

Příjem bílkovin a tuků ve vytrvalostním sportu

Mgr. Petr Loskot

LF MUNI, Ústav ochrany a podpory zdraví

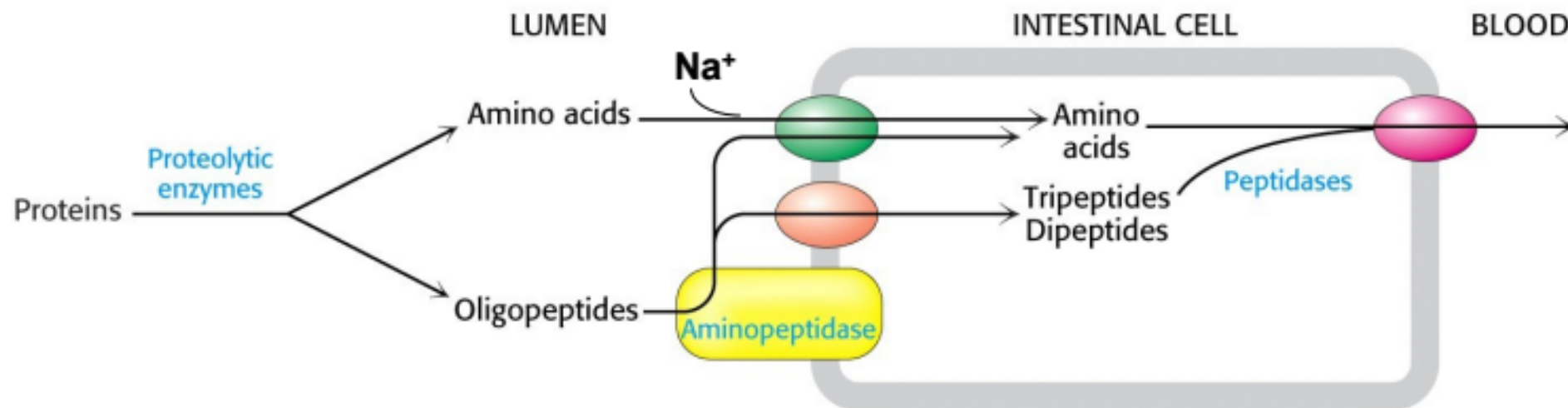
2.4.2024

Obsah prezentace

- Metabolismus bílkovin
- Potřeba bílkovin ve vytrvalostním sportu
- Metabolismus tuků
- Faktory ovlivňující oxidaci tuků během zátěže
- Potřeba tuků ve vytrvalostním sportu

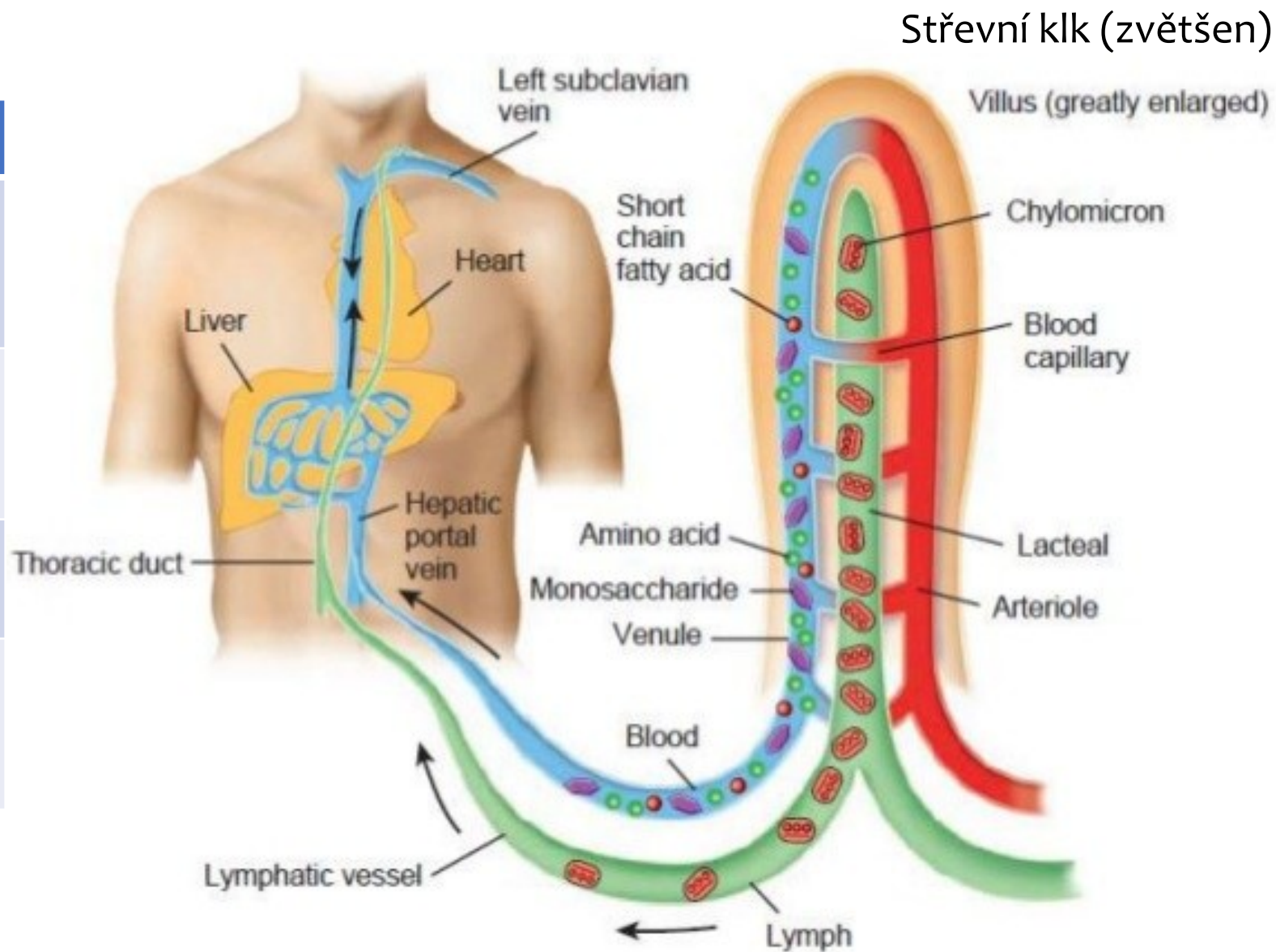
Trávení bílkovin

- Trávení bílkovin začíná v žaludku pomocí **pepsinu a HCl** (HCl aktivuje pepsinogen)
- Pokračuje enzymy obsaženými v **pankreatické šťávě** (trypsin, chymotrypsin, elastáza)
- Trávení se dokončuje pomocí **enzymů kartáčového lemu** (aminopeptidázy, dipeptidázy)
- Buňky střeva vstřebávají buď jednotlivé aminokyseliny, nebo krátké peptidy (di-, tri-)
- **Děje se tak prostřednictvím specifických transportérů:**
 - 1) Jednotlivé aminokyseliny symportem s Na^+
 - 2) Krátké peptidy symportem s H^+



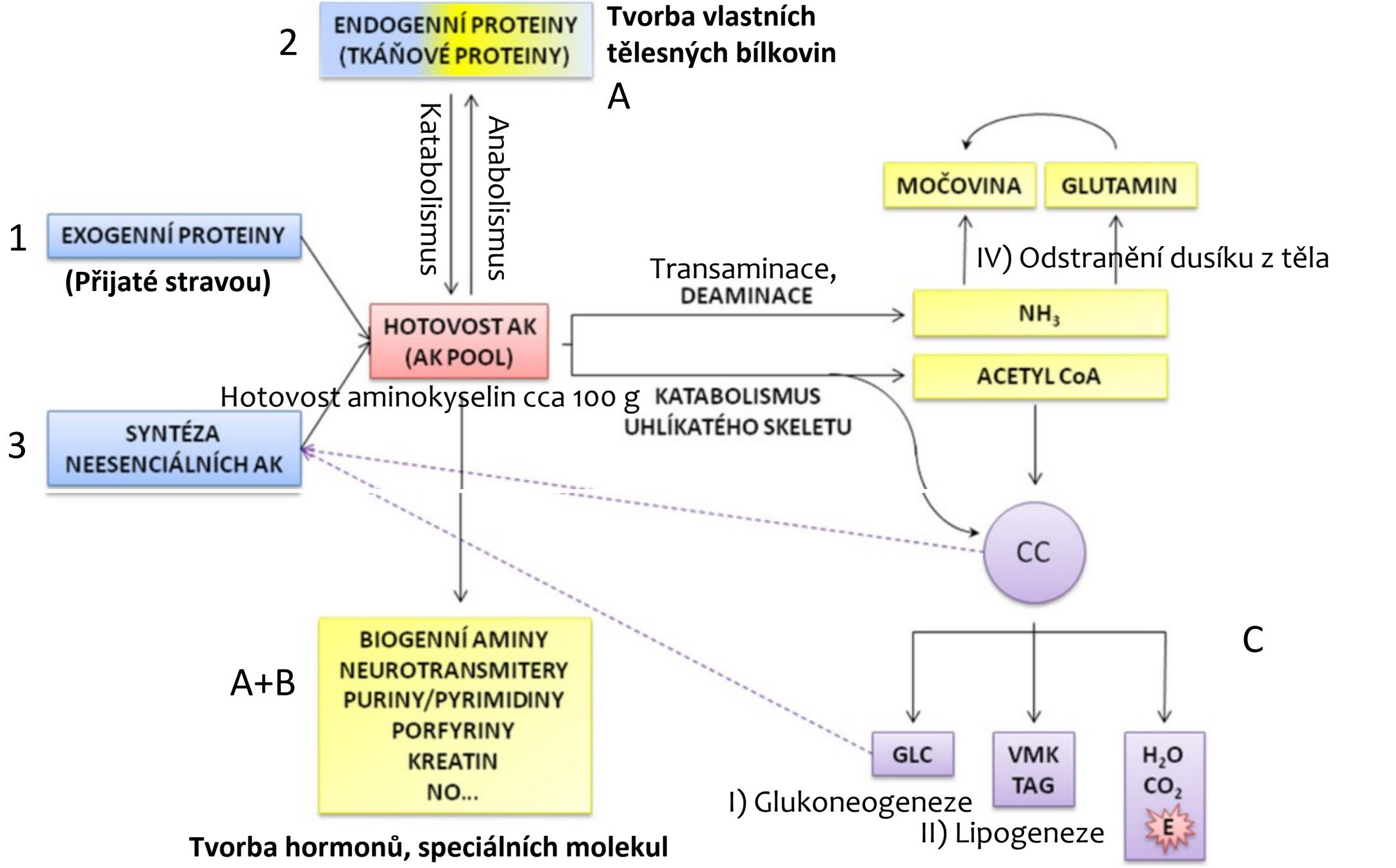
Putování živin ze střeva

Portální žilou do jater a dále do krevního oběhu	Lymfatickým systémem do krevního oběhu
Aminokyseliny, sacharidy, SCFA, MCFA	Dlouhé mastné kyseliny (LCFA)
Rychlejší transport do krve	Pomalejší transport do krve
Rychleji k dispozici jako zdroj energie	Pomaleji k dispozici jako zdroj energie



Osudy bílkovin v organismu

- V organismu je udržována pohotovostní zásoba aminokyselin, které mohou být ihned použity pro potřeby organismu, **tzv. pool aminokyselin (hotovost), cca 100 g aminokyselin v krevním oběhu**
- Zdrojem této hotovosti jsou:
- **1) AMK přijaté potravou**
- **2) AMK endogenní (našich tkání – přirozená neustálá degradace a znovuvytvoření)**
- **3) AMK, které si umíme sami syntetizovat (neesenciální aminokyseliny)**



Tvorba hormonů, speciálních molekul

III) Přímá tvorba energie

Osudy bílkovin v organismu

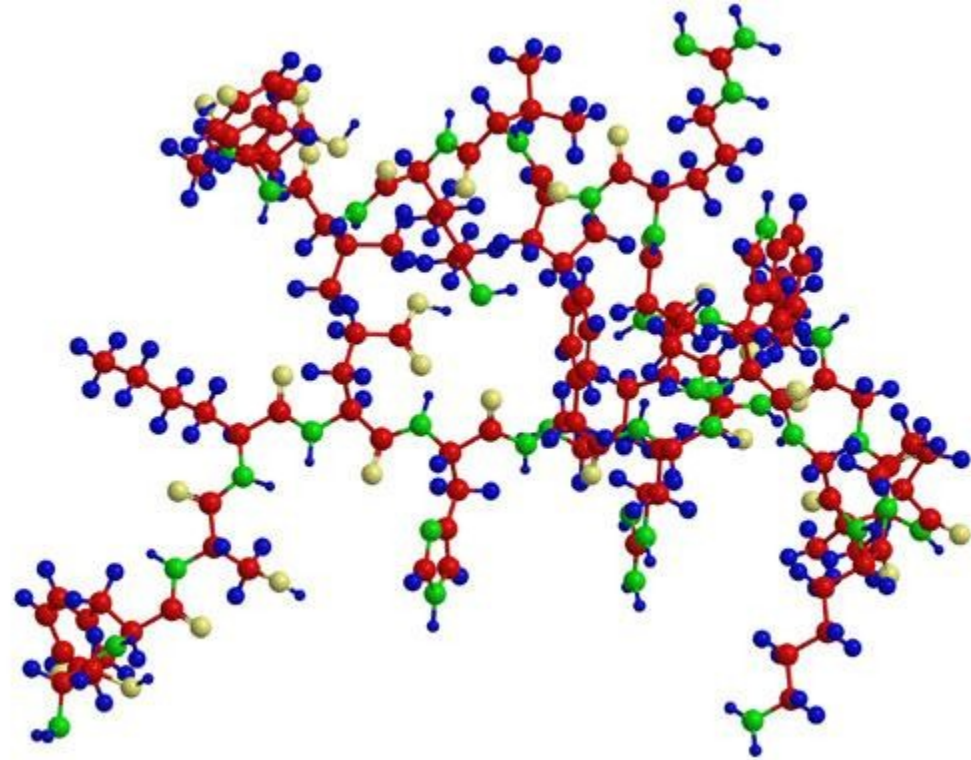
- Tato pohotovostní zásoba může být použita na:
- **A) Tvorba vlastních proteinů: (svalové bílkoviny, bílkoviny orgánů a dalších tkání nebo proteinů krevní plazmy)**
- **B) Tvorba specializovaných molekul: (hormony, signální proteiny, atd.)**
- **C) Katabolismus bílkovin: využití bílkovin jinak než jako „stavebních kamenů“:**
 - I) Tvorba glukózy v procesu glukoneogeneze (z tzv. glukogenních AMK)
 - II) Tvorba mastných kyselin a tělesného tuku - lipogeneze (v extrémním případě)
 - III) Přímá tvorba energie přes Acetyl-CoA (např. oxidace aminokyselin během zátěže)
 - *IV) Ve všech případech nutné odstranění dusíku pryč z organismu*

A) Tvorba vlastních proteinů

- Proteiny jsou základní stavební komponenty živých organismů
- Většina proteinů podléhá neustálé degradaci a opětovnému vytvoření
- **Organismus si tvoří základní 2 druhy proteinů:**
 - **1) Tkáňové: proteiny svalové**, proteiny orgánů, enzymy, proteiny buněčných struktur. „Jsou někde vázané.“
 - **2) Plazmatické:** v každém litru krevní plazmy je rozpuštěno 65–85 g různých proteinů, které plní různé funkce (transportní, imunitní). „Volně se pohybují v krvi.“

B) Tvorba specializovaných látek

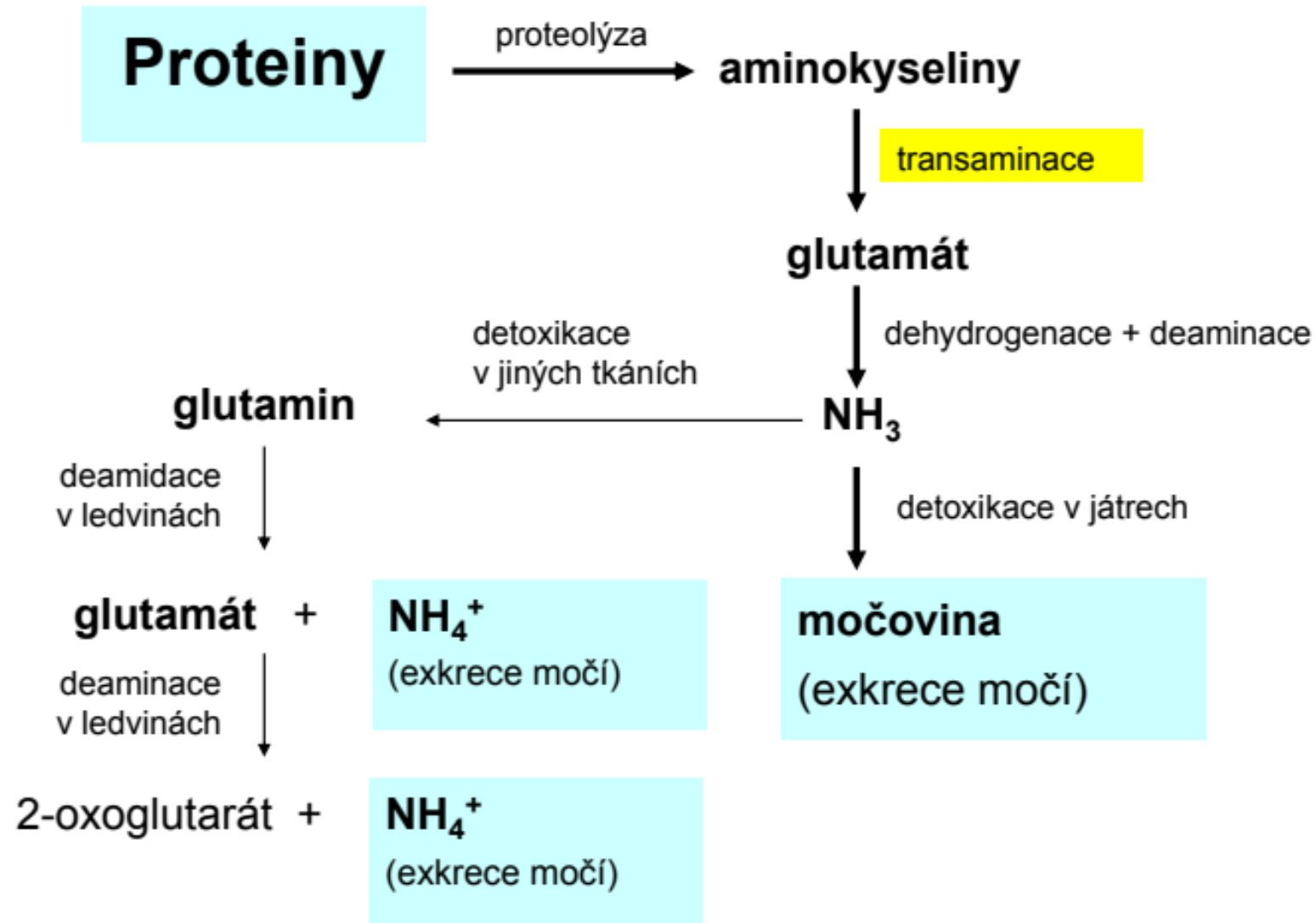
- Hormony
- Signální molekuly
- Kreatin, beta-alanin
- Růstové faktory
- Látky potřebné pro syntézu DNA
- Proteiny mateřského mléka
- a další



C) Katabolismus bílkovin („využití jinak než jako stavební kameny“)

- Při nadměrném příjmu bílkovin ze stravy může být aminokyselinám z molekuly odstraněn dusík v procesu transaminace (budeme si dále ukazovat)
- Takto vznikne uhlíková struktura, která může poskytnout:
 - I) Syntéza glukózy (glukoneogeneze)
 - II) Syntéza MK a TAG (lipogeneze, tvorba tuku)
 - III) Přímá tvorba energie v buňce
- **Odstraněný dusík z aminokyselin musí být následně odstraněn z těla**

IV) Odstranění dusíku z těla (detoxikace)

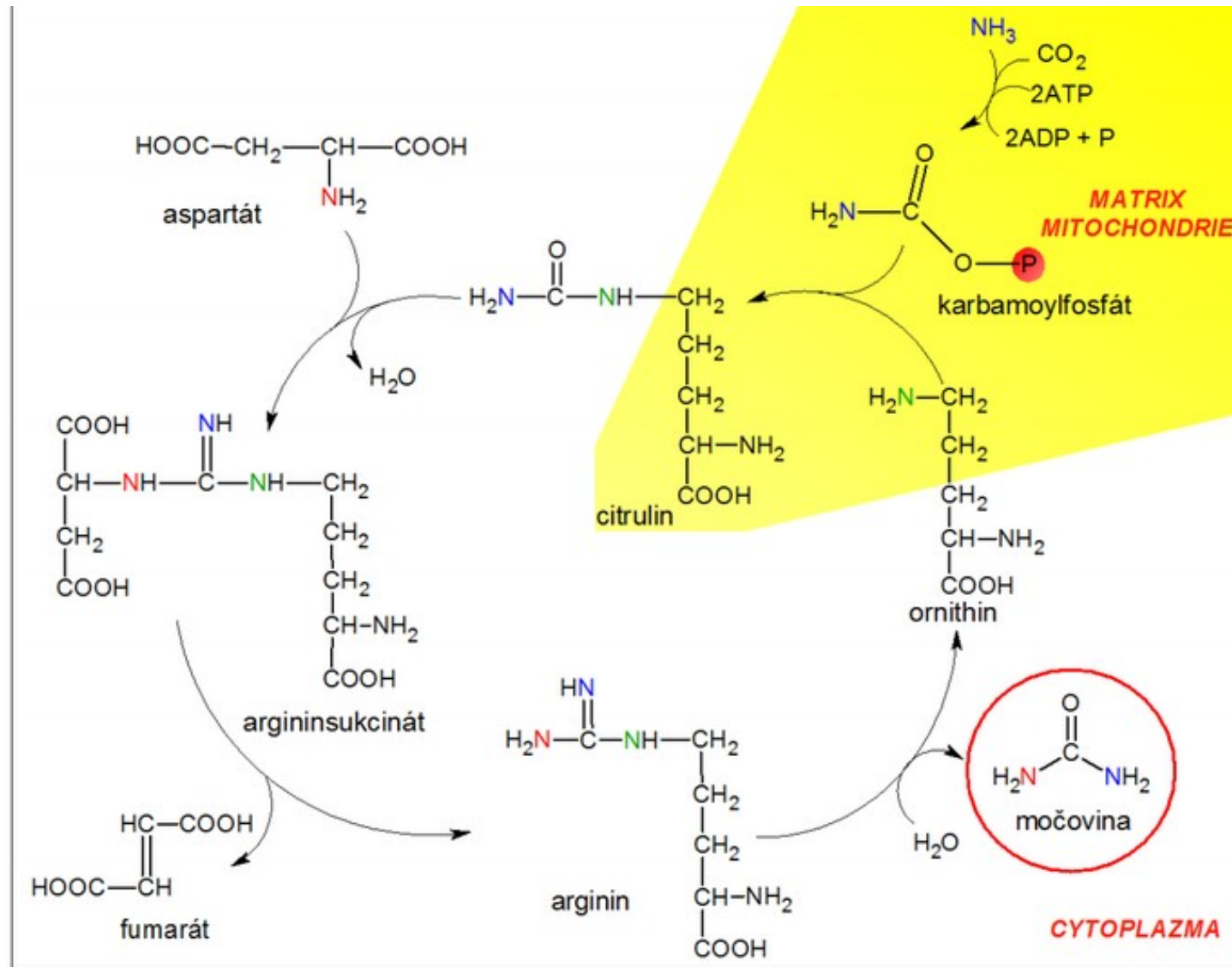


Katabolismus bílkovin

- **Vznikající amoniak je toxický, a proto se musí detoxikovat**
- Hlavním detoxikačním orgánem jsou játra, dalším orgánem zapojeným do detoxikace amoniaku jsou ledviny, které amoniak odštěpují z molekuly glutaminu
- **Způsoby detoxikace:**
- **1) Močovinový cyklus** – nejdůležitější, probíhá v játrech
- **2) Zabudování amoniaku do molekuly glutaminu** → detoxikace v ledvinách
- **3) Zapojení amoniaku molekuly glutamátu** → glutamát pak vstoupí do jednoho z výše uvedených procesů



Cyklus močoviny: proces stojí 4 ATP



Faktory ovlivňující potřebu bílkovin

- Věk
- Hmotnost, tělesné složení jedince
- Probíhající onemocnění/rekonvalescence
- **Druh tréninku (odporový vs. vytrvalostní)**
- **Parametry tréninku (objem tréninku, intenzita, frekvence)**
- Tréninkový status sportovce (začátečník vs. pokročilý)
- Energetický příjem (nabírání/udržování/dieta → odlišný osud bílkovin v organismu)
- Aktuální cíle sportovce (nabírání hmotnosti vs. redukce hmotnosti)
- Kvalita přijímaných bílkovin (obsah EAA+leucinu, stravitelnost, biologická hodnota)

Oxidace bílkovin během vytrvalostní zátěže

1–15 % energetického výdeje během zátěže oxidace AMK
Př: výdej 1000 kcal → 100 kcal → 25 g AMK zoxidovaných během FA
80 kg sportovec → ztráty cca 0,3 g/kg TH B

Muži oxidují 1,5–2x více aminokyselin během zátěže než ženy

K vyšší oxidaci bílkovin bude docházet
při neadekvátním příjmu energetických substrátů,
např. tedy také v dietním režimu

Potřeba bílkovin u vytrvalců: Oficiální doporučení

- Základní potřeba bílkovin člověka cca 0,8–1,0 g/kg TH
- **Pohled na příjem proteinů se i ve vytrvalostním sportu mění...**
- **Tarnopolsky (2004) Protein requirements for endurance athletes.:
Většina 1,2–1,4 g/kg, příjem maximálně 1,6 g/kg TH**
- **Kato (2016) Protein Requirements Are Elevated in Endurance Athletes after Exercise as Determined by the Indicator Amino Acid Oxidation Method:
1,65–1,8 g/kg TH**

**ACSM (American College of Sports Medicine) (2016),
Position Statement: Nutrition and Athletic Performance:
Široké rozmezí 1,2–2,0 g/kg TH**

Kato (2016) Protein Requirements Are Elevated in Endurance Athletes After Exercise as Determined by the Indicator Amino Acid Oxidation Method

- general habitual training volume of the participants. (i.e. self-reported at ~45–130 km/wk)
- The indicator amino acid oxidation (IAAO) method is based on the concept that when 1 indispensable amino acid (IDAA) is deficient for protein synthesis, then all other IDAA, including the indicator amino acid, will be oxidized. With increasing intakes of the limiting amino acid, IAAO will decrease, reflecting increasing incorporation into protein. Once the requirement for the limiting amino acid is met, there will be no further change in the indicator oxidation.

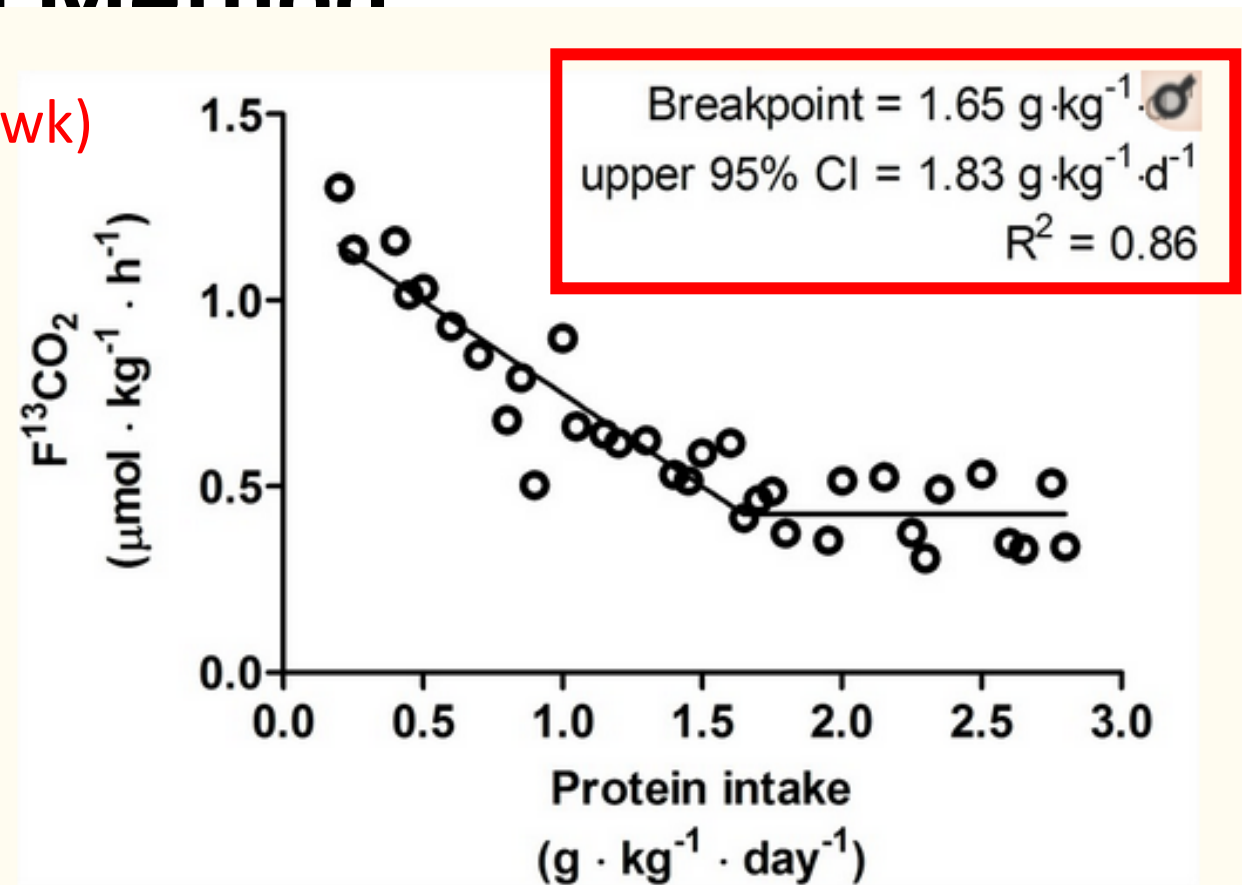


Fig 3
Relationship between protein intake and F¹³CO₂.

Příjem bílkovin před vytrvalostním tréninkem

- **Poslední jídlo** před vytrvalostním tréninkem dle preferencí a zkušeností sportovce **zhruba 90–120 minut před tréninkem (Obsah B+S)**
- **Obsah dobře stravitelných bílkovin + sacharidů** (dle celkového denního příjmu, vhodnější spíše komplexní sacharidy → udržení glykemie)
- Příjem proteinů by měl být jinak rozvržen pravidelně během dne **v časových rozestupech 3–5 hodiny**, což kopíruje zvýšenou MPS v návaznosti na příjem potravy
- Obecně je doporučován **příjem bílkovin na 1 porci v množství 0,3 g/kg TH, nebo 20–40 g v absolutním množství**

Příjem bílkovin po výkonu

- **Ideální případ:**

- 1) Tekutá výživa: 0,8–1,0 g/kg S + 0,3 g/kg B (v poměru zhruba 2–3 : 1 ve prospěch S)
- 2) Pevné jídlo s podobným obsahem živin za 60–120 minut

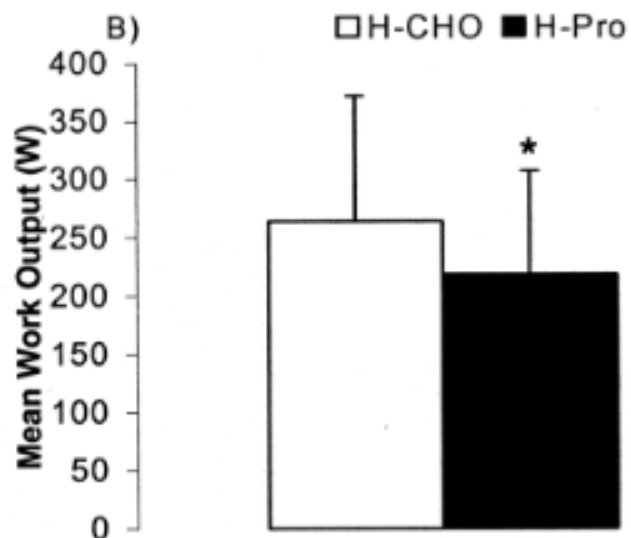
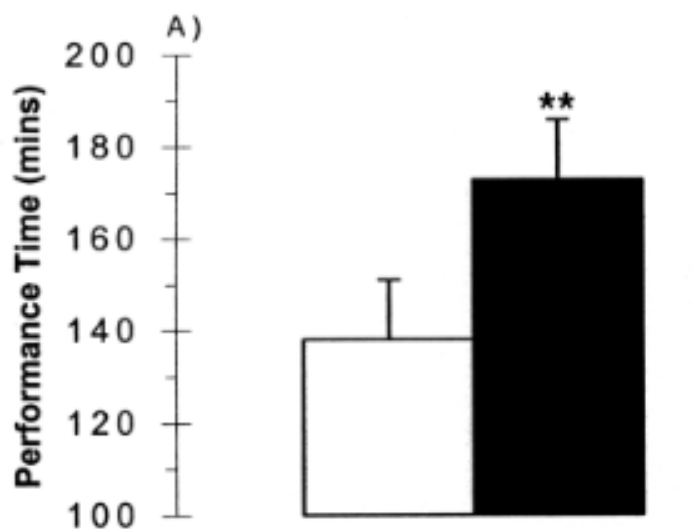
- **Případ bez tekuté výživy:**

- 1) Pevné jídlo s obsahem živin 0,8–1,0 g/kg S + 0,3 g/kg B, lehce stravitelné

MacDermid (2006): A whey-supplemented, high-protein diet versus a high-carbohydrate diet: effects on endurance cycling performance.

- Dva 7denní stravovací plány a jejich vliv na výkon ve vytrvalostním závodě

Živina	High-Protein	High-Carb
Energie	Stejná	Stejná
Proteiny	3,3±0,4 /kg	1,3±0,4 g/kg
Sacharidy	4,9±1,8 g/kg	7,9±1,9 g/kg
Tuky	1,3±0,3 g/kg	1,2±0,3 g/kg



Potřeba tuků ve vytrvalostním výkonu

Hormony zapojené do metabolismu tuků

Hormon	Primární funkce	Konkrétní funkce
Inzulin	Anabolismus	Podpora ukládání živin do tukové tkáně, podpora syntézy TAG, blokáce lipolýzy
Glukagon	Katabolismus	Štěpení triacylglycerolů v tukové tkáni
Kortizol	Katabolismus	(Rozdíl v akutním a chronickém působení) Podpora mobilizace tuků z končetin Podpora ukládání tuků na trupu a obličeji
Adrenalin	Katabolismus	Štěpení triacylglycerolů v tukové tkáni
Estrogen	Anabolismus	Specifické ukládání tuku do ženských míst
Testosteron	Anabolismus	Spojitost mezi nižší hladinou T a zvýšením zastoupením tělesného tuku
Růstový hormon	V případě tuků katabolismus	Podpora mobilizace tuků jako zdroje energie a jejich oxidace

Odkud pochází tuky oxidované během zátěže?

Tuky

**Mastné kyseliny uvolňované
z tukové tkáně během zátěže
Nárůst jejich koncentrace 2–3x oproti klidovým hodnotám**

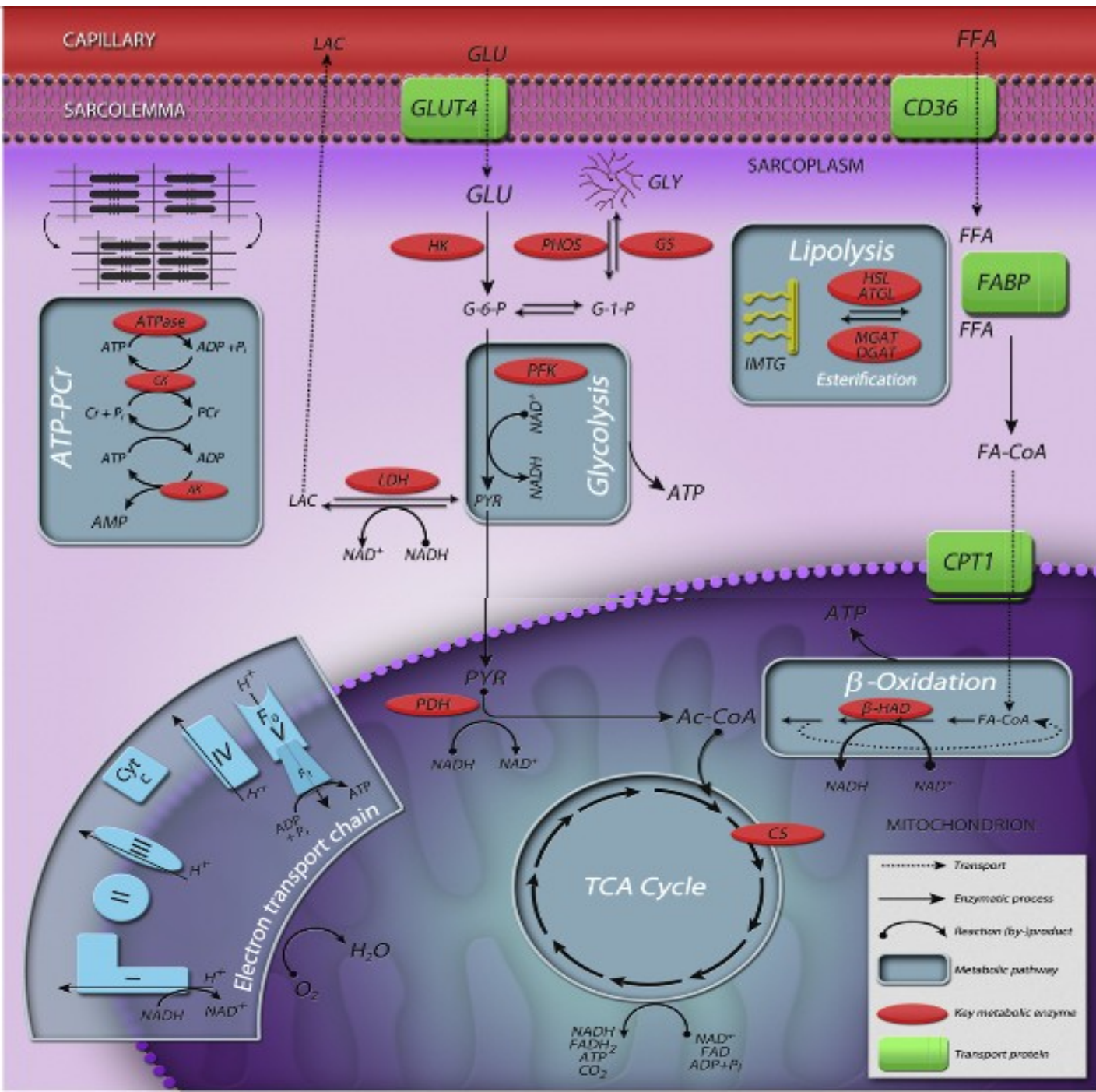
Intramuskulární zásoby tuku (IMTG)

Ketolátky při navozené ketóze

Tuky z lipoproteinů
(chylomikrony a VLDL lipoproteiny),
které jsou transportovány v krevním oběhu po požití stravy

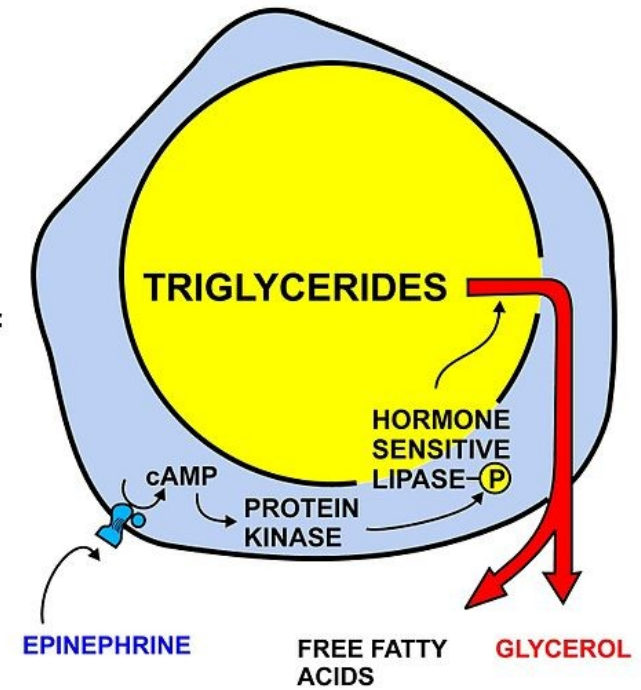
Klíčové enzymy a transportéry zapojené v metabolismu tuků

- **FAT/CD36: transportní protein přes cytoplazmatickou membránu**
 - Stimulován svalovou kontrakcí
 - Exprese zvýšená trénovaností
 - Ženy zřejmě větší množství než muži (vliv estrogenu)
- **CPT1, Karnitin-palmitoyltransferáza 1**
 - Přenos dlouhých mastných kyselin (více jak 12 C) přes mezimembránový prostor mitochondrie do matrix → vznik acyl karnitinu
- **CPT2, Karnitin-palmitoyltransferáza 2**
 - Katalyzuje uvolnění acylu z acyl karnitinu v mitochondriální matrix
- **CACT, Karnitinacylkarnitintranslokáza**
 - Přesunuje acyl karnitin přes mezimembránový prostor



LIPOLYSIS

IN THE ADIPOCYTE:

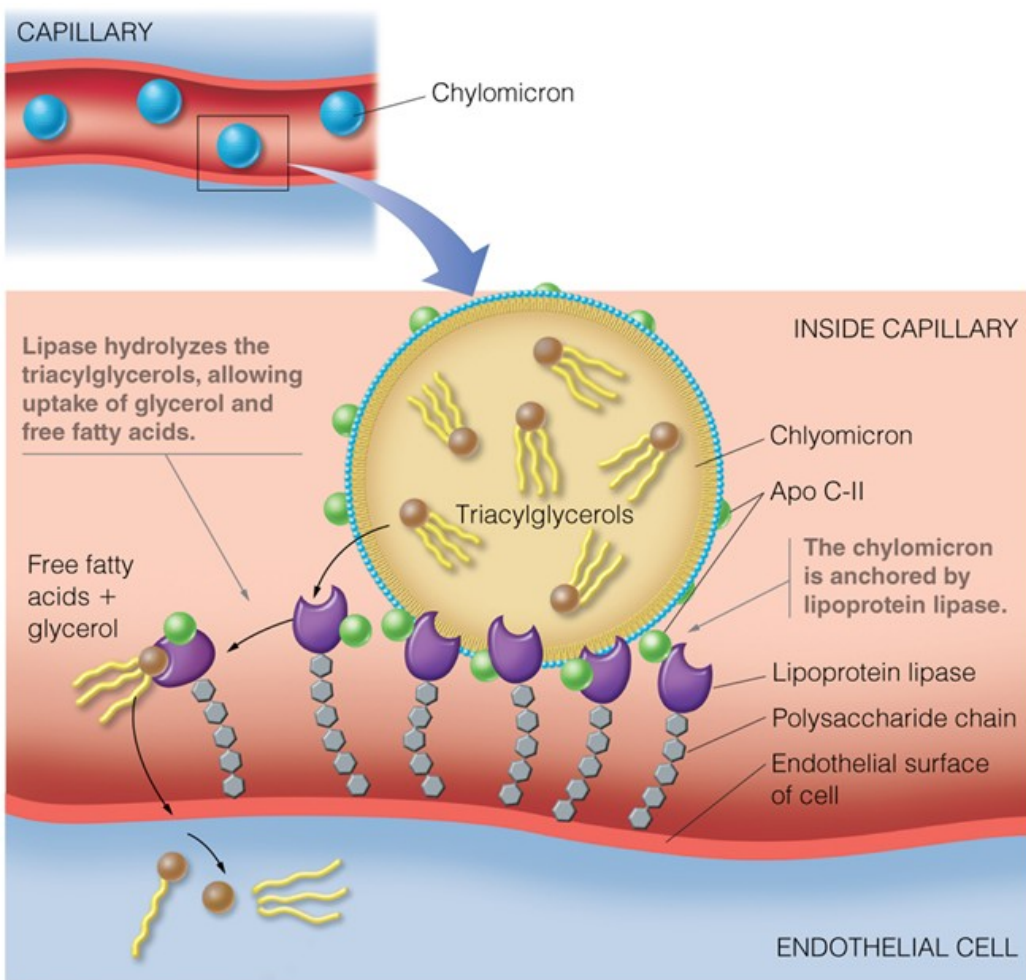


Při zátěži se zvyšují koncentrace adrenalinu více než 20x nad klidové hodnoty

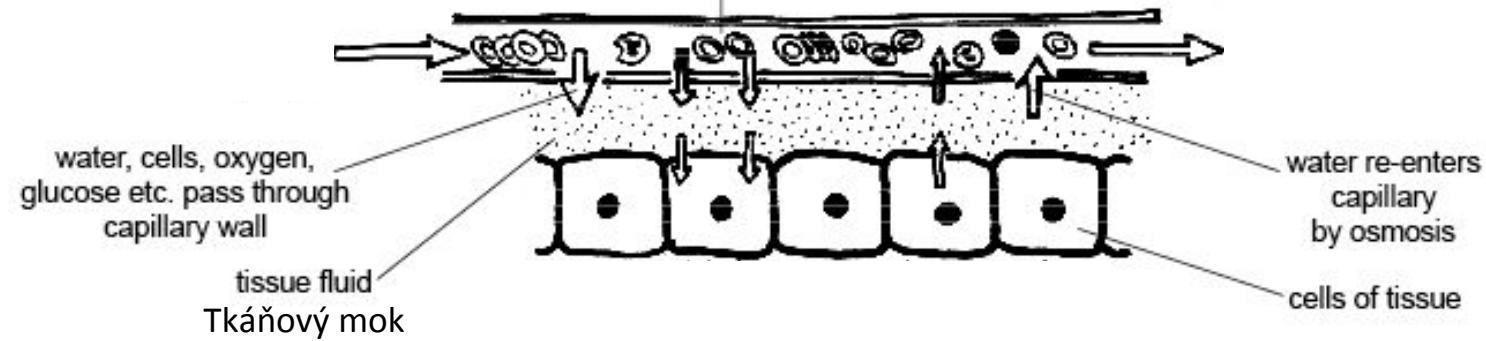
Při zátěži na 60% $VO_2\text{max}$ se množství mastných kyselin v krvi zvyšuje až 3x ve srovnání s klidovým stavem

Přechod mastných kyselin z krve do tkáňového moku a dále do buněk: Lipoproteinová lipáza (LPL)

Kapilára – drobná céva zásobující tkáň živinami



Kapilára – drobná céva zásobující tkáň živinami
capillary containing blood

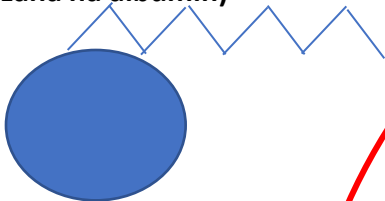


Lipoproteinová lipáza – enzym, který „nasává“ triacylglyceroly z chylomikronů putujících krví. Štěpí je na mastné kyseliny, které poté mohou přejít tkáňovým mokem dále do buněk, kde jsou buď spáleny za vzniku energie, nebo uloženy jako zásobní tuk.

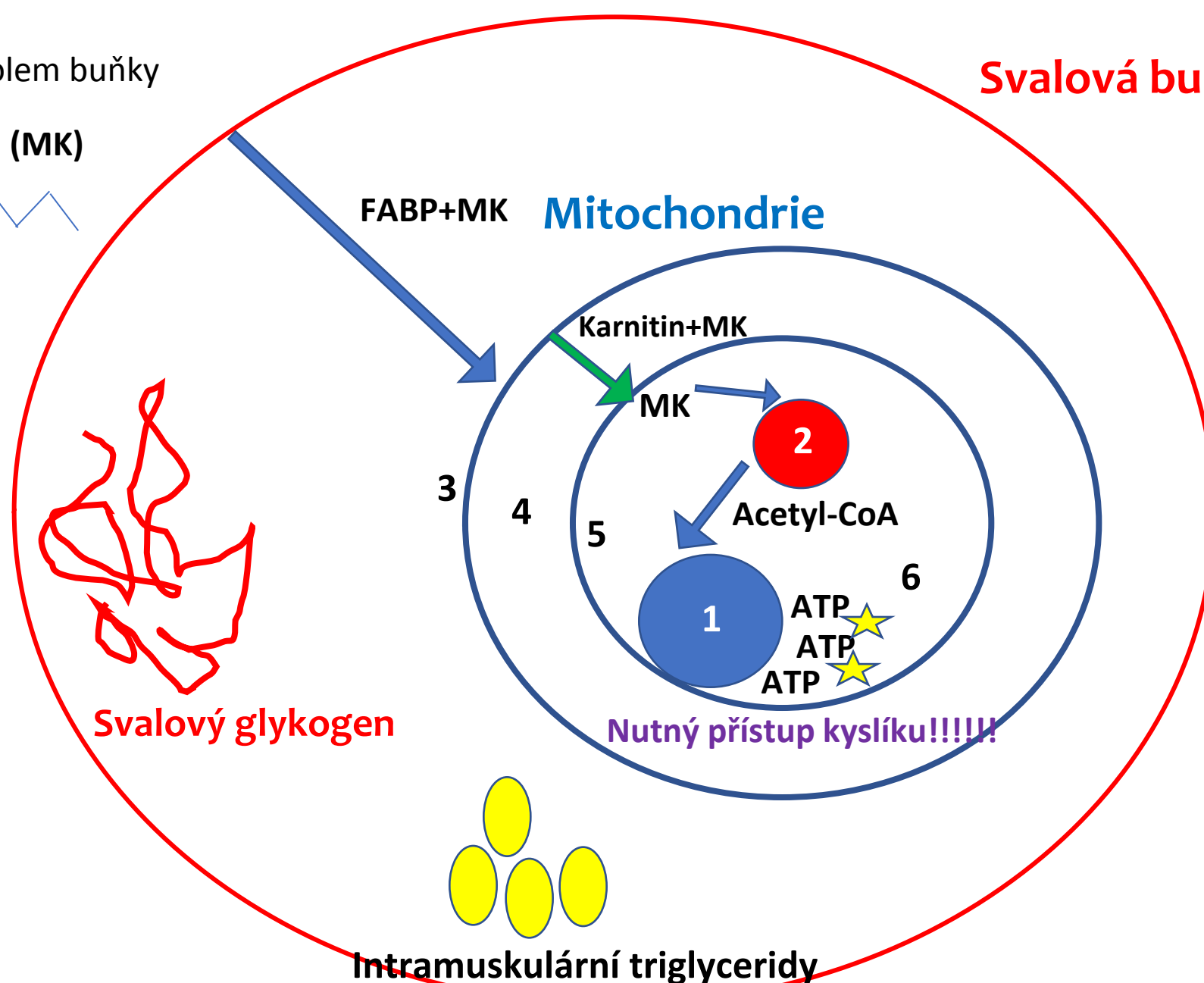
Beta-oxidace mastných kyselin – získávání energie z tuků

Tkáňový mok kolem buňky

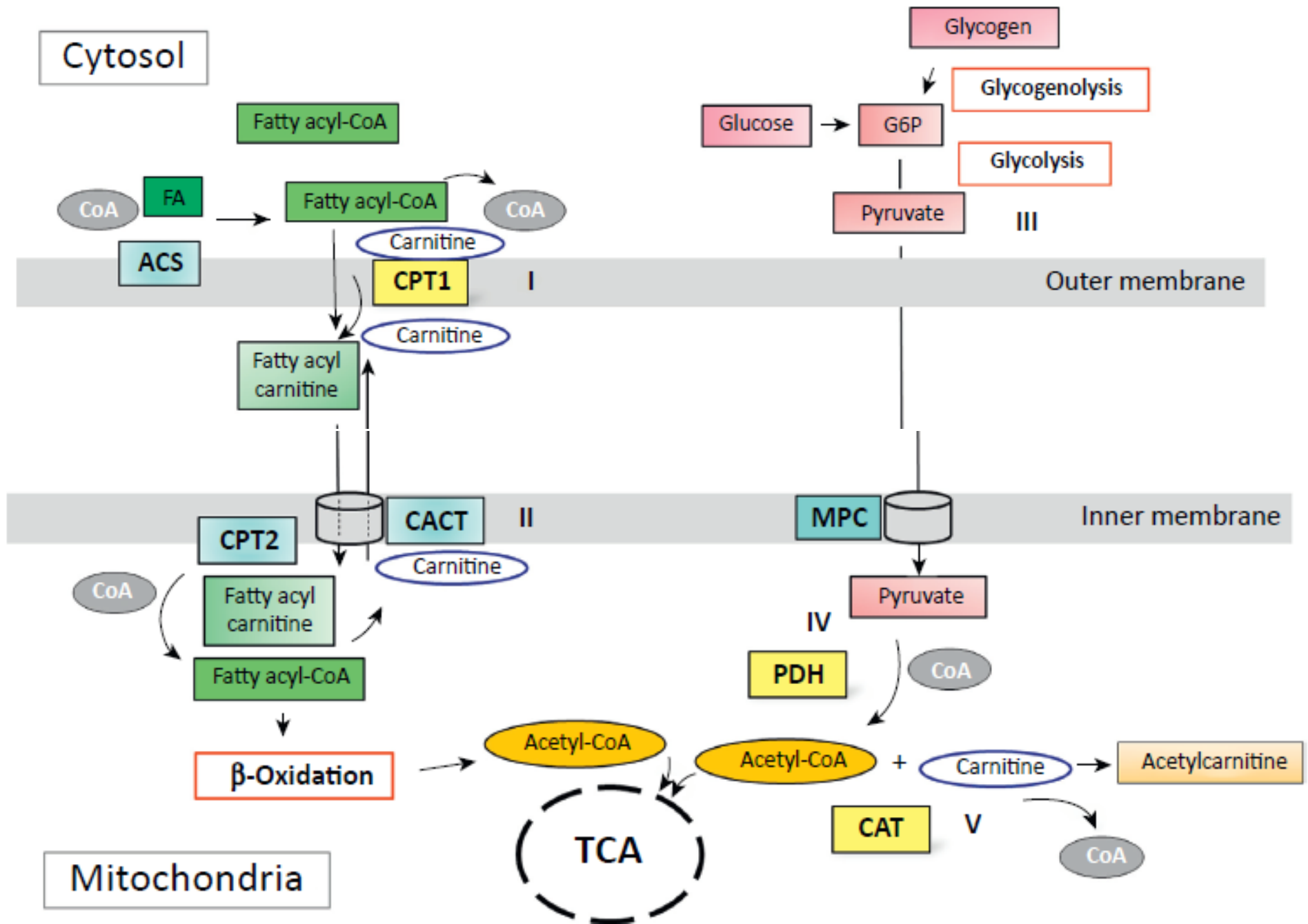
Mastná kyselina (MK)
(vázaná na albumin)



Svalová buňka



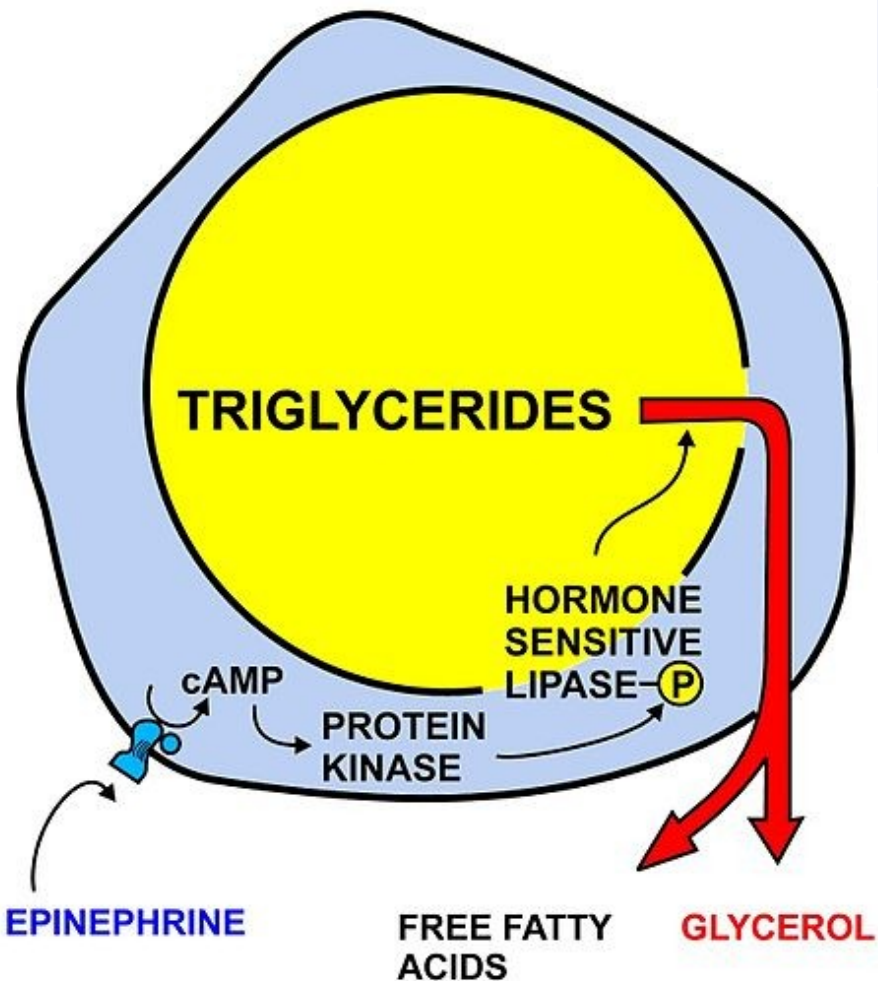
- 1) Citrátový cyklus+Dýchací řetězec
- 2) Beta oxidace MK
- 3) Vnější mitochondriální membrána
- 4) Mezimembránový prostor
- 5) Vnitřní mitochondriální membrána
- 6) Mitochondriální matrix (vnitřek ☺)



Mobilizace tuků z tukové tkáně: Hormonsenzitivní lipáza

LIPOLYSIS

IN THE ADIPOCYTE:



IN THE BLOOD:

EPINEPHRINE

FREE FATTY
ACIDS

GLYCEROL

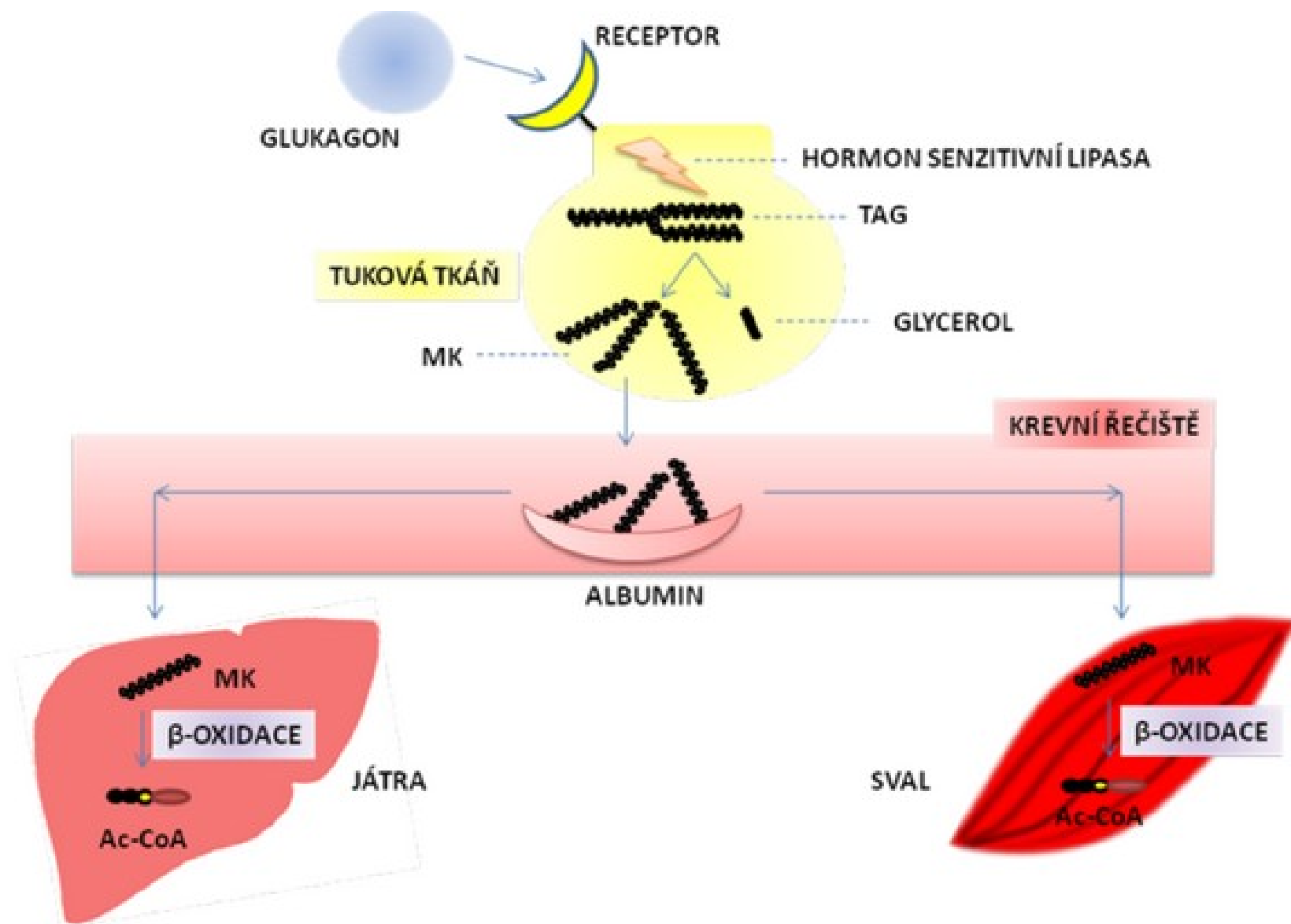
Období zvýšené mobilizace tukových zásob

Kalorický deficit

Delší fyzická aktivita

Delší lačnění, hladovění

Low carb, Ketogenní strava
(nevede ovšem k efektivnějšímu hubnutí)



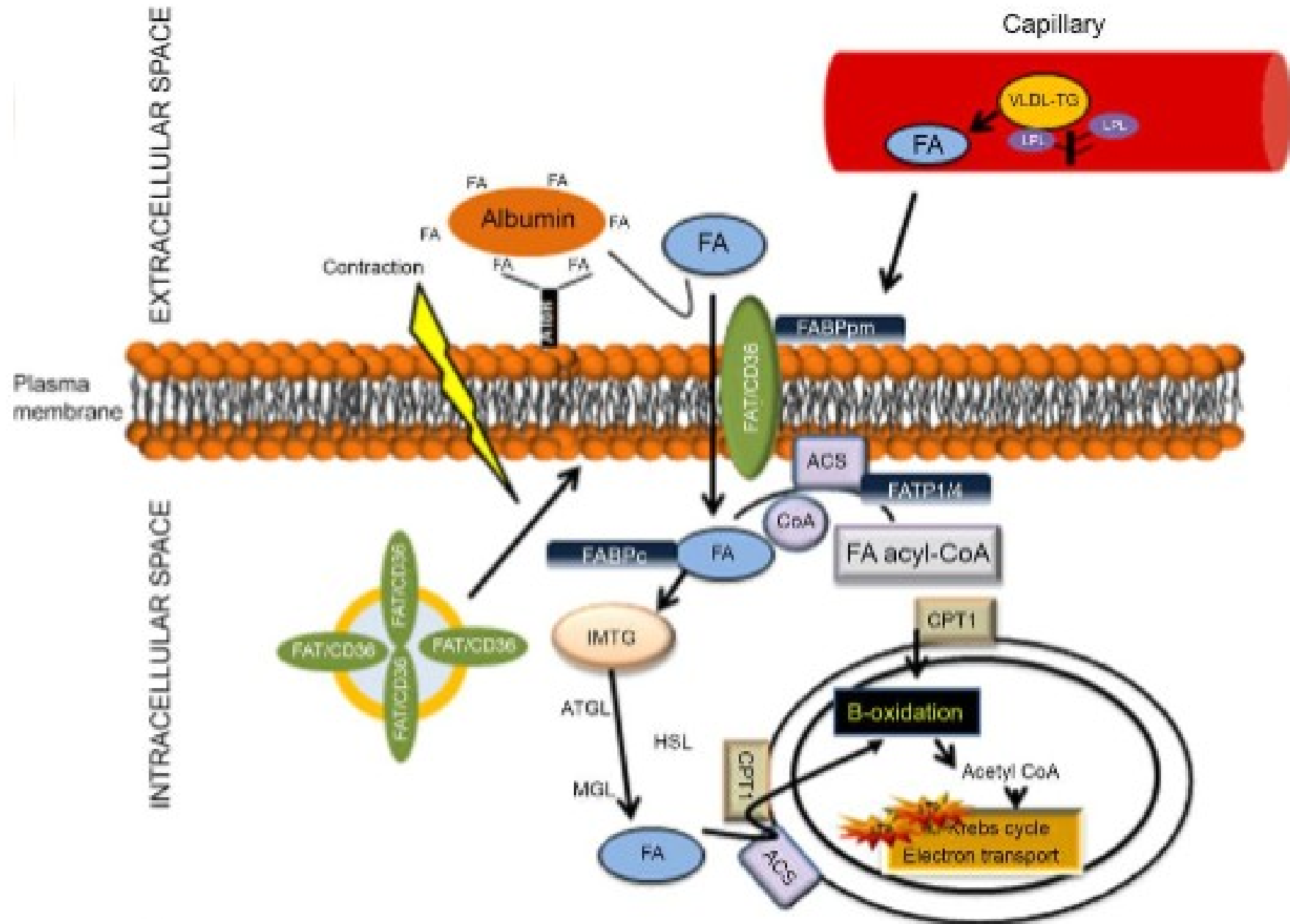
Složení lidské tukové tkáně

- **Lidská tuková tkáň se neskládá ze 100 % z „tuku“, TAG tvoří asi 85 %.**
- 1 g tuku = 9 kcal, $9 \times 850 = 7650$ kcal
- $7650 \times 4,2 =$ cca 32 200 kJ
- **Hall (2008), What is the Required Energy Deficit per unit Weight Loss?**

Složka	Procentuální zastoupení
Tuk	83–87 %
Voda	10–15 %
Proteiny	2–3 %

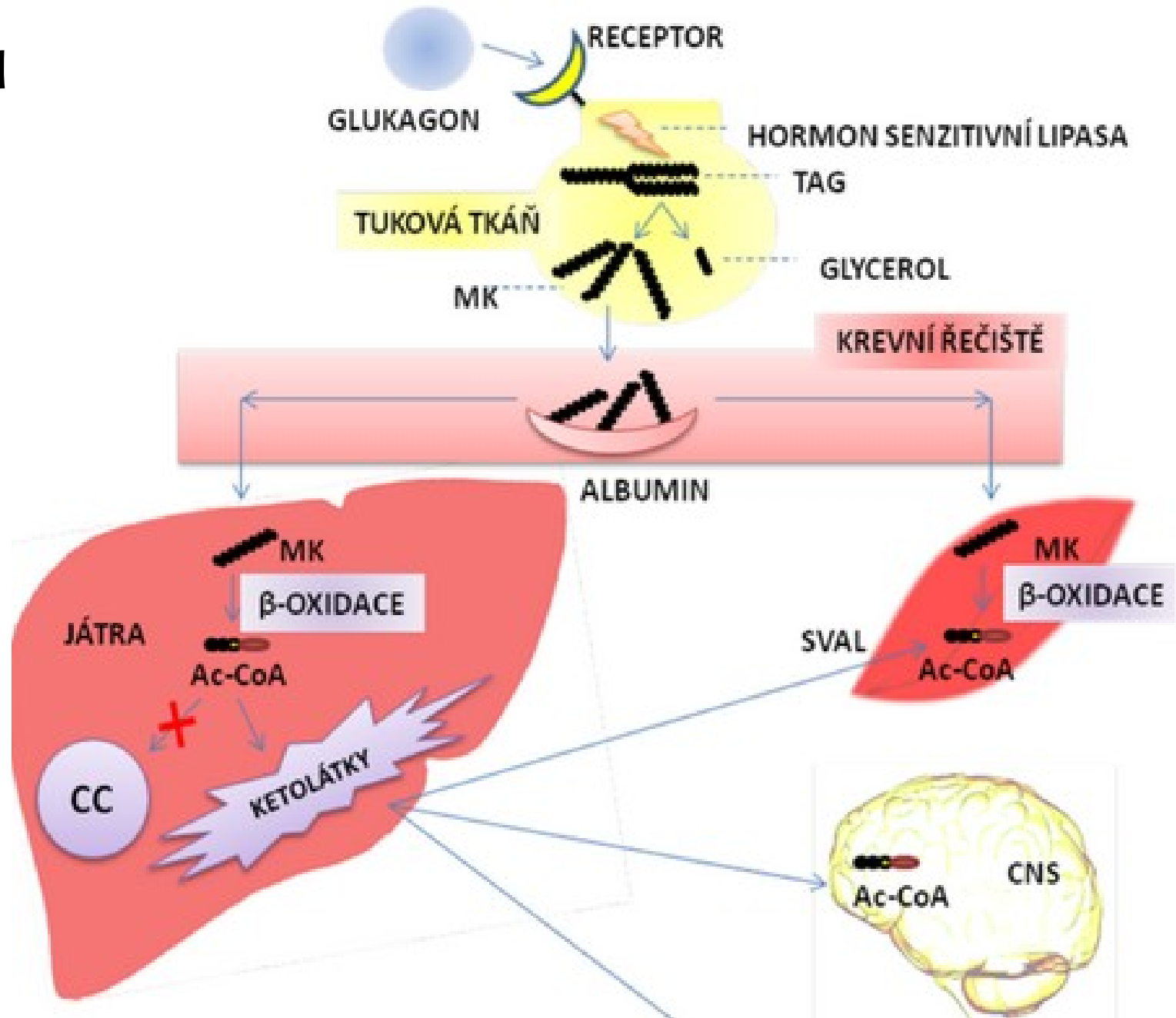
IMTG (Intramuskulární TAG) a oxidace během FA

- Zásoby IMTG zvýšeny u **vytrvalostních sportovců** a **fyziologicky více u žen než mužů**
- **Představují zhruba 1–2 %** veškerých tukových zásob člověka
- Tvorba během klidu po jídle bohatých na tuky
- Poměrně významný zdroj energie pro pracující svaly
- Při intenzitě zátěže v trvání cca 2 hodin při 50–65 % VO_2 max asi 1/3 ox. MK
- Při FA jsou přijímané MK rovnou oxidovány a nejsou zabudovávány do IMTG
- Po cca 90–120 minutách zátěže oxidace IMTG tuku značně klesá
- **IMTG jsou štěpeny 2 lipázami:**
 - 1) **ATGL** (adipose tissue triglyceride lipase)
 - 2) **HSL** (hormon senzitivní lipáza)



Ketóza a vznik ketonů

- Využívána některými sportovci
- **Je třeba rozlišovat:**
- **Nutriční ketóza** – fyziologický stav – hladovění nebo (cílený) nedostatek sacharidů ve stravě
- **Ketoacidóza** – stav u dekompenzovaných diabetiků, nadměrné vystupňování lipolýzy a nadměrná koncentrace ketonů v krvi → acidóza, ohrožení života

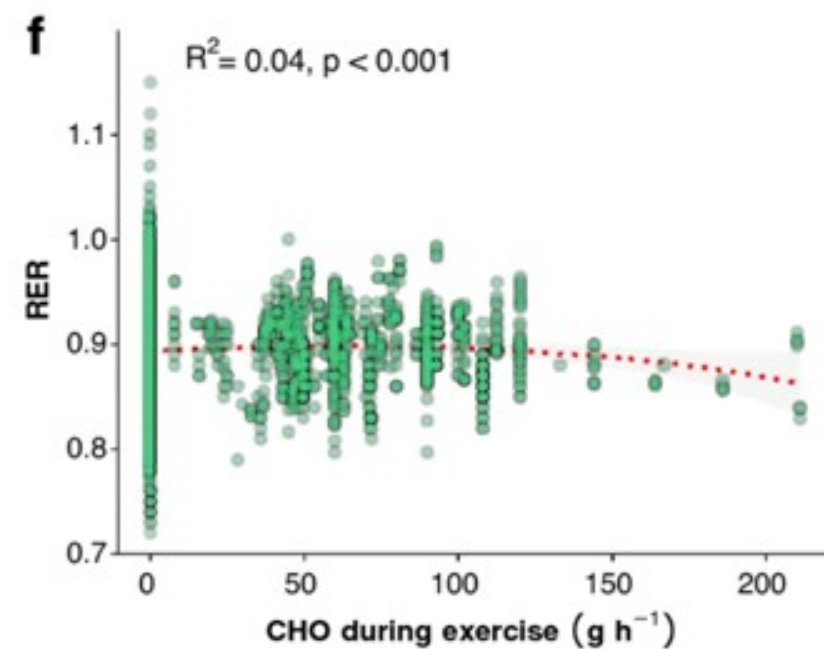
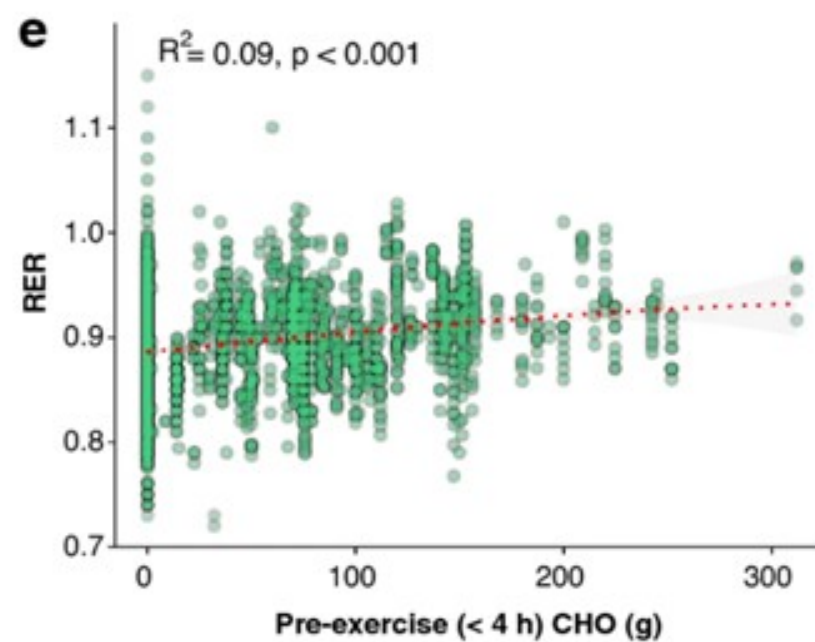
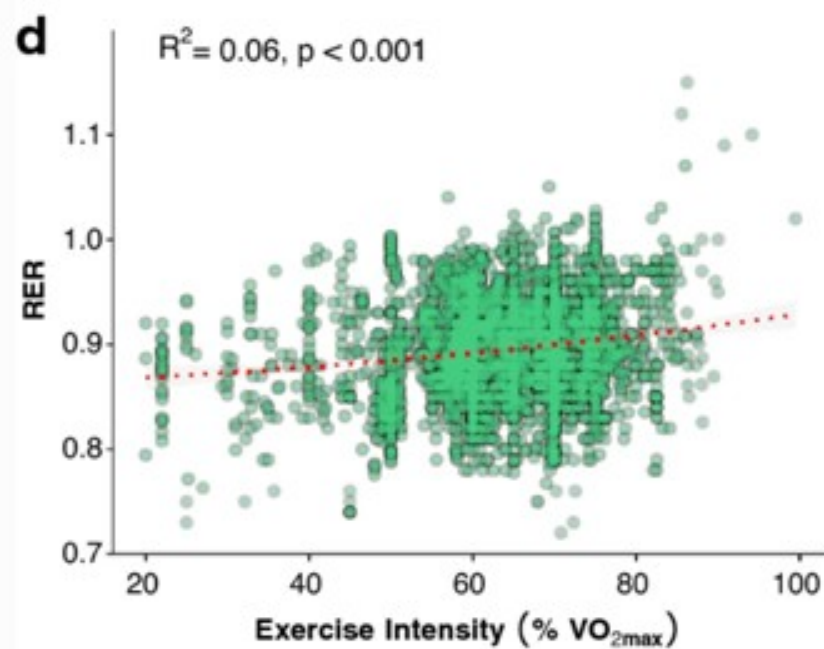
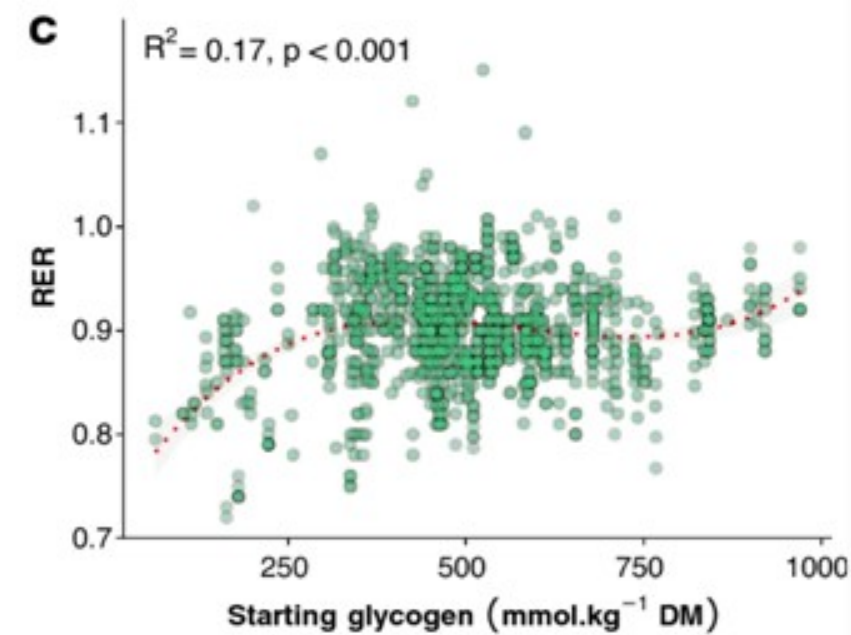
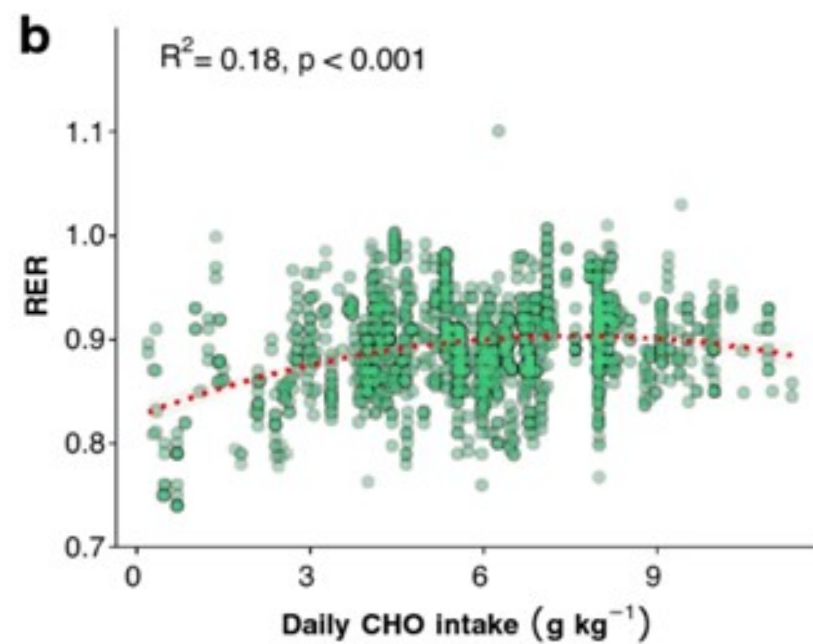
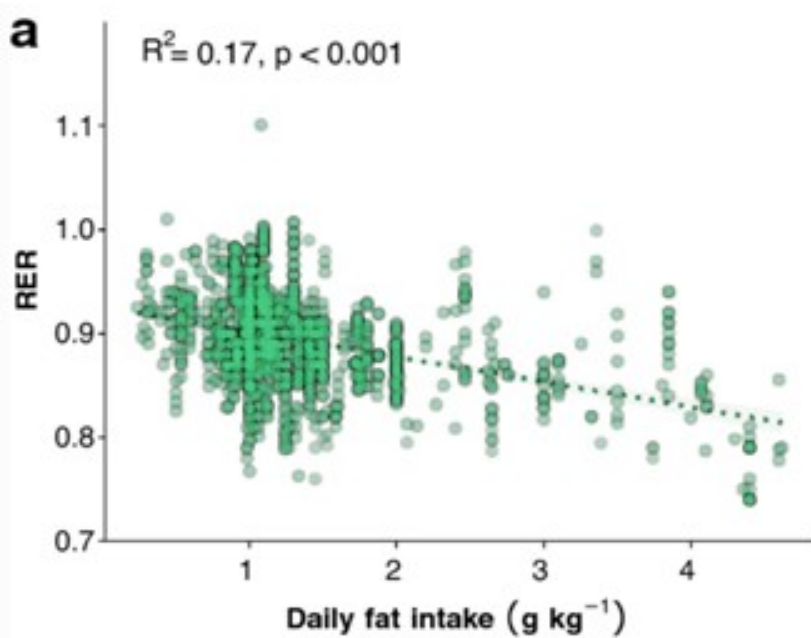


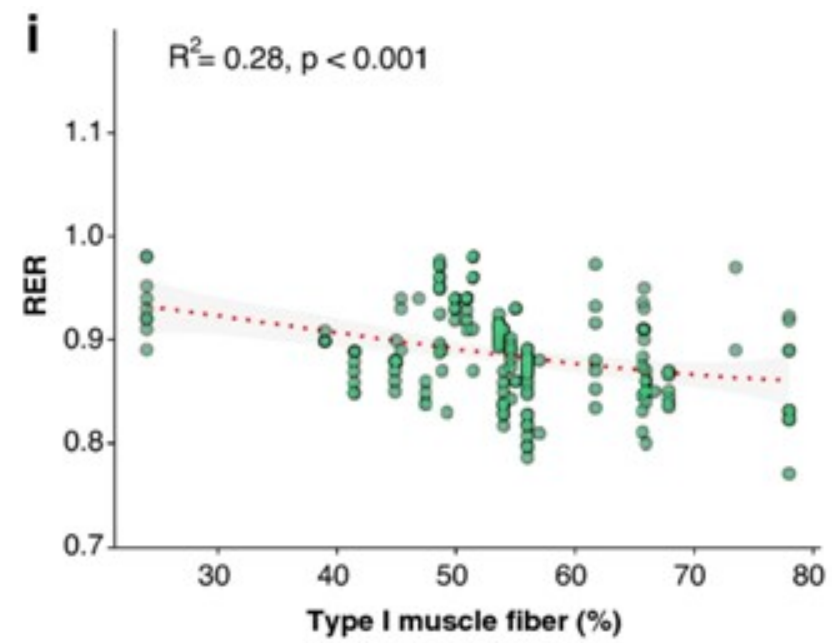
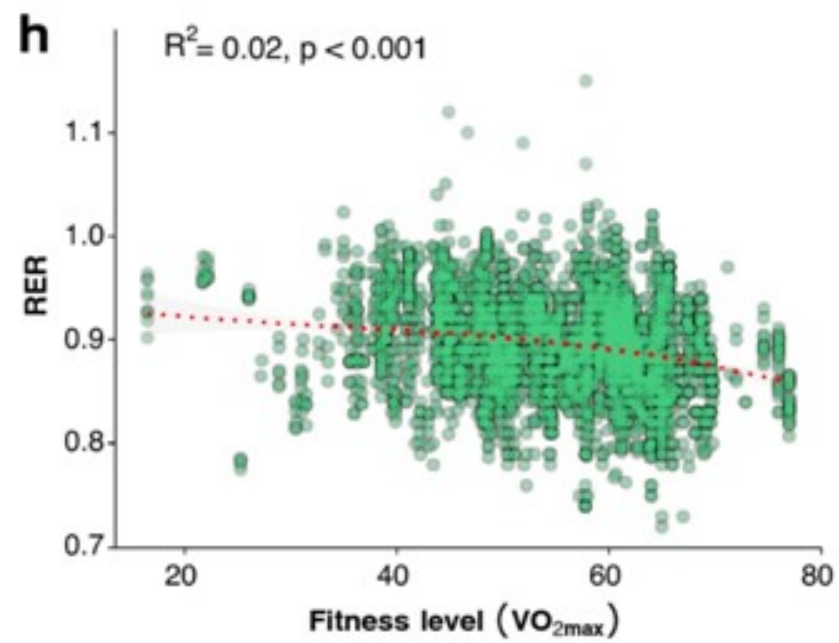
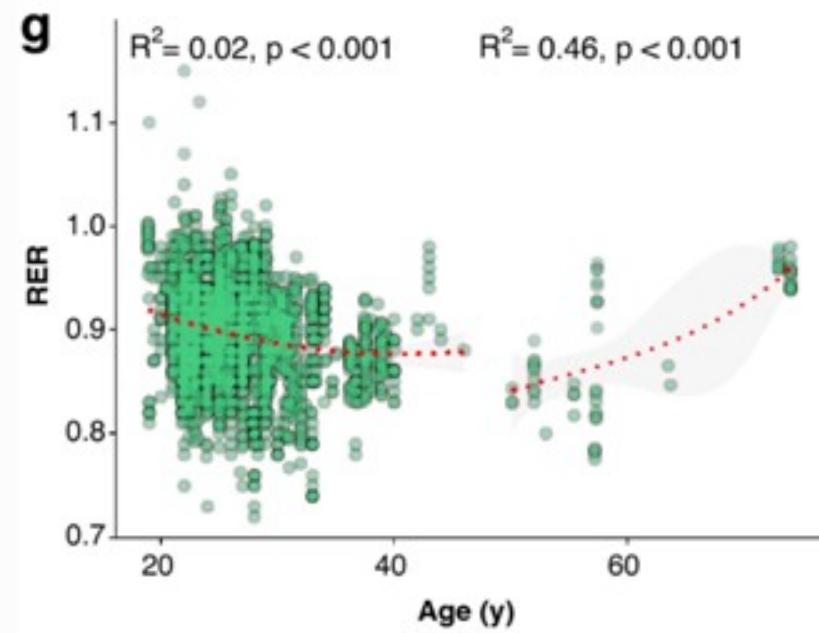
Nutriční ketóza	Ketoacidóza
0,5–3 mmol/l	15–25 mmol/l
Běžná hladina do cca 0,3 mmol/l	

Co všechno má vliv na oxidaci sacharidů vs. tuků během fyzické aktivity?

- Intenzita FA
- Délka FA
- Trénovanost jedince
- Pohlaví
- Stav nalačno/po požití stravy
- Stav glykogenových zásob
- Výživa (zastoupení sacharidů a tuků)
- Typ svalových vláken
- **Výborný článek: [Understanding the factors that effect maximal fat oxidation](#)**

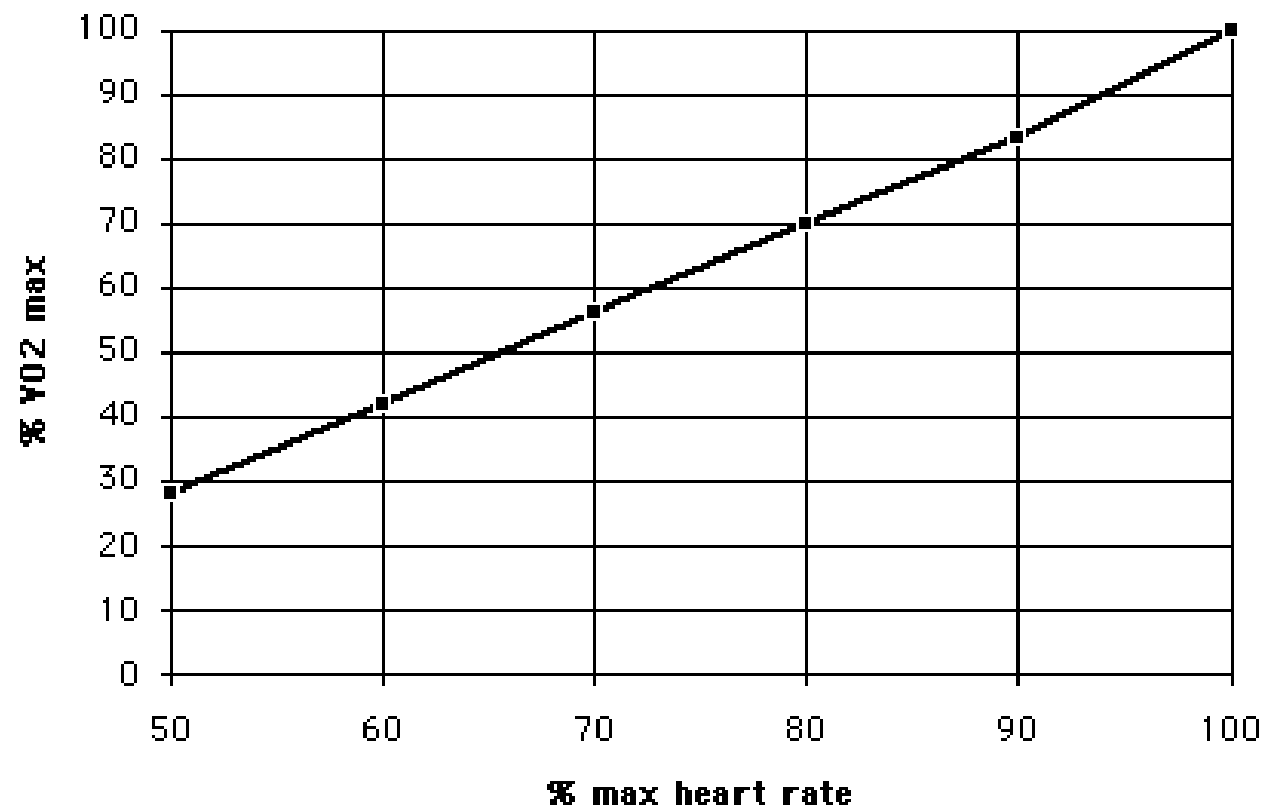
Factors Influencing Substrate Oxidation During Submaximal Cycling: A Modelling Analysis





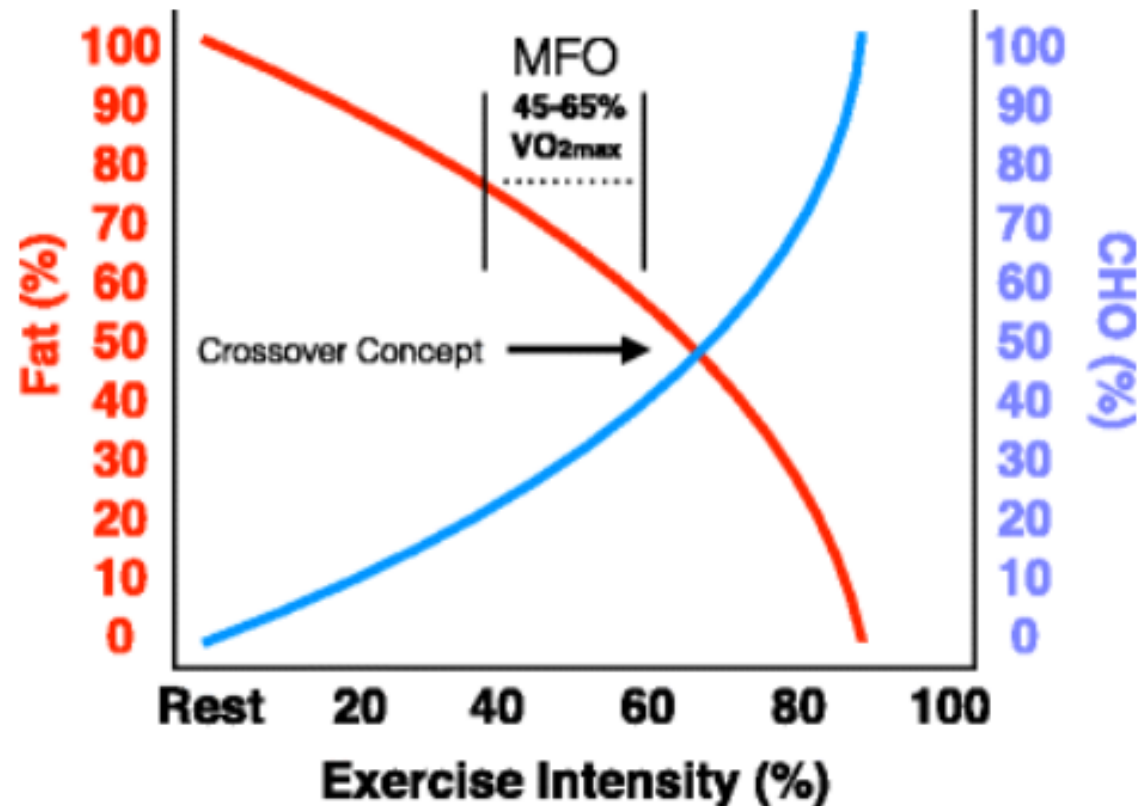
Využití substrátů během FA různých intenzit

- Intenzita fyzické aktivity nejčastěji vyjádřena jako:
- **% TF max:** procento z maximální tepové frekvence
- **% VO₂ max:** procento z maximálního objemu spotřebovaného kyslíku během FA
- Vztah mezi **% TF max** a **% VO₂ max**:
- **Muži:** % TF max: $0,643 \times \% \text{VO}_2 \text{ max} + 36,8$
- **Ženy:** % TF max: $0,628 \times \% \text{VO}_2 \text{ max} + 39$



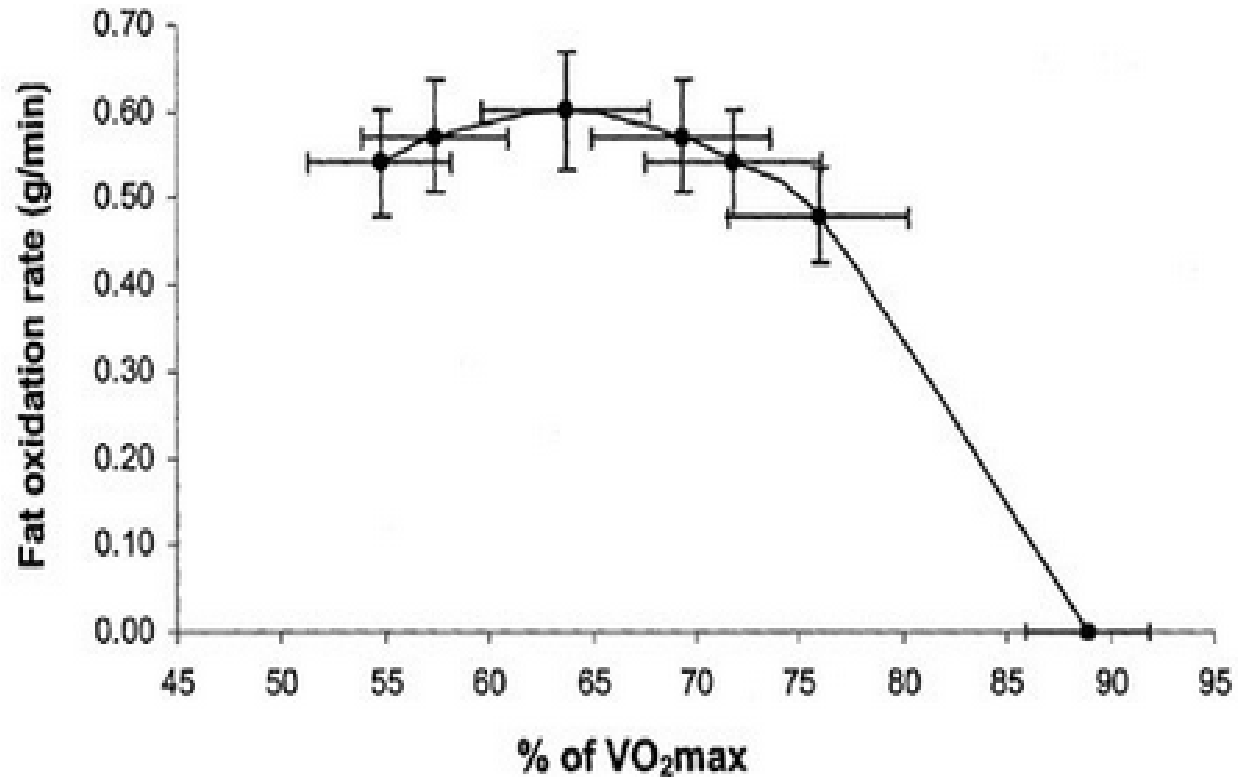
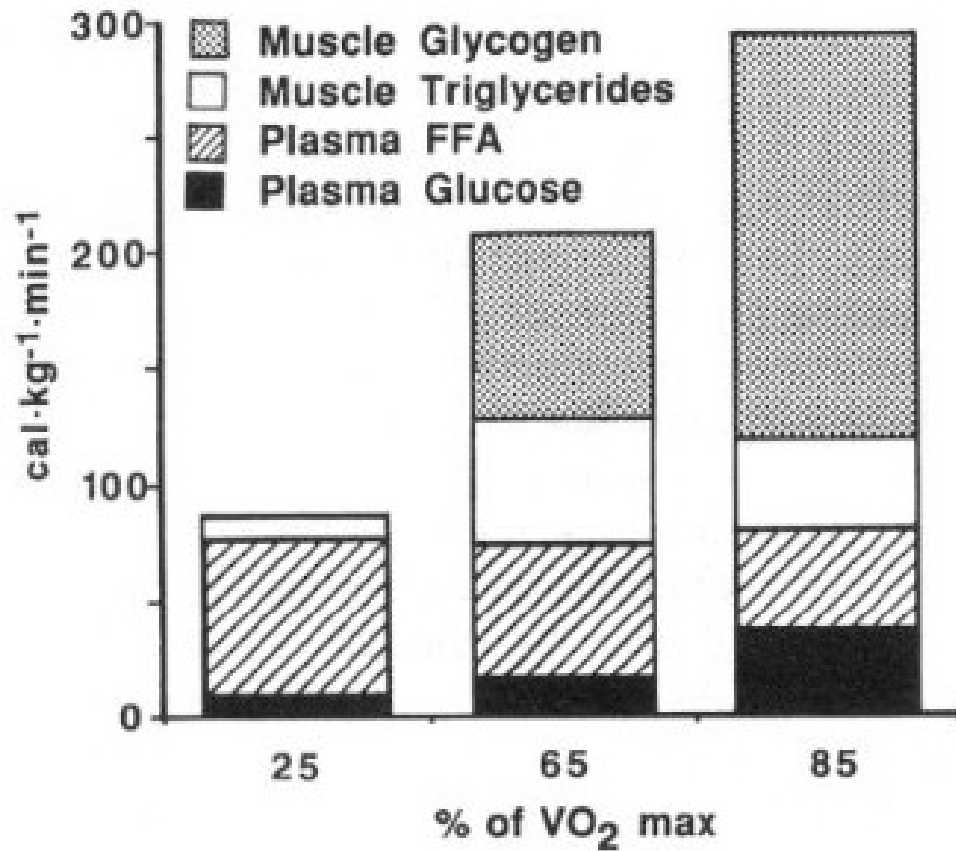
Oxidace mastných kyselin

- Max. oxidace tuku je dosaženo obecně při intenzitě **cca 65 % VO₂ max (45–65 %)**
- Maximální oxidace tuků je ovlivňována velkým množstvím faktorů, které jsou spolu propojeny



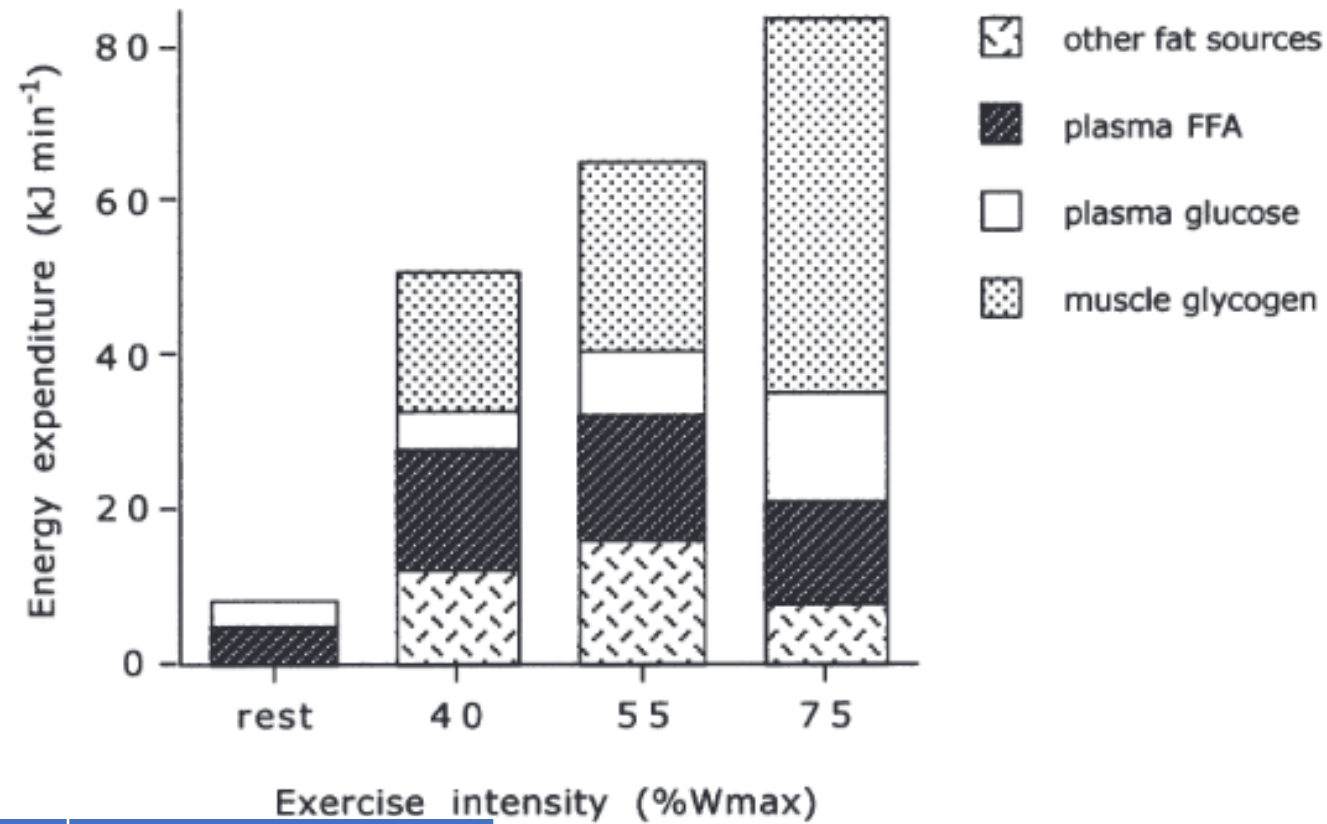
Vliv intenzity FA na oxidaci substrátů

- Romijn, 1993 (*Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration*)



Vliv intenzity FA na oxidaci substrátů

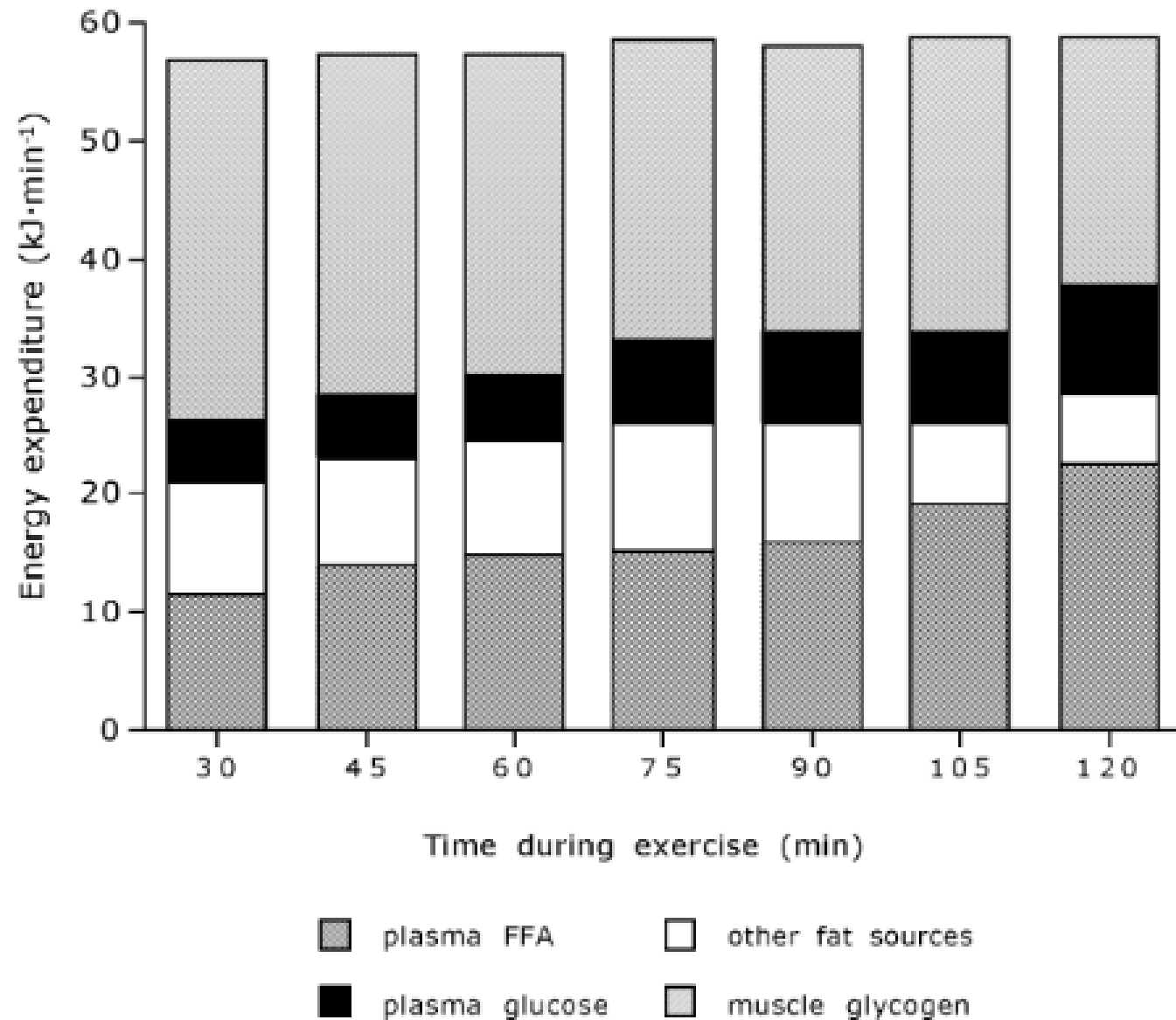
- Van Loon, 2001
The effects of increasing exercise intensity on muscle fuel utilisation in humans
- 55 % W max = cca 65 % VO₂ max



	40 % W max	55 % W max	75 % W max
Volné MK z plazmy	0,39 (31 %)	0,41 (25 %)	0,31 (15 %)
Ostatní zdroje MK	0,29 (24 %)	0,39 (24 %)	0,2 (9 %)
Glukóza z plazmy	0,33 (10 %)	0,51 (13 %)	0,9 (18 %)
Svalový glykogen	1,11 (35 %)	1,53 (38 %)	3,0 (58 %)

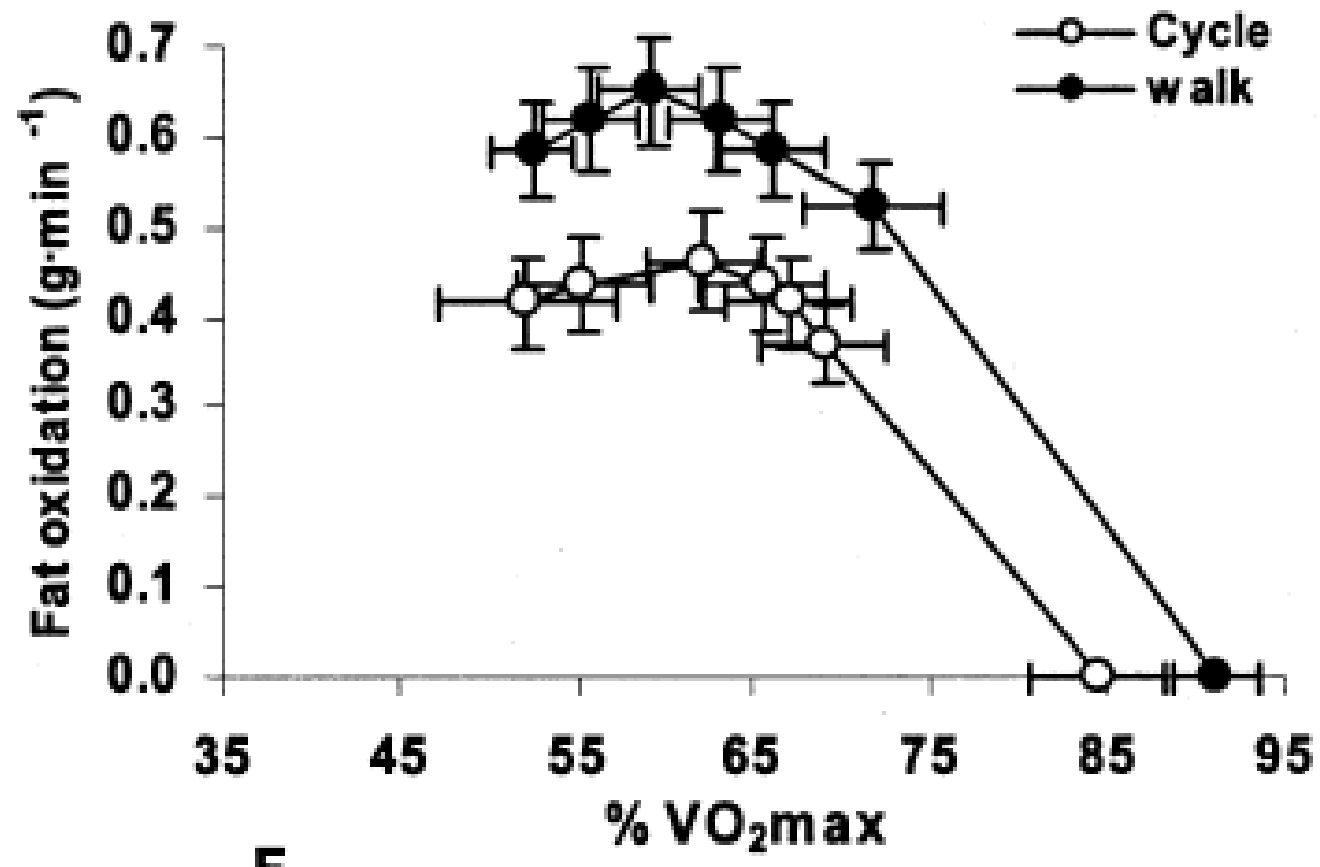
Využití substrátů během FA a délka FA

- Van Loon, (2003) Intramyocellular lipids form an important substrate source during moderate intensity exercise in **endurance-trained males** in a fasted state.
- 50 % W_{max} = cca 60 % VO_2 max



Využití substrátů během FA a druh zatížení

- Rozdíly mohou být patrné během různých FA (cyklistika vs. chůze/běh)



Využití substrátů během FA a trénovanost

- Lépe aerobně trénovaní jedinci jsou schopni zachovat vyšší míru oxidace relativně i absolutně ($\text{VO}_2 \text{ max}$ i g/min)
- **Maximal Fat Oxidation Rates in an Athletic Population (2017)**
- Průměrná maximální oxidace tuků 0,6 g/min (0,17–1,27 g/min)
- Tato maximální oxidace tuků byla průměrně dosažena při 50 % $\text{VO}_2 \text{ max}$ (22–88 %)
- **Determinants of fat oxidation during exercise in healthy men and women: a cross-sectional study (2005)**
- Průměrná maximální oxidace tuků 0,46 g/min (0,18–1,01 g/min)
- Běžná populace, mix nespportovců a nevrcholových sportovců
- Tato maximální oxidace tuků byla průměrně dosažena při 48 % $\text{VO}_2 \text{ max}$, což bylo zhruba 62 % HR max

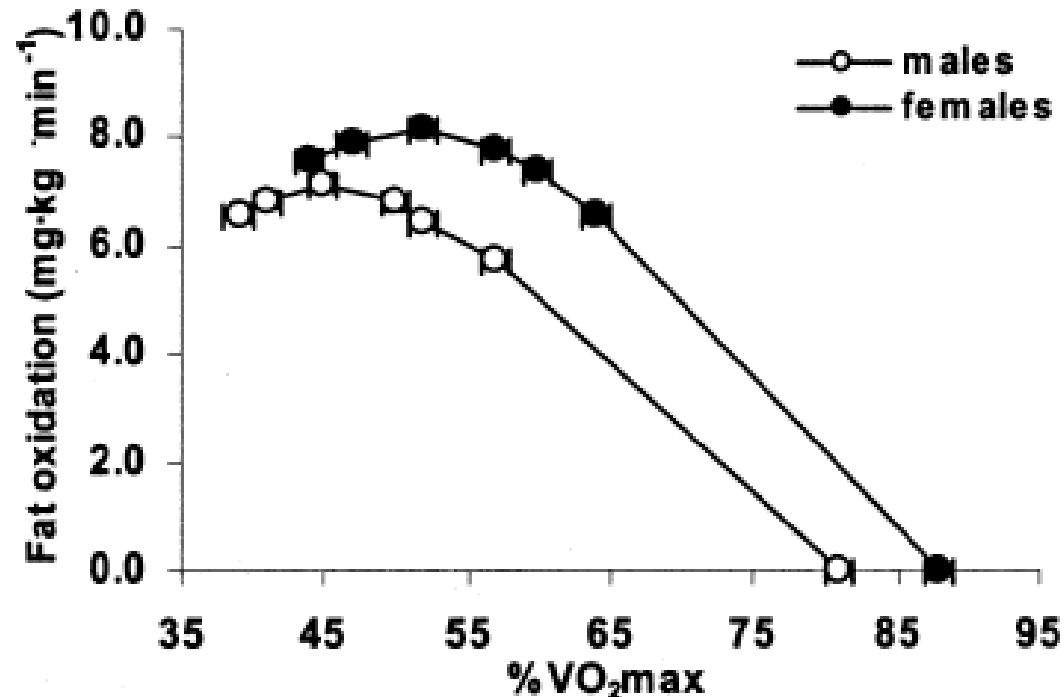
Využití substrátů během FA a trénovanost

- *Effects of One Year Aerobic Endurance Training on Resting Metabolic Rate and Exercise Fat Oxidation in Previously Untrained Men and Women (2010)*
- Muži a ženy středního věku s nízkou kondicí (42 let, průměrné BMI 24,6)
- **Prům. max. oxidace tuků pouze 0,26 g/min**
- Tato maximální oxidace tuků byla průměrně dosažena při cca 35 % VO₂ max

- *Determination of the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation (2002)*
- Trénovaní sportovci
- **Prům. max. oxidace tuků 0,6 g/min**
- Tato max. oxidace tuků byla průměrně dosažena při 65 % VO₂ max (cca 74 % HR max)

Využití substrátů během FA a hledisko pohlaví

- **Determinants of fat oxidation during exercise in healthy men and women: a cross-sectional study (2005)**
- Ženy mají vyšší zásoby IMTG než muži a umí je lépe využít jako zdroj energie, obecně jsou schopny lépe oxidovat MK než muži
- Roli hraje zastoupení svalových vláken a **estrogen** regulující enzymy B-oxidace MK
- Průměrné ženy mají v průměru vyšší maximální oxidaci tuků než (8,2 vs. 7,1 mg/kg min), při 52 vs. 45 % VO₂max



Využití substrátů během FA, pohlaví a intenzita

- **Effect of exercise intensity on 24-h energy expenditure and nutrient oxidation**
- Výdej energie 400 kcal při zátěži 40 % VO₂ max (LI) a 70 % VO₂ max (HI) u mužů a žen
- **Ženy spalují více tuku při obou sledovaných intenzitách**

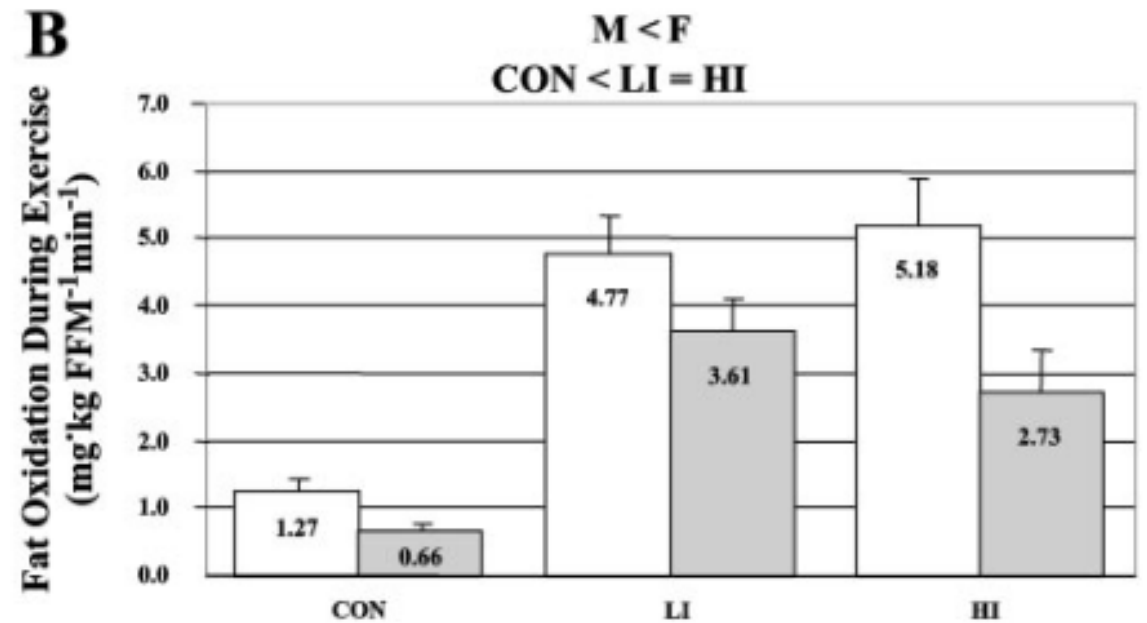
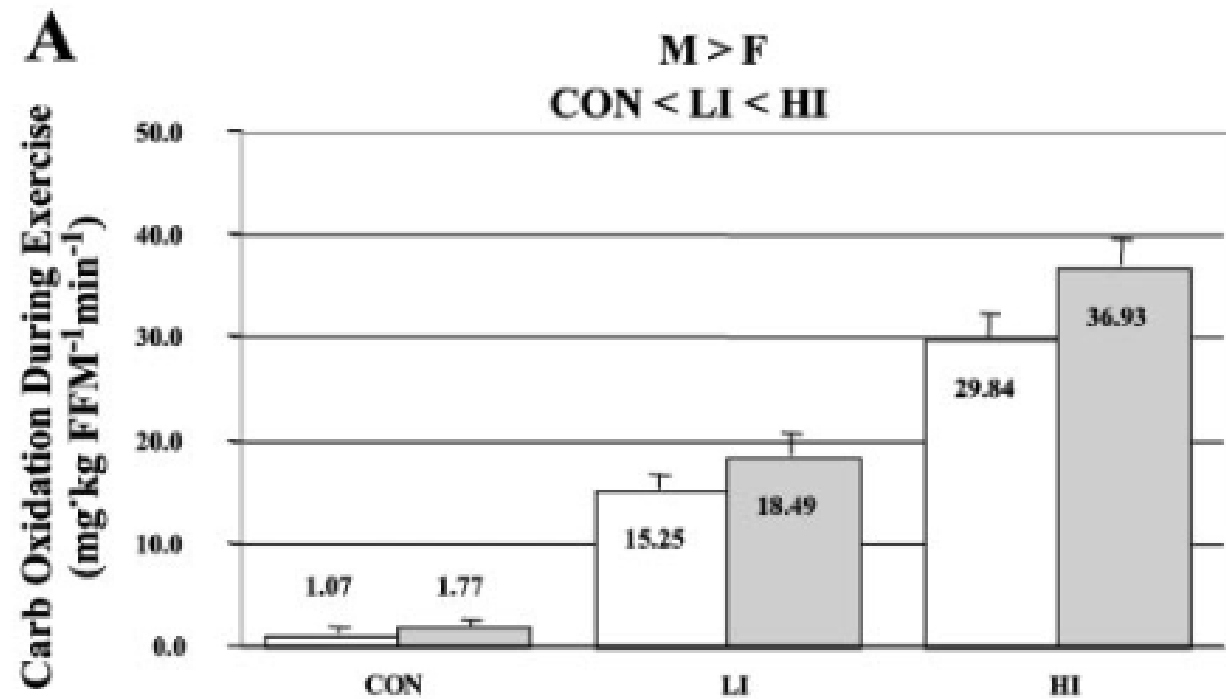
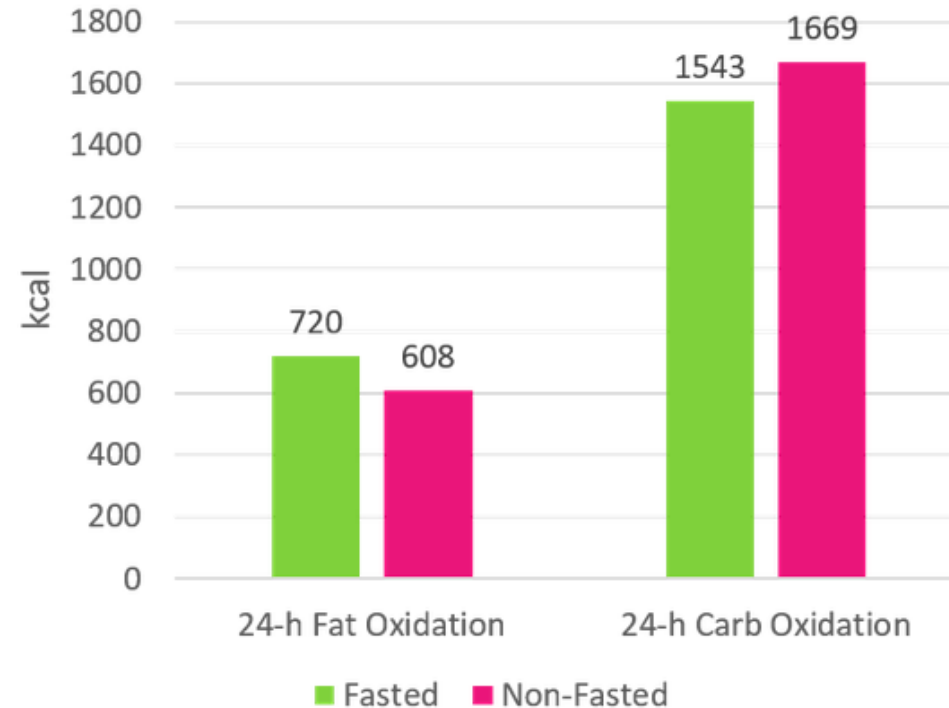


Fig. 2. Carbohydrate (A) and fat (B) oxidation during exercise in men (gray bars) and women (open bars). Values are means \pm SE. Interaction terms were not significant ($P > 0.05$).

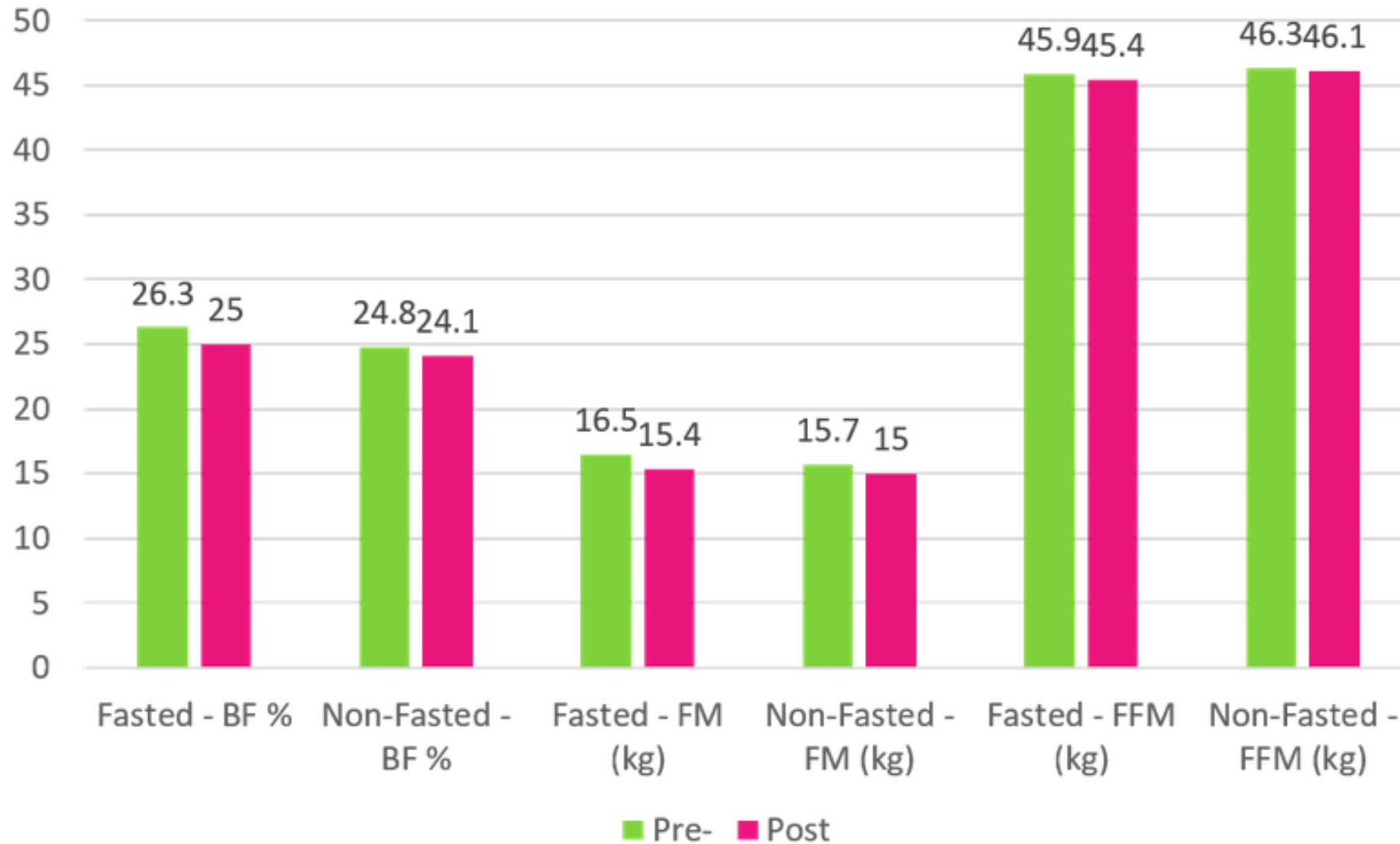
Využití substrátů během FA, lačný/najezený stav

- *Effects of aerobic exercise performed in fasted vs. fed state on fat and carbohydrate metabolism in adults: a systematic review and meta-analysis. (2016)*
- Při kardiu nalačno spalujeme o něco více tuku než v najezeném stavu, opět to ale neznamená efektivnější hubnutí
- *Effects of post-absorptive and postprandial exercise on 24 h fat oxidation (2013)*



Stejný celkový výdej výdej energie, ale lehce odlišný poměr využívaných substrátů

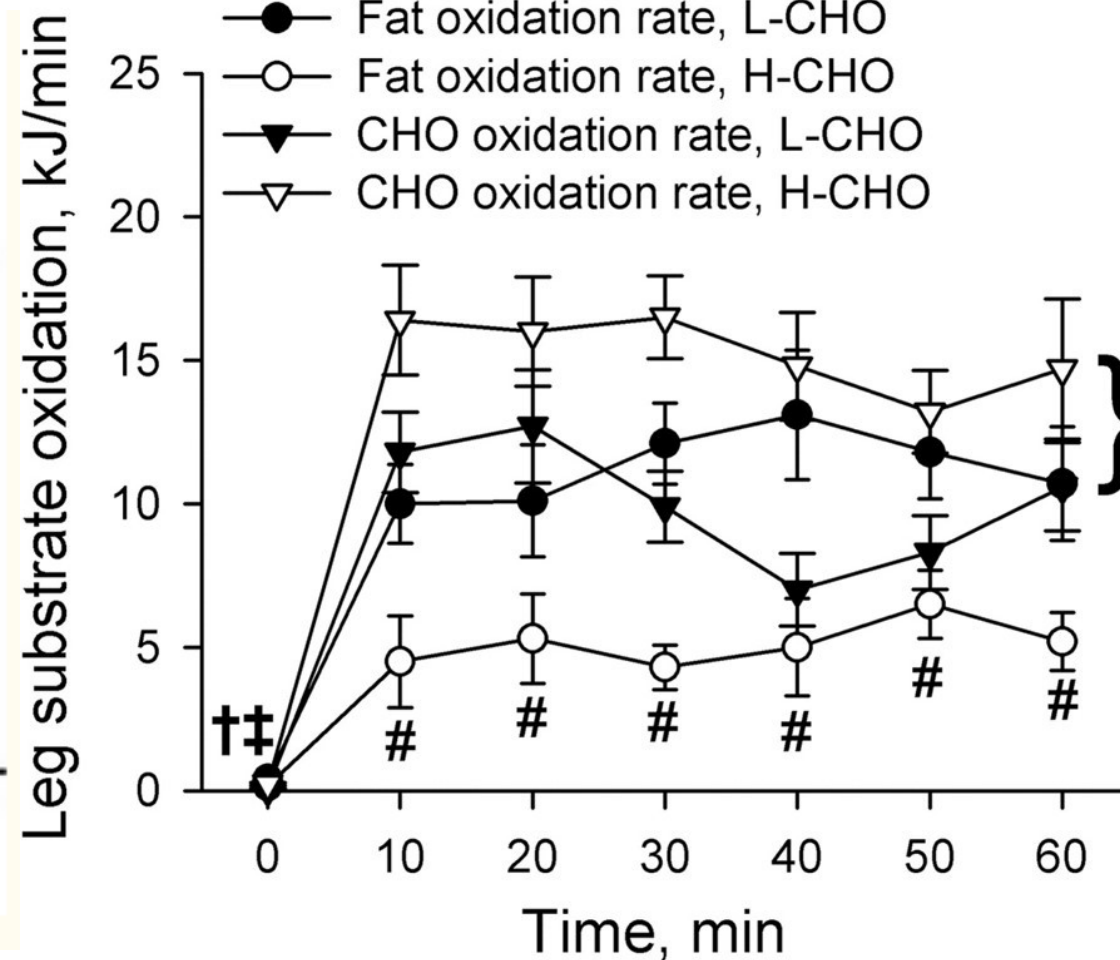
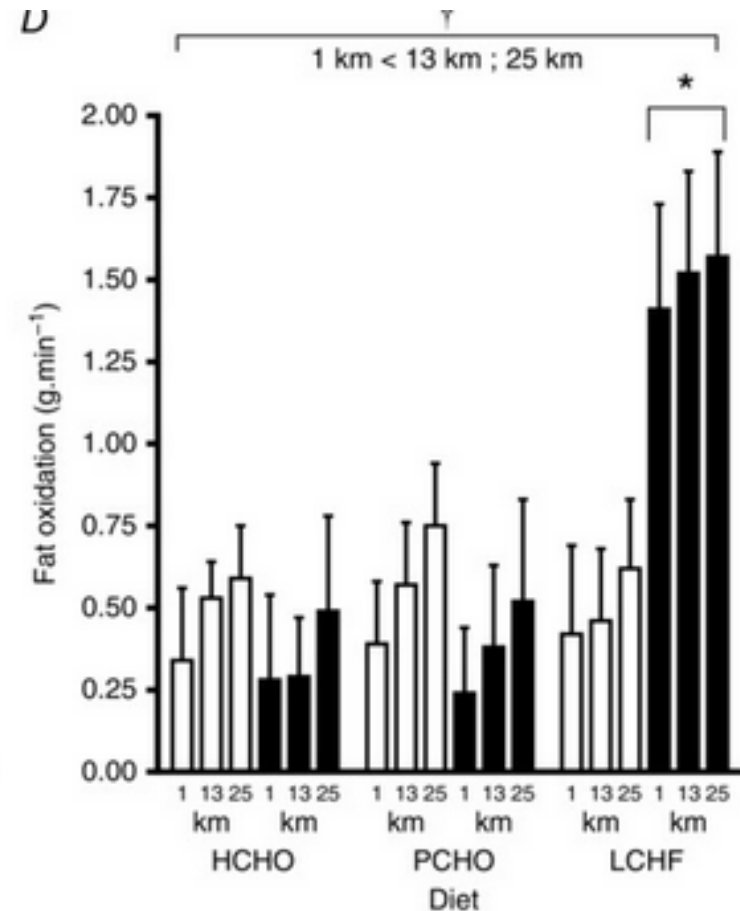
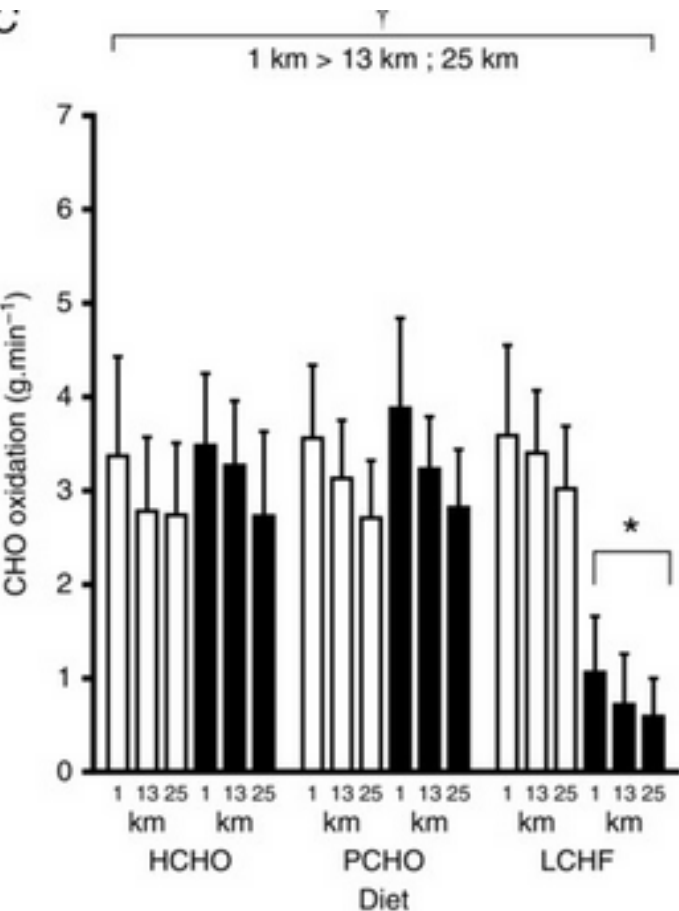
Body composition changes associated with fasted versus non-fasted aerobic exercise (2014)



Roepstorff (2005), Malonyl-CoA and carnitine in regulation of fat oxidation in human skeletal muscle during exercise

Burke (2017), Low carbohydrate, high fat diet impairs exercise economy and negates the performance benefit from intensified training in elite race walkers.

Vliv výživy na oxidaci substrátů



Příjem tuků ve vytrvalostních sportech: Oficiální doporučení

- **ACSM (American College of Sports Medicine), 2016 (Position Statement: Nutrition and Athletic Performance):**
- **Příjem tuků** u sportovců by dlouhodobě **neměl klesnout pod 20 % CEP**
- Příjem SFA nižší než 10 % CEP
- *Intake of fat by athletes should be in accordance with public health guidelines and should be individualized based on training level and body composition goals (tedy někde v rozmezí 20–35 % CEP, tj. 0,5–1,5 g/kg TH*

- **Příjem tuků kolem tréninkové jednotky: v zásadě jako u silových sportů**

Příjem tuků a sacharidů ve studiích u vytrvalostních sportovců

Studie	Příjem sacharidů	Příjem tuků	Poznámka
Burke (2017)	Cca 8,5 g/kg TH	1,2 g/kg TH	High-carb skupina
Burke (2017)	Méně než 50 g	4,7 g/kg TH	Keto skupina
Witard (2011)	6 g/kg TH	1,3–3,4 g/kg TH	Dle fáze tréninku
Havemann (2006)	7,5 g/kg TH	0,8 g/kg TH	High-carb skupina
Havemann (2006)	1,8 g/kg TH	3,3 g/kg TH	Low-carb skupina
Volek (2016)	7 g/kg TH	1,3 g/kg TH	High-carb skupina
Volek (2016)	1,2 g/kg TH	3,2 g/kg TH	Keto skupina

Proč někteří sportovci cíleně navyšují příjem tuků na úkor sacharidů ve (vytrvalostním) sportu?

Může to mít nějaké benefity pro aerobní výkonnost?

Odpověď poskytne příští přednáška

Low-carb vs. Low-fat a vliv na vytrvalostní výkon