- Histidin
- Methionin
- Prolin
- Serin
- Valin

## Ketogenní AMK:

- Leucin
- Lysin

## Současně glukogenní i ketogenní AMK:

- Isoleucin
- Fenylalanin
- Threonin
- Tryptofan
- Tyrosin

