

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

Mgr. Petr Loskot

LF MUNI, Ústav ochrany a podpory zdraví

12.4.2023

Low-carb vs. low-fat (high-carb)

Zánětlivost

A HIGH carb diet is better

Dlouhověkos

t

A LOW carb diet is better

Oxidační stres

Hubnutí



Diabetes

Cholesterol

Sportovní výkon

Svalová

Kardiovaskulární systém hypertrofie

Obsah přednášky

- Existuje přesná definice low-carb a low-fat stravování?
- Jaké faktory ovlivňují oxidaci tuků a sacharidů během FA?
- Studie týkající se low-carb vs. low-fat ve vytrvalostním sportu
- Závěrečné shrnutí a doporučení
- Diskuse

Na čem ve výživě sportovce skutečně záleží?



Příklady a definice low-fat (high-carb) diety?

Studie, publikace	Sacharidy	Tuky
Weight and metabolic outcomes after 2 years on a low-carbohydrate versus low-fat diet, Foster (2010)	55 %	30 %
Low carbohydrate, high fat diet impairs exercise economy and negates the performance benefit from intensified training in elite race walkers, Burke (2017)	65 % (8 g/kg TH)	20 %
Effect of Low-Fat vs Low-Carbohydrate Diet on 12-Month Weight Loss in Overweight Adults and the Association With Genotype Pattern or Insulin Secretion: The DIETFITS Randomized Clinical Trial., Gardner (2018)	48 %	29 %
Effects of low-carbohydrate dietsv. low-fat diets on body weight andcardiovascular risk factors: a meta-analysis of randomised controlled trials, Mansoor (2016)	Bez přesné definice	Pod 30 %

Příklady a definice low-carb, high-fat diety?

Publikace	Příjem energie ze sacharidů
Effects of low-carbohydrate diets versus low-fat diets on metabolic risk factors: a meta-analysis of randomized controlled clinical trials. Hu (2012)	Pod 45 %
Low-Carbohydrate Diets: A Matter of Love or Hate, Frigolet (2011)	20–40 %
Low-carbohydrate nutrition and metabolism, Westmann (2007)	50–150 g/den
Effects of low-carbohydrate diets v. low-fat diets on body weight and cardiovascular risk factors: a meta-analysis of randomised controlled trials., Mansoor (2016)	Pod 20 % CEP
Evidence that supports the prescription of low-carbohydrate high-fat diets: a narrative review, Noakes (2017)	Pod 26 % CEP, do 130 g/den

Jednotný pohled na definici
obou typů stravování neexistuje

Definice se odvíjí od pohledu
daného odborníka/odborné společnosti

**Low-fat (high-carb) nejčastěji 20–30 % CEP z tuků.
Low-carb nejčastěji do 130–150 g S za den nebo do 20–
25 % CEP**

Ketogenní dieta

- **Potřeba snížit příjem sacharidů pod cca 50 g za den, aby organismus začal tvořit tzv. ketolátky z mastných kyselin**
- Nastává i při hladovění nebo při dlouhotrvající sportovní aktivitě
- Poměr živin při ketogenní dietě: 5–10 % S (do cca 50 g), 75–80 % T, 15–20 % B

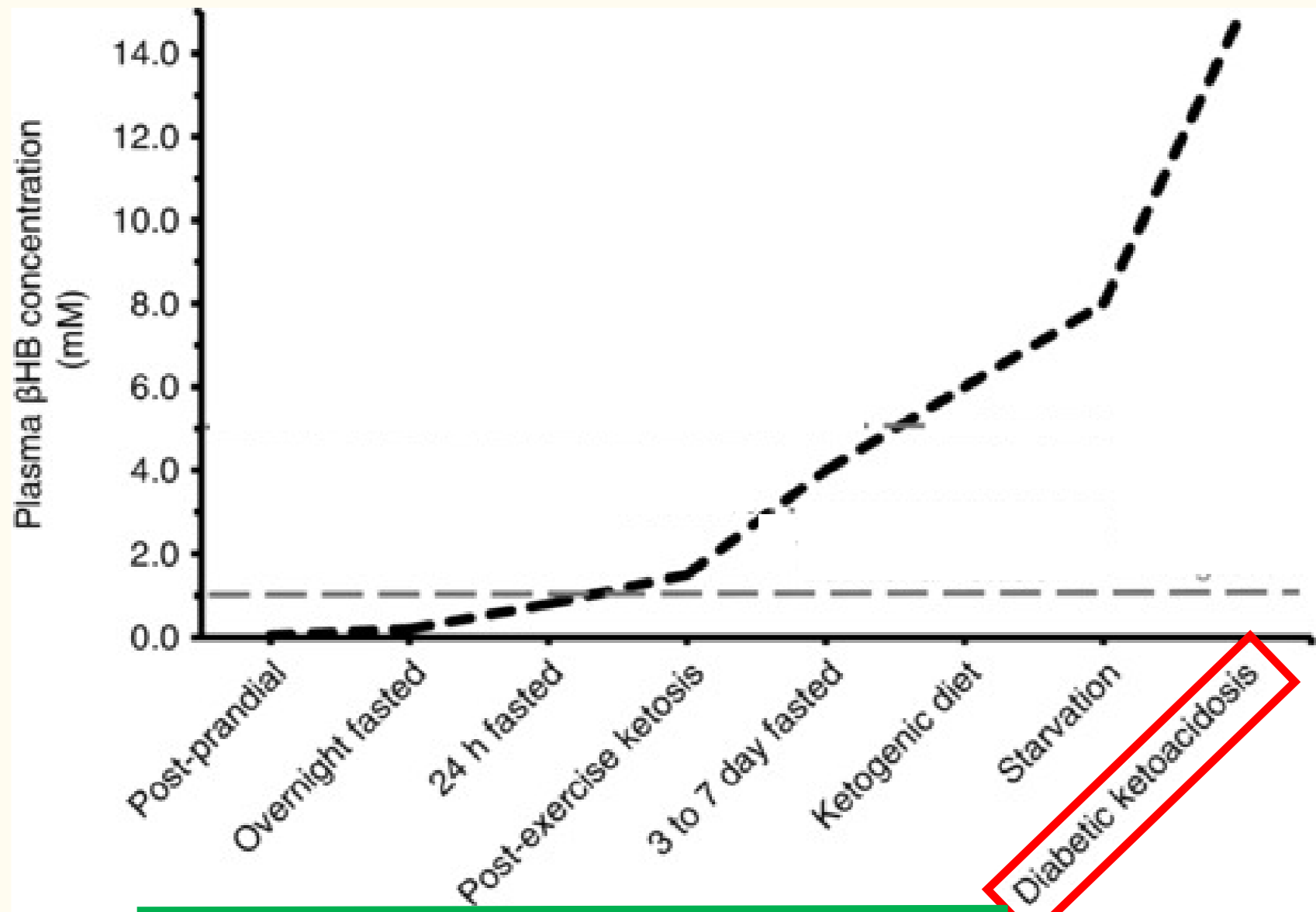
Rozlišujme!

Nutriční ketóza: fyziologický stav – hladovění nebo velmi snížený příjem sacharidů

Hladina ketonů: cca 0,5–10,0 mmol/l

Ketoacidóza: – stav u dekompenzovaných diabetiků, nadměrné vystupňování lipolýzy a koncentrace ketonů v krvi → acidóza, ohrožení života

Hladina ketonů: cca 15 mmol/l a více



Sacharidy	Tuky	Bílkoviny
Svalový glykogen	Mastné kyseliny uvolňované z tukové tkáně během zátěže	Oxidace (svalových) aminokyselin během zátěže (např. BCAA)
Jaterní glykogen	Intramuskulární zásoby tuku (IMTG)	Tvorba glukózy z aminokyselin v procesu glukoneogeneze
Glukóza v krevním oběhu (z jaterního glykogenu nebo z přijímaných sacharidů během zátěže)	Ketolátky při ketóze	
	Lipoproteiny (chylomikrony a VLDL lipoproteiny) nesoucí mastné kyseliny v krevním oběhu po požití stravy	

Zásoby energetických substrátů: muž 80 kg (15 % BF)

	Sacharidy	Bílkoviny	Tuky
Substráty (g)	Jaterní glykogen (cca 100 g)	Veškeré bílkoviny organismu (17 % TH)	Tuková tkáň (85 % tuku)
Substráty (g)	Svalový glykogen (cca 9–15 g/kg svalu)	Plazmatické bílkoviny (cca 70 g)	Intramuskulární tuk (IMTG)
Celkové zásoby (kJ)	Cca 500 g 8 500 kJ	Cca 13–14 kg Cca 221 000 kJ	Cca 10,2 kg čistého tuku Cca 387 000 kJ
Podíl při získávání energie	Pomyslně 0–100 %	Z pohledu získávání energie zdroje nežádoucí 1–15 %	Pomyslně 0–100 %

Hlavní metabolické dráhy zisku energie

Sacharidy

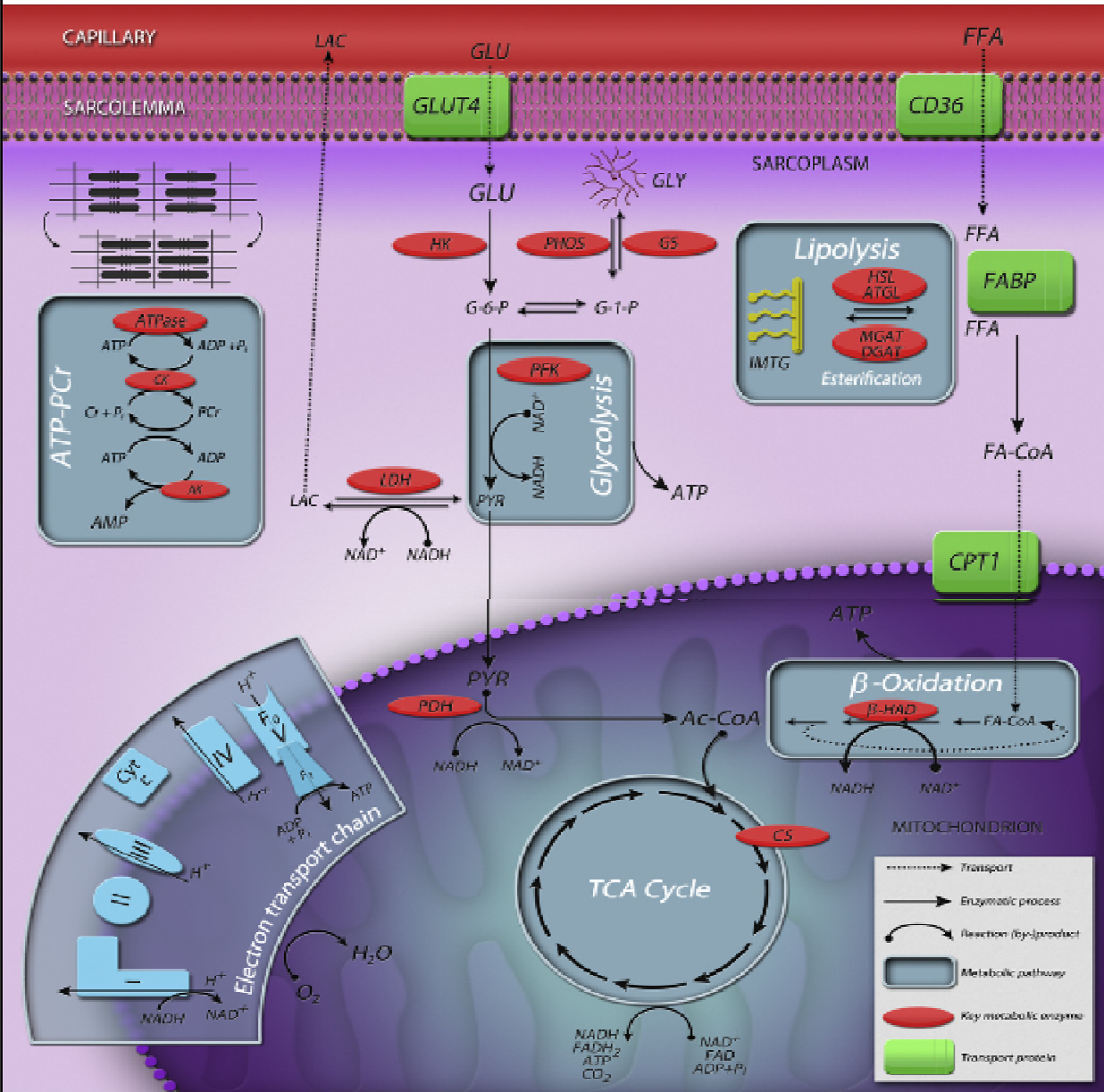
Anaerobní glykolýza (cytosol buňky) → **spalování bez přístupu kyslíku**
Vzniká laktát

Aerobní glykolýza (mitochondrie) → spalování za přístupu kyslíku
Vzniká pyruvát

Mastné kyseliny

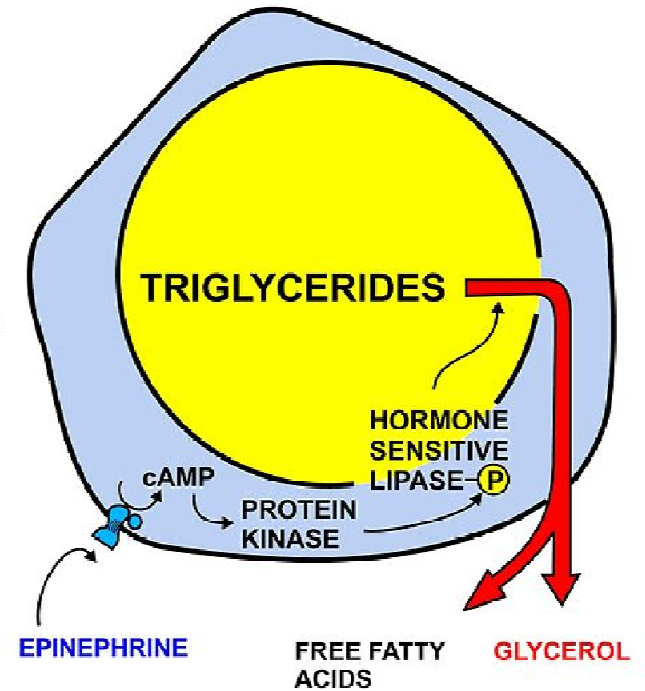
Beta-oxidace mastných kyselin (mitochondrie) → spalování za přístupu kyslíku
(IMTG, nebo pod hormonální kontrolou lipolýza v tukové tkáni)

Oxidace ketolátek (mitochondrie) → spalování za přístupu kyslíku
(vznikají v játrech z MK při stravě pod cca 50 g sacharidů za den)



LIPOLYSIS

IN THE ADIPOCYTE:



IN THE BLOOD:

Srovnání získané energie sacharidy vs. tuky

Substrát	Přístup kyslíku	Množství ATP
Glukóza	Anaerobní (bez přístupu kyslíku, tvorba laktátu)	2 ATP
Glukóza	Aerobní (s přístupem kyslíku)	36–38 ATP
Kyselina palmitová (mastná kyselina)	Aerobní (s přístupem kyslíku)	Cca 130 ATP

Kde má původ myšlenka o low-carb/keto stravování ve sportu?

- 1) „**Člověk se podstatnou část svého vývoje stravoval stravou s malým podílem sacharidů**, což by pro něj mělo být *zdravější a výhodnější i nyní.*“
- 2) Pozorováním fyzické výkonnosti Eskymáků na dietě takřka bez obsahu sacharidů (85 % tuk, 15 % proteiny)
- Studium metabolismu v kontextu sportovní výživy již od 20. let 20. století
- První studie o low-carb/keto ve vytrvalostním sportu v roce 1983
- Aktuálně studie zkoumající vytrvalostní i silové sportovce

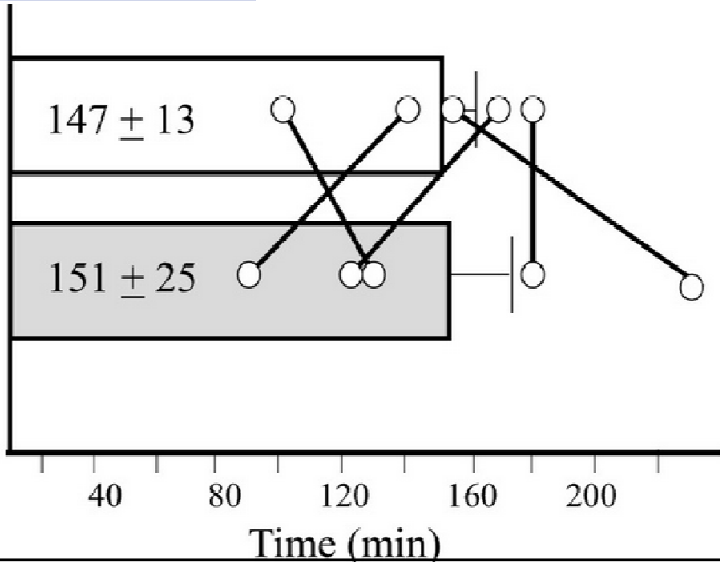
Phinney (1983), The human metabolic response to chronic ketosis without caloric restriction: Preservation of submaximal exercise capability with reduced carbohydrate oxidation

Dieta po dobu 1 týdne: 35–50 kcal/kg/d, 1,75 g B/kg, zbytek kalorií 2/3 S, 1/3 T	Test. závod při 62%–64% $\dot{V}O_2$max (EBD)	Keto Dieta 4 týdny: 35–50 kcal/kg/d, 1,75 g B/kg, méně než 20 g S, zbytek Tuky	Test. závod při 62%–64% $\dot{V}O_2$max (KETO)
--	---	--	--

Čas do selhání při EBD	Čas do selhání při KETO
147 minut	151 minut

High CHO
 Low CHO High Fat

- Střední intenzita zátěž
- Testovací závod nalačno
- Žádný příjem sacharidů během testování



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

- Intenzita FA
- **Trénovanost jedince (vysoké VO_2 max) → dostatek kyslíku pro oxidaci živin**
- **Adaptace na hlavní zdroj energie ve stravě (S vs. T) a zvýšená schopnost jej oxidovat**
- **Zásoby svalového glykogenu**

Další faktory

Délka FA → čím delší zatížení, tím vyšší oxidace MK

Pohlaví → Ženy vyšší zásoby IMTG, odlišná % sval. vláken, estrogen → pálí více tuku

Stav nalačno/po požití stravy → nalačno spalujeme více tuku, bez efektu na efektivnější hubnutí

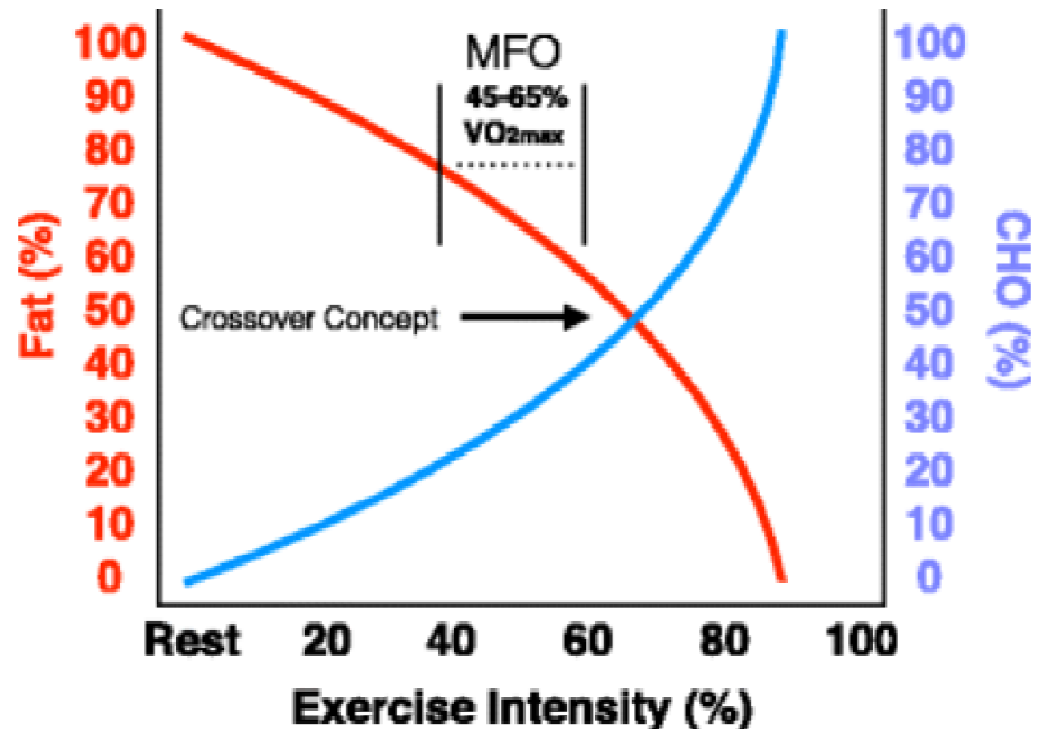
Aktuální hormonální nastavení organismu → inzulin, glukagon, adrenalin, kortizol

Doplňky stravy → podporující lipolýzu (kofein, synefrin, EGCG) - naprosto nepatrný vliv

Stravovací protokol s vyšším zastoupením tuků

Adaptace na low-carb?

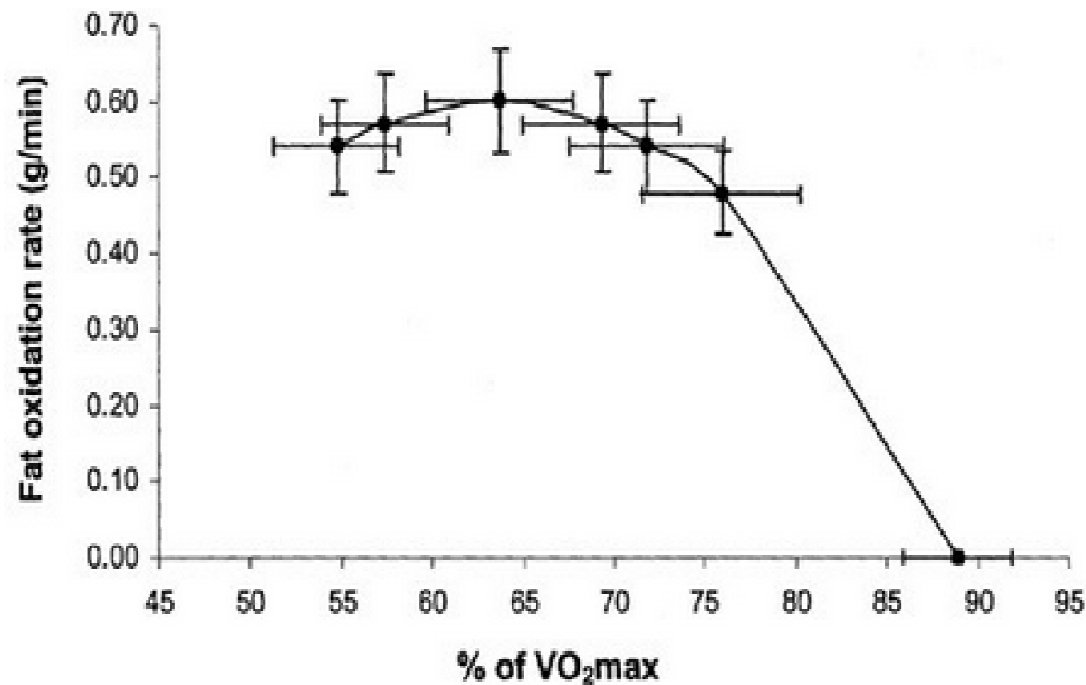
- Podle současného poznání adaptace na neketogenní low-carb netrvá déle než 5 dní (Goedecke, 1999)
- Adaptace na low-carb znamená zlepšení využívání MK jako zdroje energie v širokém pásmu intenzit od těch nejnižších až do cca 65 % VO₂ max
- Volek (2017): Keto-adaptovaní závodníci oxidace tuků až 1,5 g/min
- Burke (2017): Dosud nejvyšší oxidace tuků u sportovců až 1,9 g/min



Maximalizace oxidace tuků může představovat významnou výhodu

Hlavní důvod

- Pokud je sportovec schopen **krýt vysoký podíl energie oxidací MK, může si svůj svalový glykogen „pošetřit“ na zdrcující finiš** či těžší úseky tratě, kdy může zapnout ještě na „vyšší obrátky“ a vzdálit se soupeřům.



Existuje adaptace na tukový metabolismus?

Za jak dlouho k ní dojde?

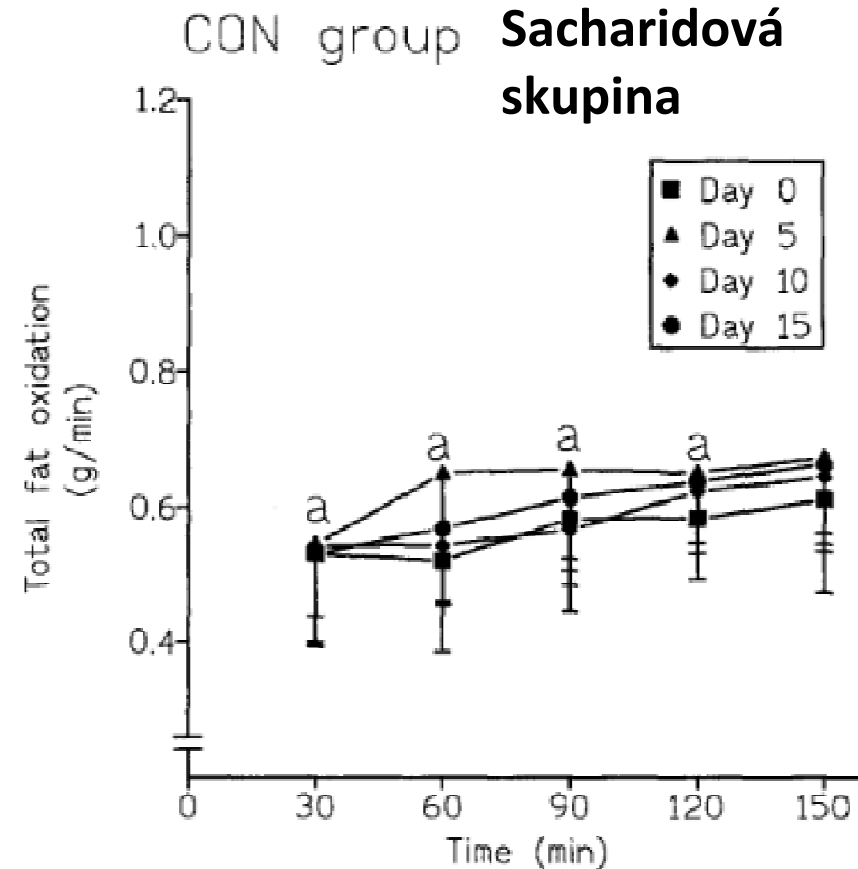
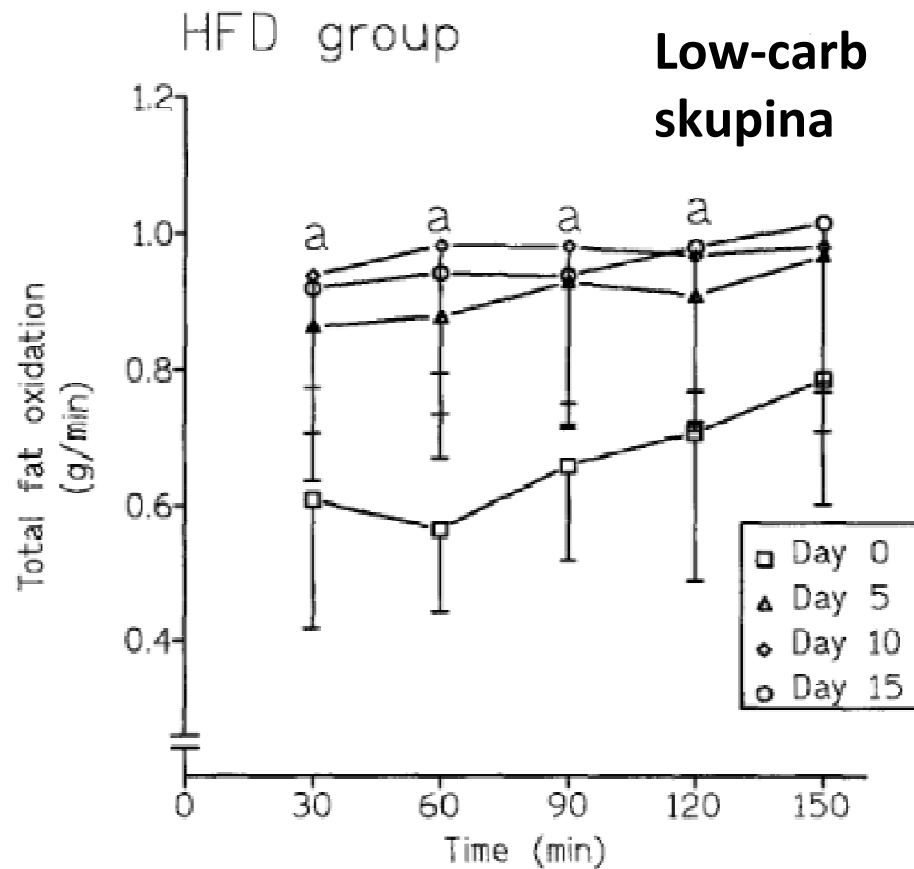
Adaptace na neketogenní low-carb Metabolic Adaptations to a High-Fat Diet in Endurance Cyclists (Goedecke, 1999)

- 2 diety, cross-over charakter studie
- V 0.; 5.; 10.; 15. den diety závod na čas
- Porovnávány změny v oxidacích živin během konzumace obou diet během testovací fyzické zátěže

Dieta	Energie	Bílkoviny %	Sacharidy %	Tuky %
HCHO	13,2±6 MJ	13±3	53±10	30±8
HFD	16,4±4,6 MJ	10±1	19±1	69±1

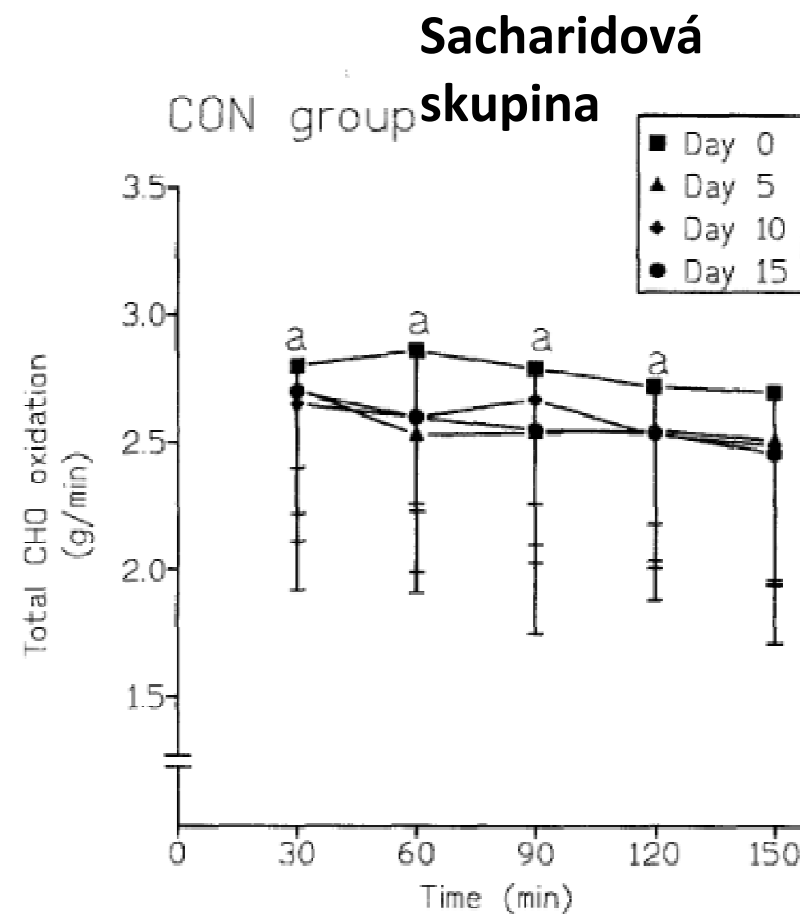
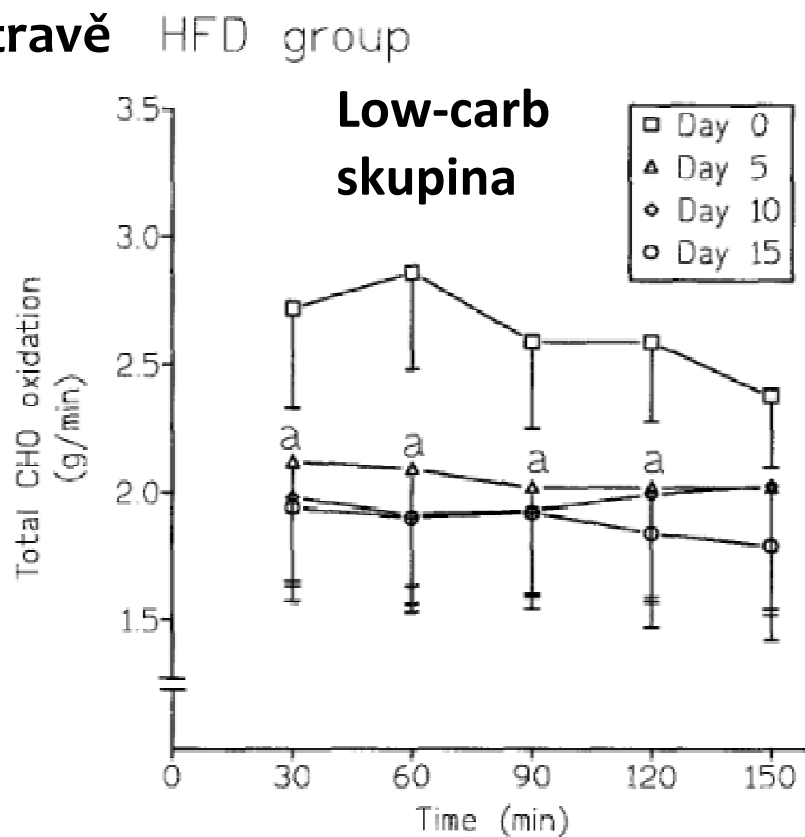
Oxidace tuků ve studii v různých dnech (Goedecke, 1999)

- K výraznějšímu přepnutí do tukového metabolismu došlo za pouhých 5 dní na low-carb stravě

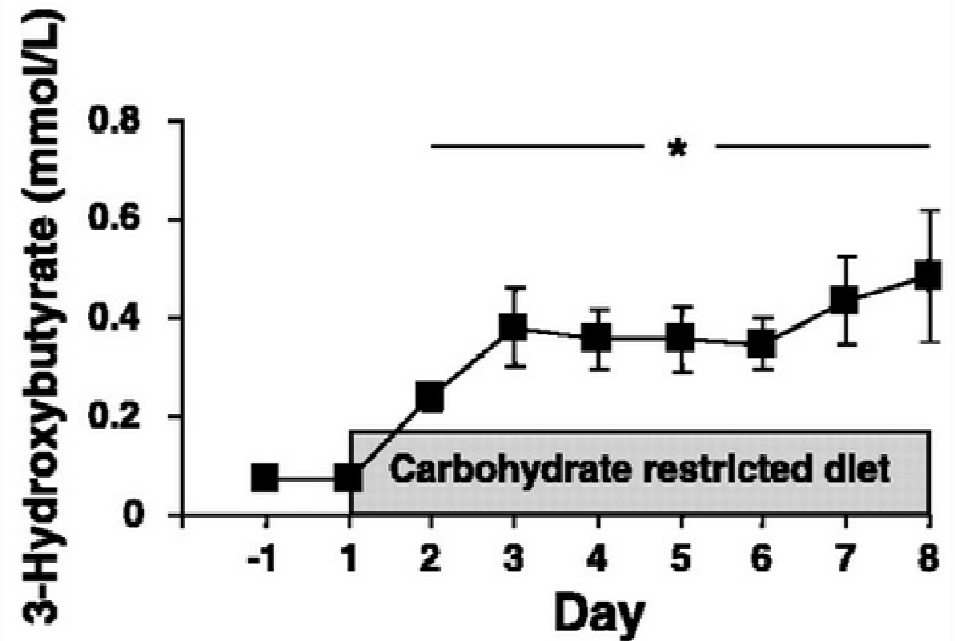
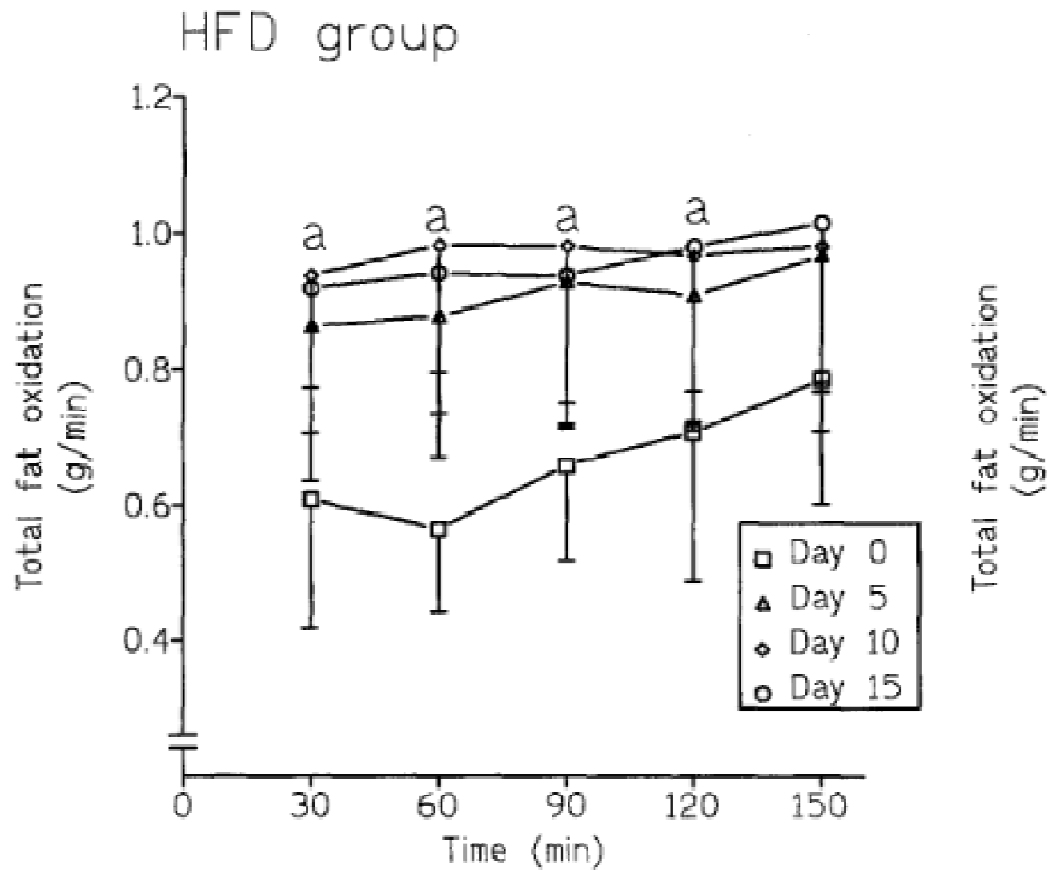


Oxidace sacharidů ve studii v různých dnech (Goedecke, 1999)

- K výraznějšímu přepnutí do tukového metabolismu (a tím snížení oxidace glukózy) došlo za pouhých 5 dní na low-carb stravě



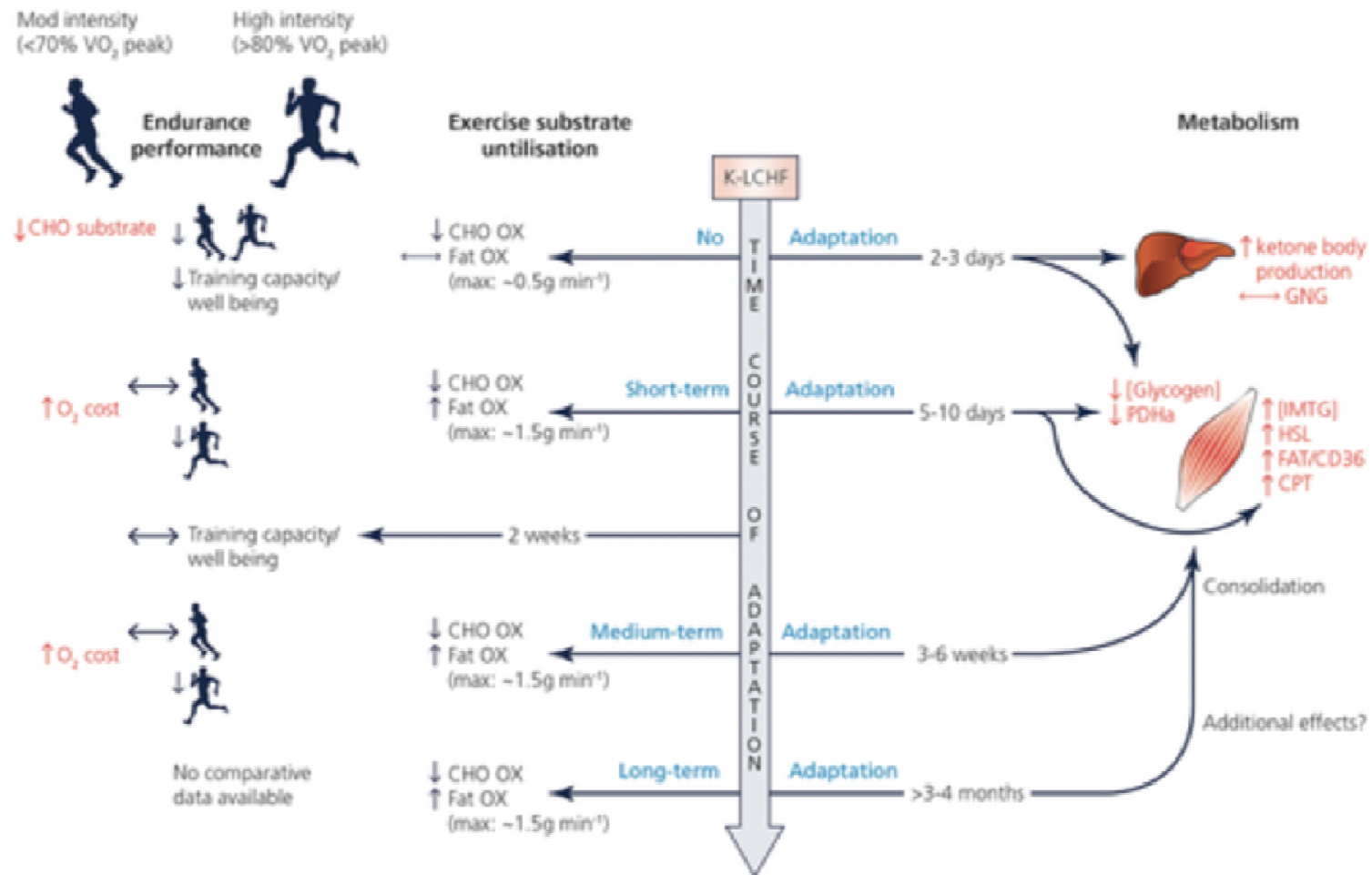
Jak dlouho trvá adaptace na keto?



Harber (2005) Alterations in carbohydrate metabolism in response to short-term dietary carbohydrate restriction

Goedecke (1999), Metabolic adaptations to a high-fat diet in endurance cyclists.

Ketogenic low-CHO, high-fat diet: the future of elite endurance sport? (Burke, 2021)



Adaptační mechanismy na low-carb dietu
ve smyslu zvýšené oxidace tuků během FA
proběhnou za 5–10 dní.

U ketogenní diety to prozatím není přesně
jasné.

Adaptační mechanismy při low-carb stravování

Metabolický proces, Stav zásob	Low-carb stravování	High-carb, low-fat stravování
Zásoby IMTG (intramuskulární tuk)	Zvýšené	Nižší než u low-carb, u sportovců ale obecně zvýšené
Lipolýza v tukové tkáni	Zvýšená	Nižší než u low-carb, u sportovců ale obecně při FA zvýšená
Schopnost oxidace a využití IMTG	Zvýšená	Nižší než u low-carb, ale zvýšená oproti nesportujícím
Schopnost transportu MK skrz buňku do mitochondrie (FADT-CD36, CPT)	Zvýšená	Nižší než u low-carb, ale zvýšená oproti nesportujícím
Beta-oxidace MK obecně	Zvýšená	Nižší než u low-carb, ale u sportovců obecně zvýšená

Adaptace „na tukový metabolismus“ existuje.

Argumenty zní lákavě, je ale seriózní vědou opravdu prokázána výhodnost low-carb diety pro podporu vytrvalostního sportovního výkonu?

Rychlost tvorby energie během FA

- Se vzrůstající intenzitou zátěže roste potřeba adekvátní a rychlé tvorby ATP

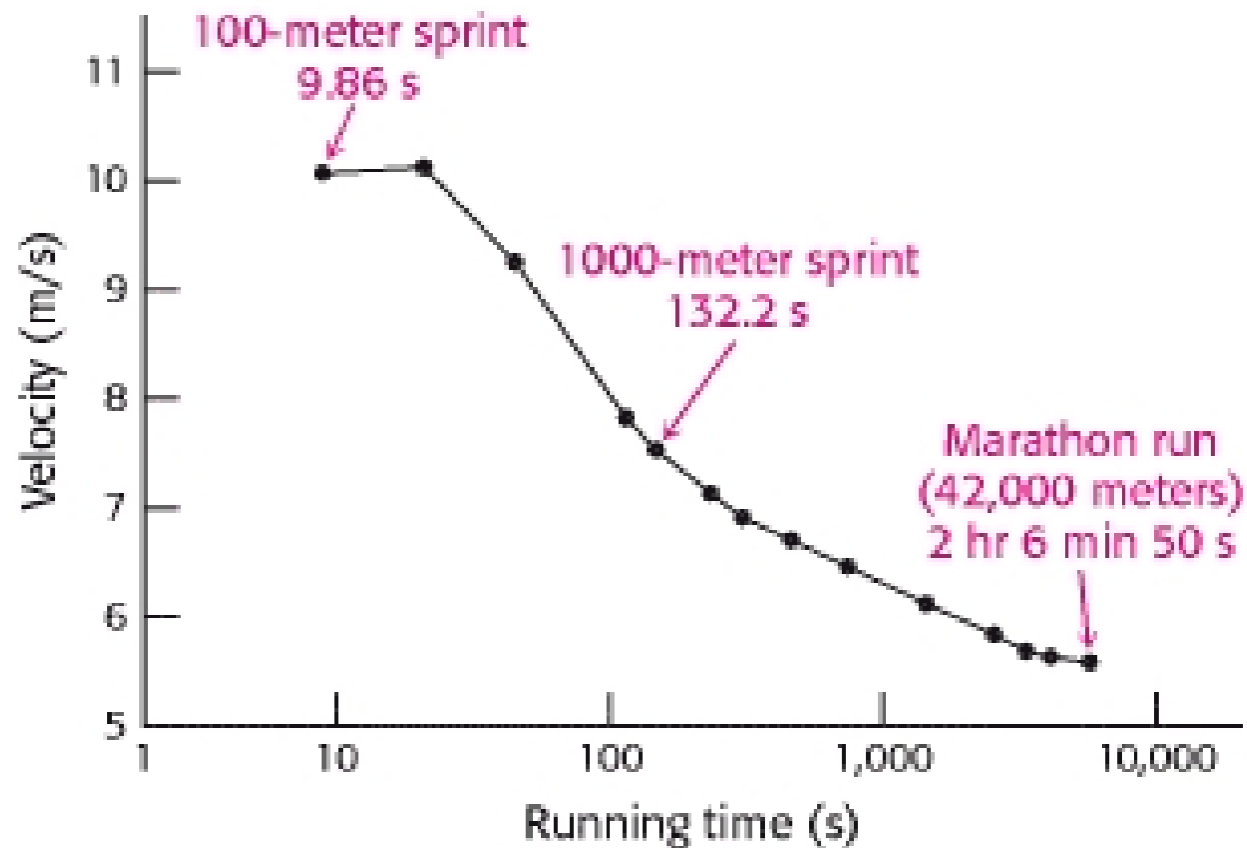
Palivo	Rychlost tvorby ATP (mmol/s)	Teoretické vytvořitelné zásoby
ATP ve svalech	1–2 sekundy FA	223
Kreatin fosfát	73,3 (cca prvních 10–15 s FA)	446
Konverze glykogenu na laktát	39,1	6 700
Konverze glykogenu na CO ₂	16,7	84 000
Konverze mastných kyselin na CO ₂	6,7	4 000 000

	Sacharidy	Bílkoviny	Tuky
Zisk energie při oxidaci 1 litrem O₂	21,1 kJ	18,8 kJ	19,6 kJ

Energetické substráty a metabolismus používané při intenzivním výkonu

Energetické systémy zapojené do získávání ATP v kontextu silového zatížení	Dominantní zdroj energie během délky trvání zátěže	Rychlost získávání energie
ATP uložené přímo ve svalech	Cca 1–2 sekundy	
Tvorba ATP z kreatinfosfátu	10–15 sekund	↑↑↑
Glykolýza využívající sacharidy	15–120 sekund	↑↑
Beta-oxidace MK	Při intenzivním výkonu malé zapojení	↑
Aminokyseliny	Cca 1–15 % výdeje energie	↑

Rychlost získávání ATP je úzce spojena
i s rychlostí vykonávání pohybu

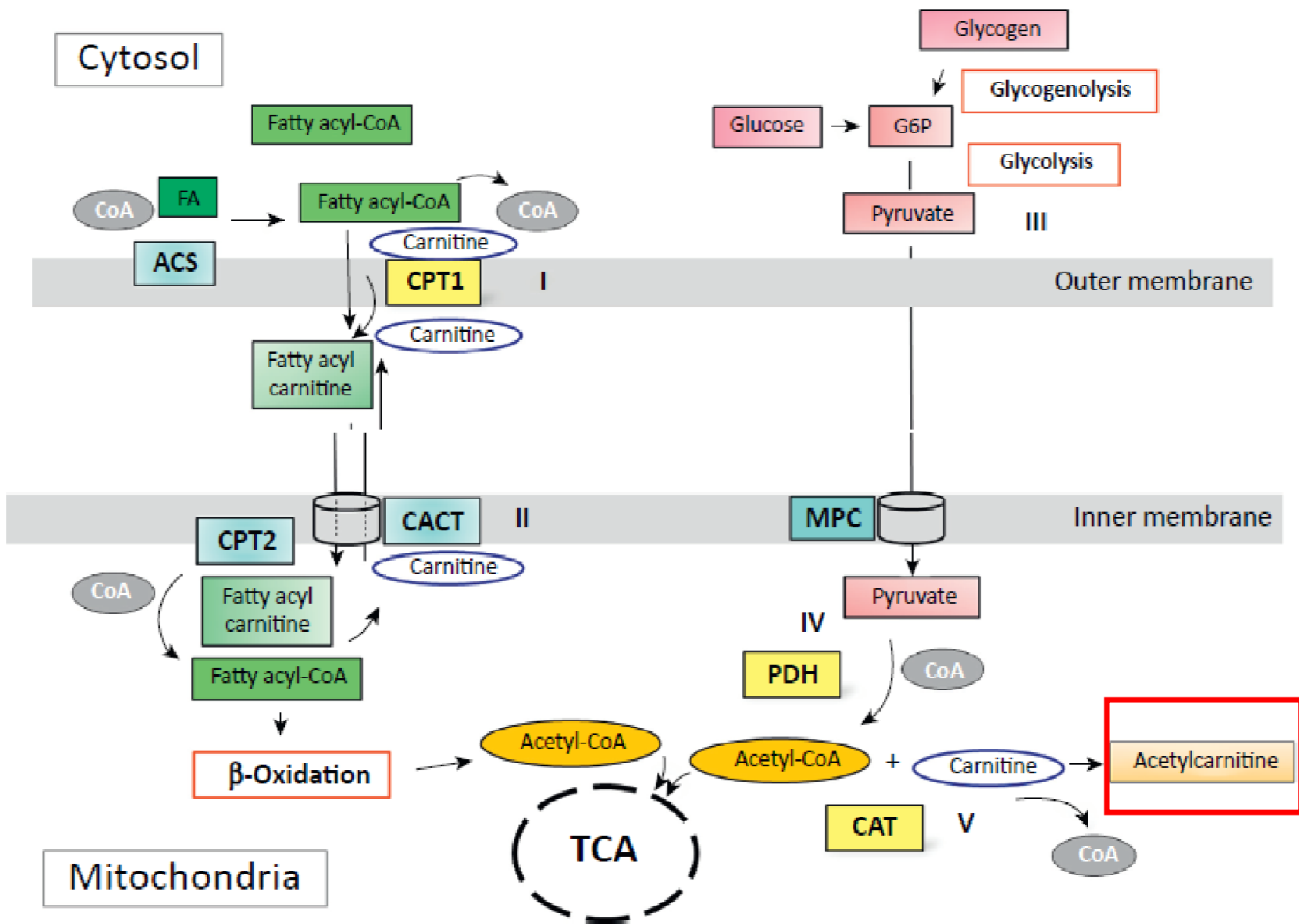


Low-carb vs. high-carb dieta a adaptace

Metabolický proces, Stav zásob	Low-carb	High-carb
Zásoby IMTG (intramuskulární tuk)	Zvýšené	Nižší než u low-carb, u sportovců ale obecně zvýšené
Lipolýza v tukové tkáni	Zvýšená	Nižší než u low-carb, u sportovců ale obecně při FA zvýšená
Schopnost oxidace a využití IMTG	Zvýšená	Nižší než u low-carb, ale zvýšená oproti nesportujícím
Beta-oxidace MK obecně	Zvýšená	Nižší než u low-carb, ale u sportovců obecně zvýšená
Zásoby svalového glykogenu	Snížené	Zvýšené
Schopnost oxidace sacharidů a využití svalového glykogenu	Snížená aktivita klíčového glykolytického enzymu PDH určujícího rychlost glykolýzy	Zvýšená

Proč na low-carb stravě zřejmě nedosáhneme takového výkonu?

- Nad intenzitu zatížení cca **65–70 % VO₂ max** se *fyziologicky* zvyšuje potřeba glykolýzy, aby byly pokryty nároky na rychlou tvorbu energie, oxidace MK přestává tyto nároky při vyšší intenzitě pokrývat.
- Navazující problémy na tento fakt při low-carb stravování:
- 1) Snížená aktivita klíčového enzymu PDH glykolýzy → snížená rychlost tvorby energie ze sacharidů
- 2) Snížené zásoby glykogenu z důvodu nízkého příjmu sacharidů
- 3) Snížená schopnost využití svalového glykogenu (nikoliv jeho šetření!)
- 4) Nemožnost oxidovat mastné kyseliny bez přístupu kyslíku ve vysokých intenzitách, kdy můžeme spalovat pouze sacharidy (vzniká laktát)
- 5) Nižší rychlost získávání energie oxidací mastných kyselin i za předpokladu vysoké aerobní trénovanosti a adaptace na tukový metabolismus



Proč se tedy za vyšších intenzit snižuje oxidace MK?

- V dnešní době je nejčastěji přijímán fakt, že **snížená oxidace MK za vyšších intenzit je zřejmě dána sníženou koncentrací volného karnitinu v mitochondriích**
- **Při vysoké tvorbě acetyl-CoA z pyruvátu z glykolýzy se totiž aktuální nadbytek acetyl-CoA v mitochondrii váže na karnitin za vzniku acetylkarnitinu. Karnitin potom nemůže transportovat MK** v mezimembránovém prostoru do nitra mitochondrie, transport MK a tím i jejich oxidace je tak za vyšších intenzit přirozeně snížena.
- Zároveň je oxidace tuků ovlivněna i dostatečným množstvím kyslíku ve svalové buňce.

Cílené navýšení příjmu sacharidů v rámci low-carb před závody = klíč k maximálnímu výkonu?

- Jednou z teoretických možností jak zachovat vysokou oxidaci tuků, zároveň pracovat s vysokými zásobami sacharidů ve svalech, je před závody razantně navýšit příjem sacharidů
- **Cíl: zvýšit „sacharidovou dostupnost“ při zachování „tukového metabolismu“, a tak teoreticky využít jak zvýšené oxidace tuků, tak doplněných zásob glykogenu.**

Je však tato teorie pravdivá?

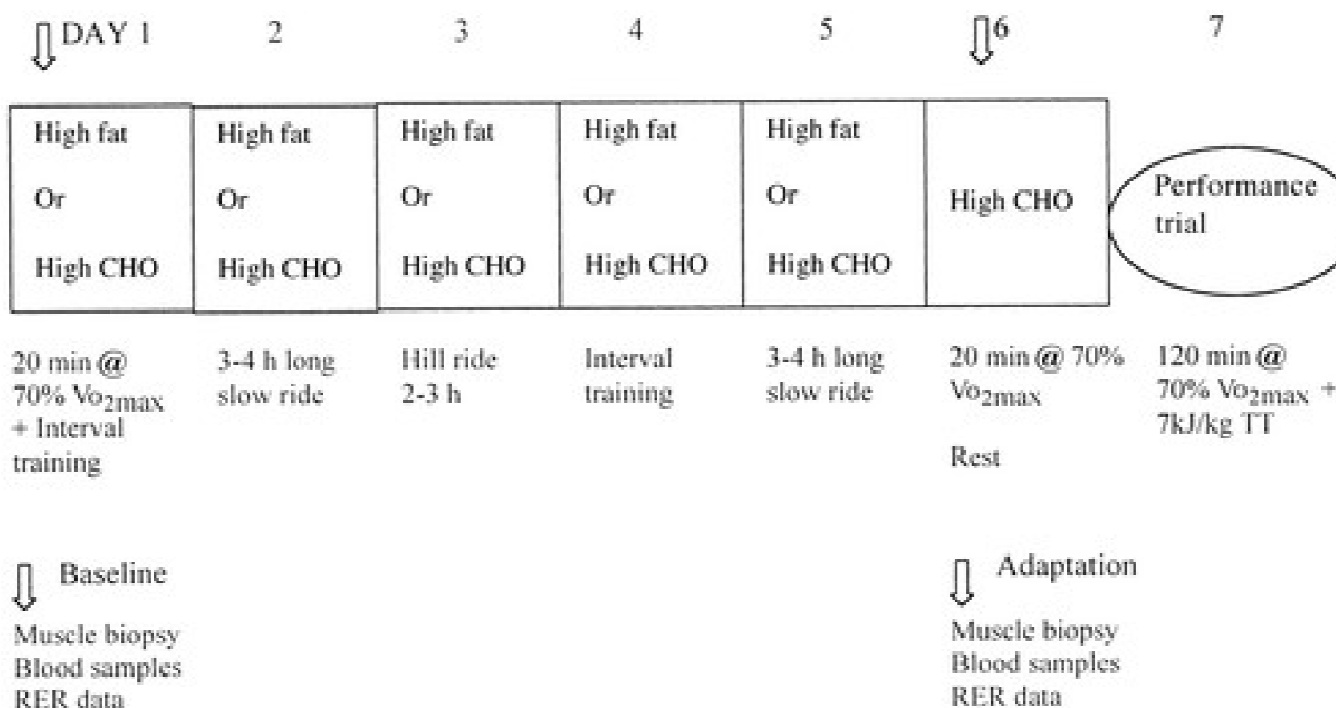
Burke (2000), Effect of fat adaptation and carbohydrate restoration on metabolism and performance during prolonged cycling

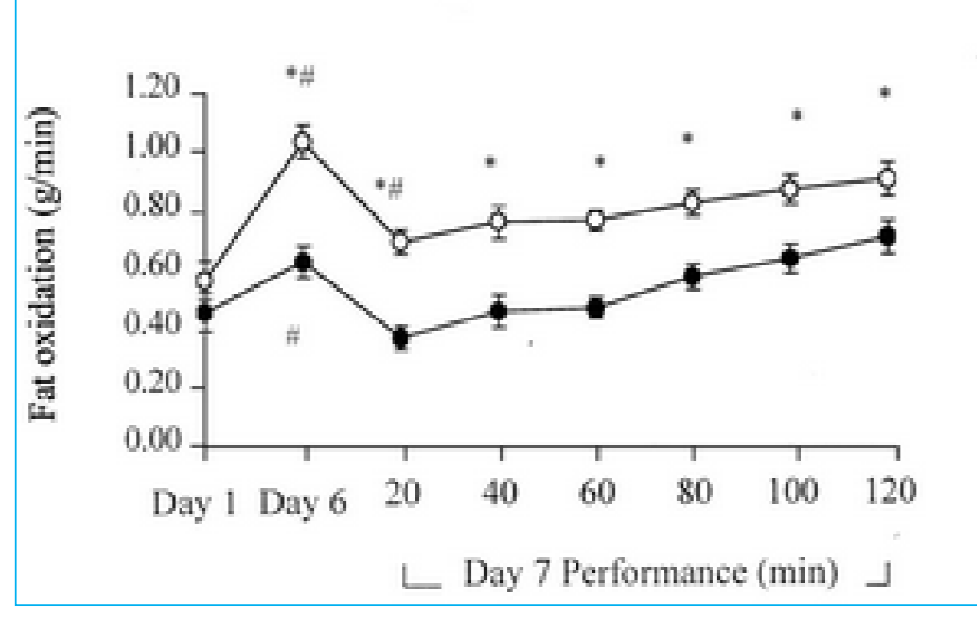
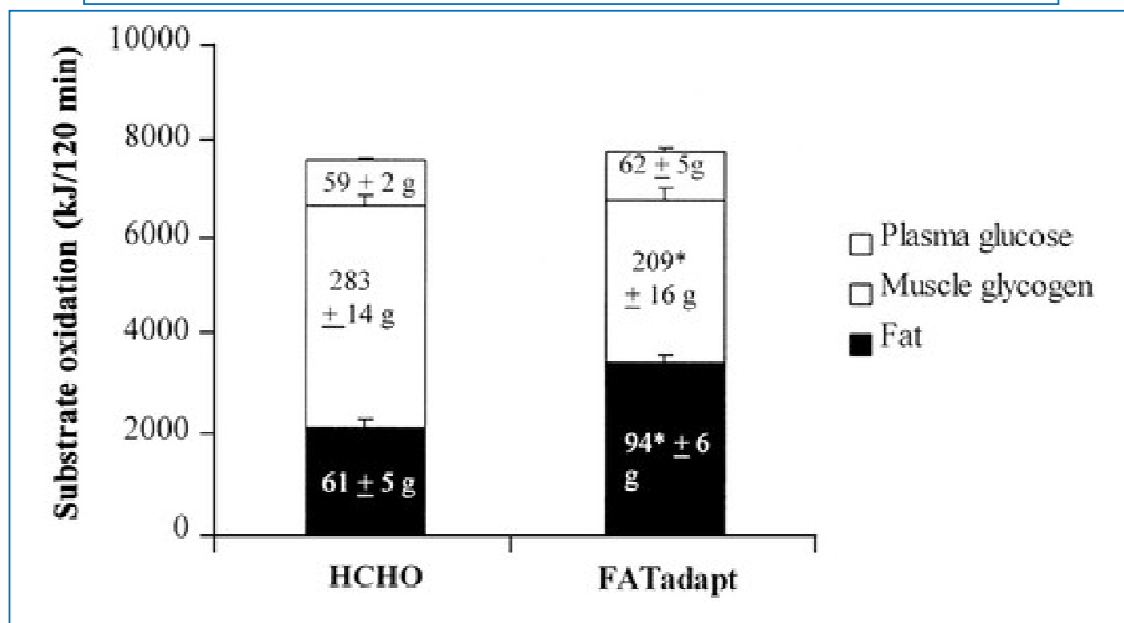
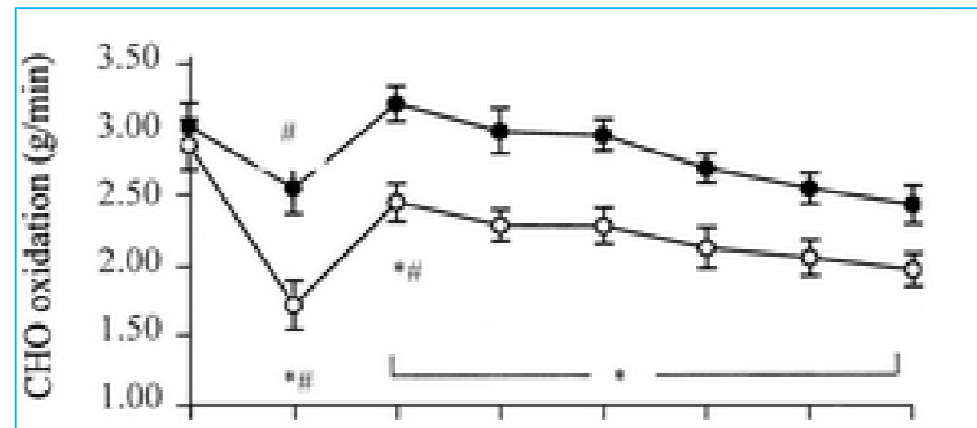
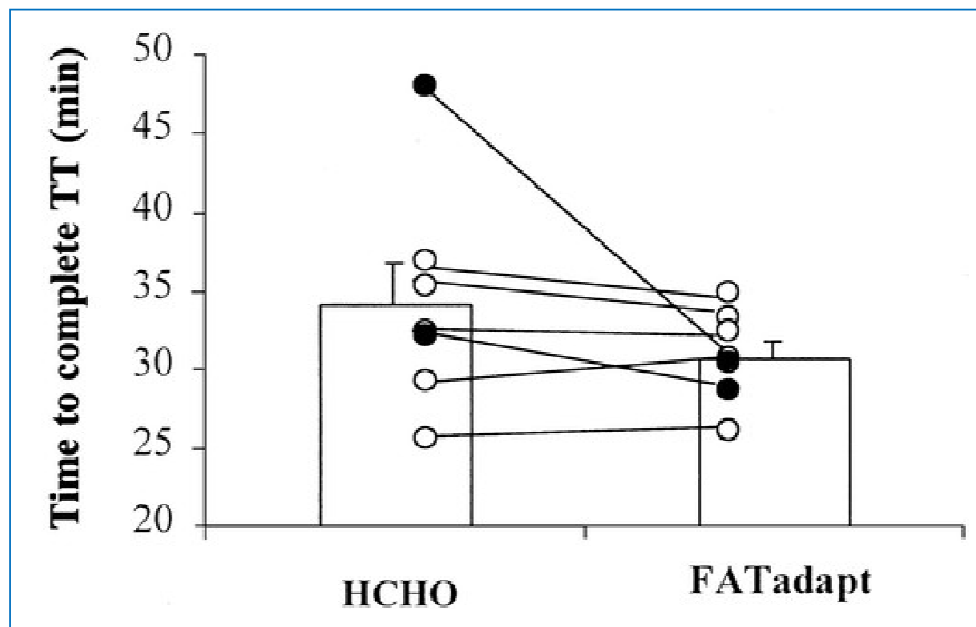
Živiny	HCHO	HFD
Sacharidy	9,6 g/kg	2,4 g/kg
Tuky	0,7 g/kg	4 g/kg

CARB Loading 6. den

10 g/kg TH

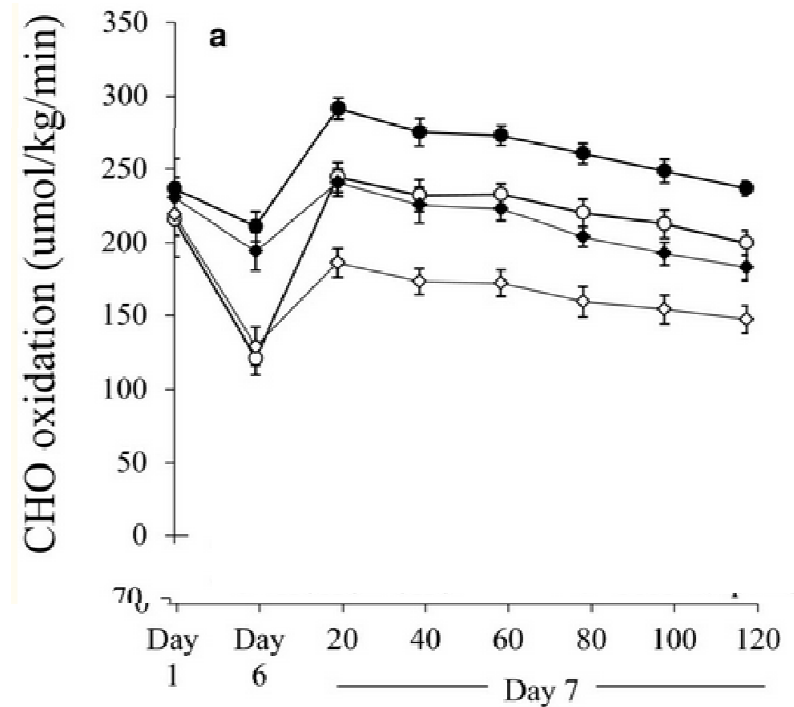
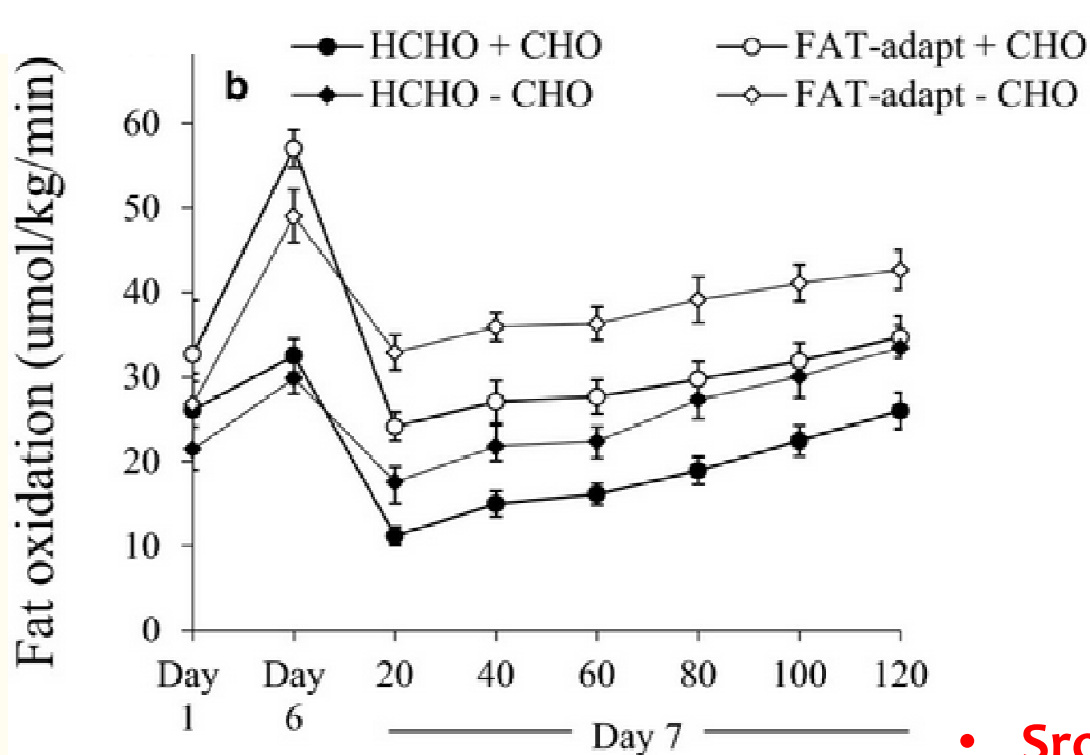
- 8 trénovaných cyklistů
- Cross-over design studie
- 120 min 70 % $\dot{V}O_{2\max}$
- 7 kJ/kg body mass time trial (TT)
- Testování 7. den nalačno





Burke (2002), Adaptations to short-term high-fat diet persist during exercise despite high carbohydrate availability

- Stejný design jako předešlá studie, jen s tím rozdílem, že měření předcházela snídani (2 g/kg TH S) a během zátěže příjem 0,8 g/kg TH S



- Srovnání obou studií v dvou grafech

Fat adaptation followed by carbohydrate loading compromises high-intensity sprint performance (2005)

- Crossover design studie
- **Zkoumán vliv na:**
- **1) Celkový čas na závod 100 km**
- **2) Pociťované úsilí při závodu**
- **3) Časy a výkon během sprintů na trati**

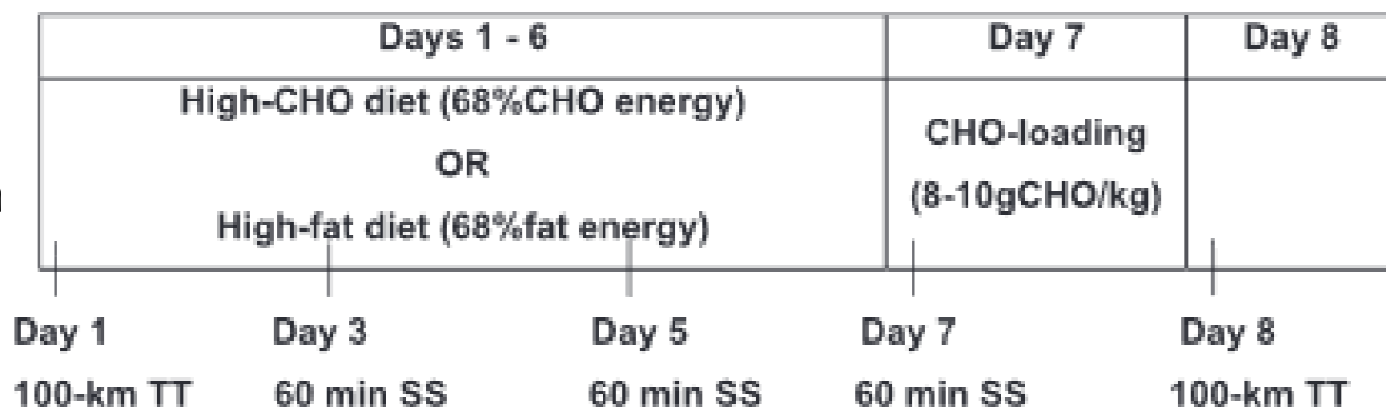


Fig. 1. Summary of diet and testing protocol. CHO, carbohydrate; SS, steady-state cycle at 63% of peak power output (W_{peak}); TT, 100-km time trial.

	Příjem sacharidů	Příjem proteinů	Příjem tuků
High CHO	7,5 g/kg TH (650) (68 %)	1,65 g/kg TH	0,8 g/kg TH (17 %)
HIGH FAT	1,8 g/kg TH (150) (17 %)	1,65 g/kg TH	3,3 g/kg TH (68 %)

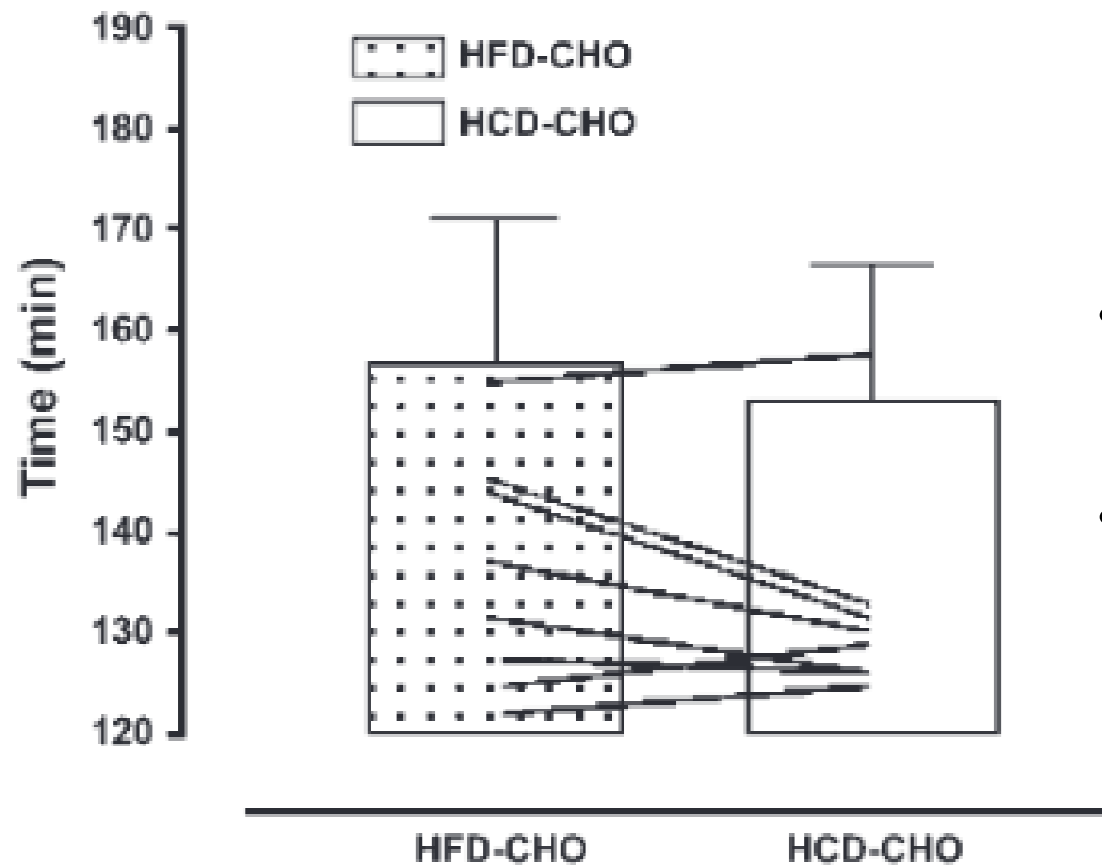
Snímek 41

1

Petr Loskot, 10/2/2018

Celkový čas na 100 km závodu

- Lepší výkon v průměru o 3 min 44 (cca 2,5 %) s HCD-CHO dietou



- U 5 závodníků zlepšení na „sacharidech“
- U 3 závodníků zlepšení na „tucích“

Vliv na výkon, čas a pocit'ované úsilí během 4 sprintů o délce 4 km na trati 100 km

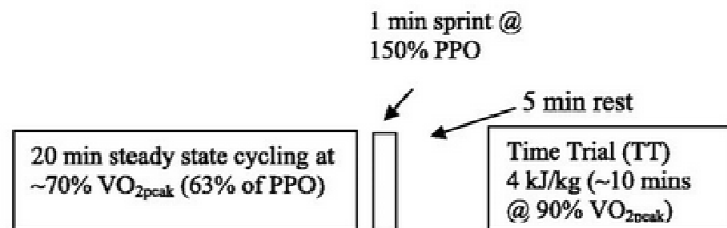
		Sprint na 20. km	Sprint na 40. km	Sprint na 60. km	Sprint na 80. km	P-hodnota značící významnost
Výkon (W)	HF-CHO	289	291	279	268	<0,01
	HC-CHO	308	308	305	295	
Čas sprintu (s)	HF-CHO	336	338	340	347	<0,05
	HC-CHO	327	330	328	335	
Pocit'ované úsilí (0-20)	HF-CHO	16,6	17,6	18,4	18,8	<0,001
	HC-CHO	15,8	17,3	17,5	18,3	

Stellingwerf (2006), Decreased PDH activation and glycogenolysis during exercise following fat adaptation with carbohydrate restoration

A

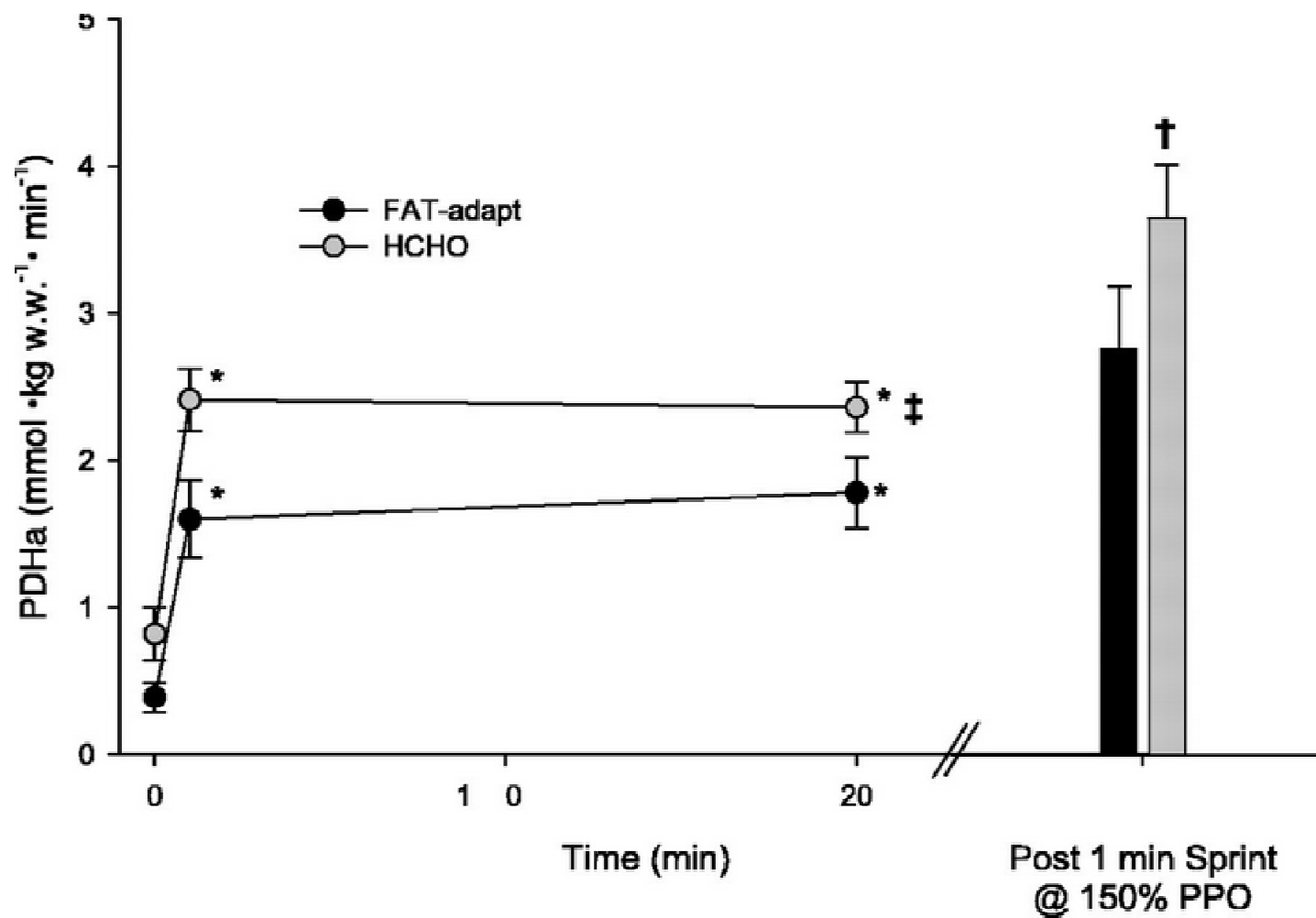
	DAY 1	DAY 2	DAY 3	DAY 4	DAY 5	DAY 6	DAY 7
DIET	FAT or CHO	FAT or CHO	FAT or CHO	FAT or CHO	FAT or CHO	CHO restoration	Testing Trial (see Fig 1b for details)
TRAINING	Interval Training	3-4 hr long ride	2-3 hr hill ride	Interval Training	3-4 hr long ride	Rest	

B



	Příjem sacharidů	Příjem proteinů	Příjem tuků
High CHO	10,3 g/kg TH (70 %)	2,3 g/kg TH	1,0 g/kg TH (10 %)
HIGH FAT	2,5 g/kg TH (18 %)	2,3 g/kg TH	4,6 g/kg TH (67 %)

Výsledky studie: Aktivita enzymu PDH



Souhrn poznatků z těchto studií

- Oxidace tuků je i přes sacharidovou superkompenzaci nadále zvýšena
- **Nadále trvající snížená schopnost využití svalového glykogenu a snížená aktivita enzymu PDH, i když částečně navrácena (cca 70 %), jsou důvodem pro stále snížený výkon**
- **Zachovaná zvýšená oxidace MK po zavedení sacharidů ve zvýšené míře do stravy je zachována po dalších až 36 hodin, poté se tato adaptace na low-carb ztrácí**
- Hlavní problém LC diety i přes superkompenzaci byl **zhoršení výkonu během sprintů na trati (úseky s vyšším výkonem VO₂max)**
- **Krátkodobé zvýšení příjmu sacharidů jinak na low-carb stravě před závodem v průměru nevede k lepšímu výslednému času na trati a tedy současnému zvýšení využívání sacharidů a tuků, aby byl výkon vyšší oproti stravě celou dobu na sacharidech**
- **Porovnejme ale: průměr vs. data jednotlivých závodníků (někteří zlepšení)**

Keto-studie a vliv na výkon

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

- Studie provedena na tréninkovém kempu elitních chodců v přípravě na LOH 2016
- 3týdenní období zvýšeného tréninku za účelem zlepšení výkonu a kvalifikace na olympiádu
- Účastníci ve 3 skupinách:

Stravovací protokol	Příjem sacharidů	Příjem proteinů	Příjem tuků
HCHO (cca 14,7 MJ)	8,6 g/kg TH (60–65 %)	2,1 g/kg TH	1,2 g/kg TH (cca 20 %)
*PCHO (cca 14,9 MJ)	8,3 g/kg TH (60–65 %)	2,2 g/kg TH	1,2 g/kg TH (cca 20 %)
LCHF (cca 14,9 MJ)	33 g (3,5 %)	2,2 g/kg TH	4,7 g/kg TH (312 g) (78 %)

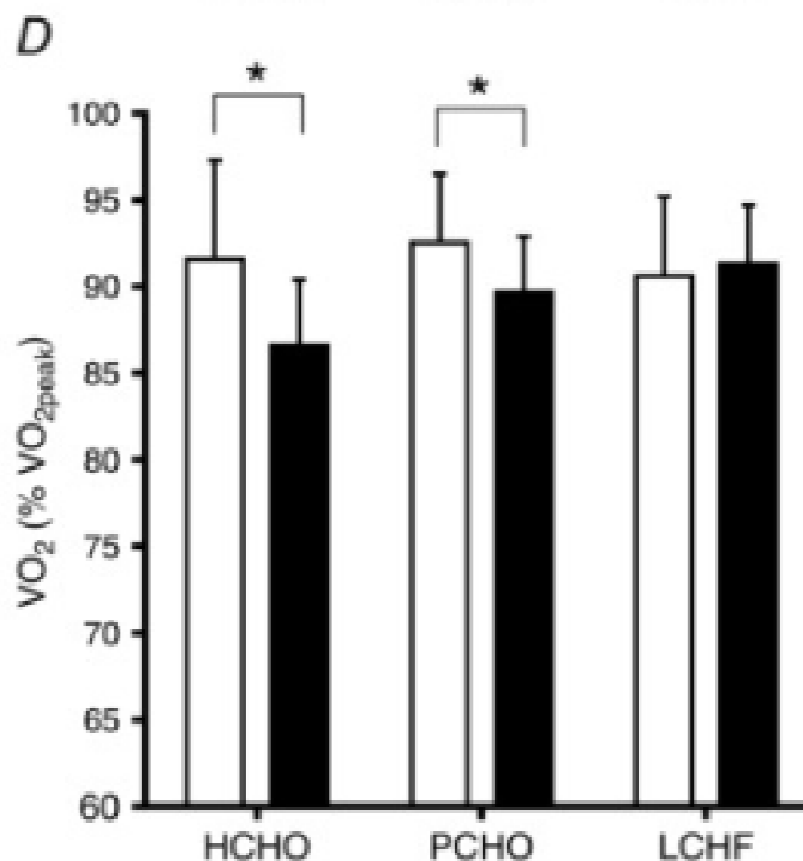
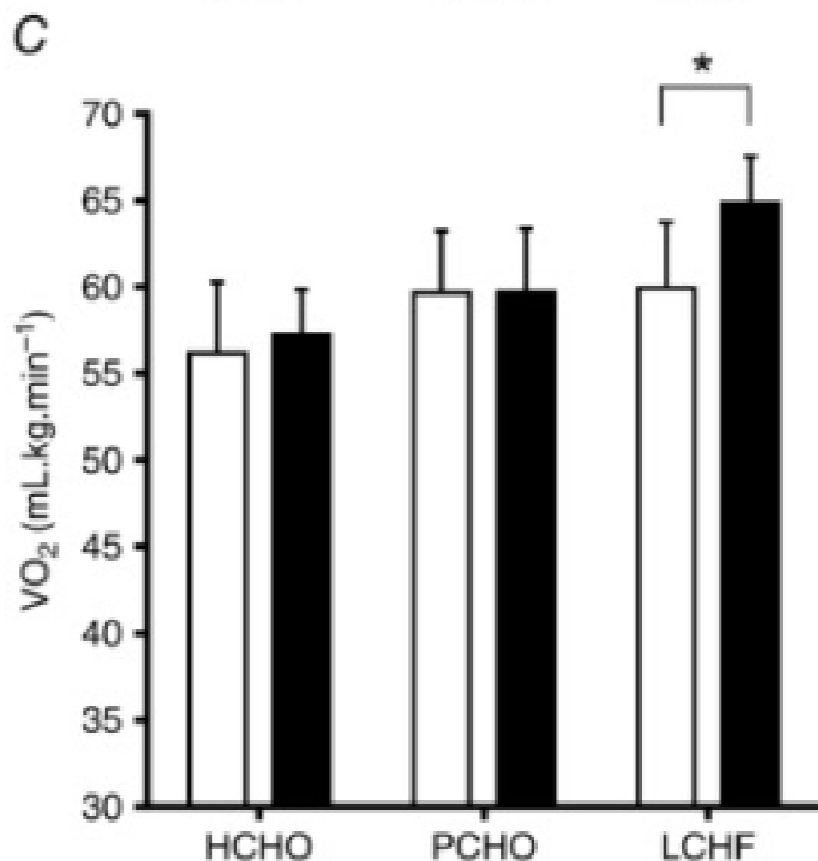
- *PCHO: Periodizovaný příjem sacharidů v návaznosti na trénink (jiné rozdělení příjmu sacharidů během dne)

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

- **Cíl studie:**

- Porovnat parametry závodníků na HC nebo LC během 3 týdnů intenzivní přípravy:
- 1) Testování parametrů **využití kyslíku a výkonu během zátěže při rychlosti** 11–12 km/hod a 14–15 km/hod, což jsou typické rychlosti pro chodecké závody na 50 km a 20 km
- 2) Závod na čas na 10 km a 25 km
- Měření byla provedena před a po tomto 3týdenním bloku tréninků

Simulace podmínek při chůzi na 20 km



Množství spotřebovávaného kyslíku
pro udržení dané rychlosti
(ml O₂ na kg/min)

% potřeba kyslíku z maximální
spotřeby kyslíku VO₂ peak

Parametry závodů na 10 km a 25 km

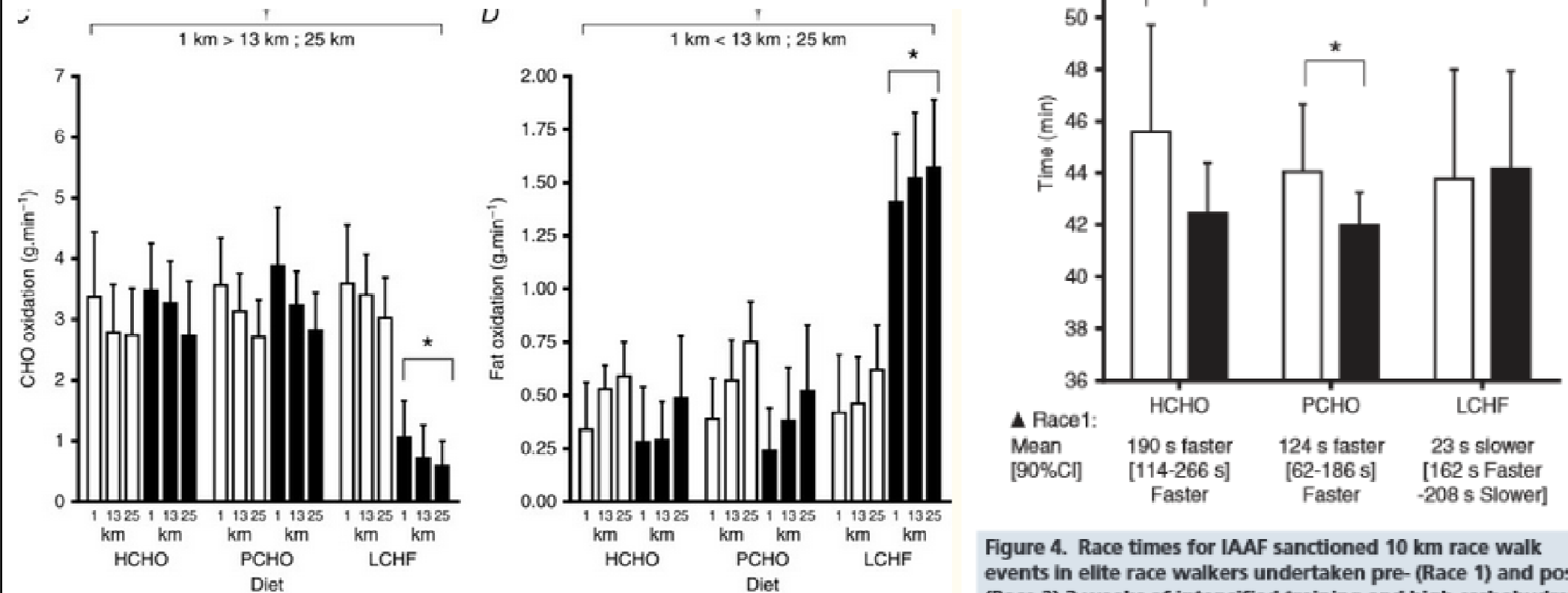
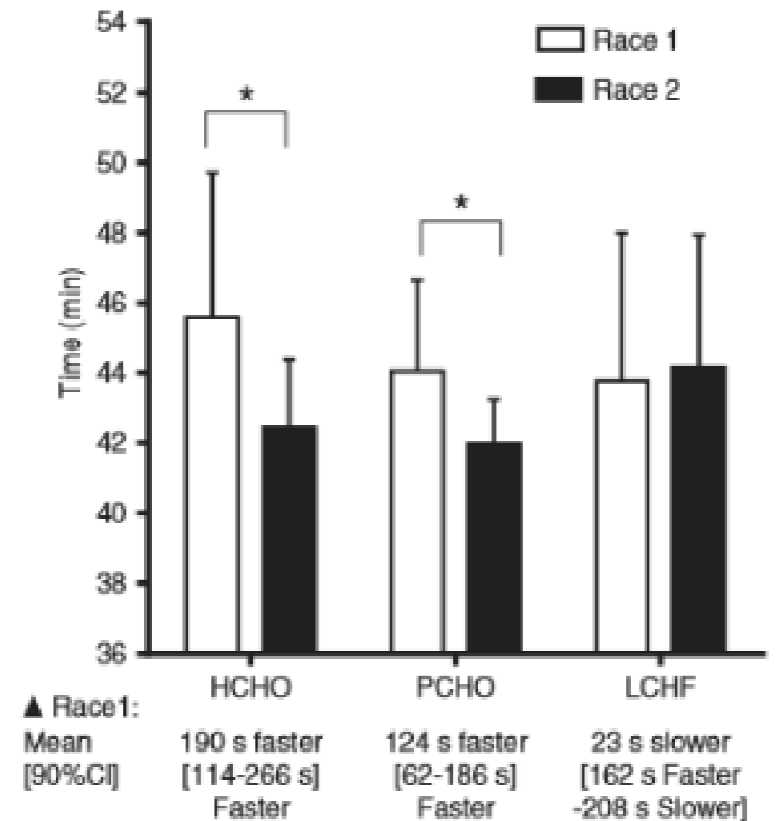


Figure 4. Race times for IAAF sanctioned 10 km race walk events in elite race walkers undertaken pre- (Race 1) and post- (Race 2) 3 weeks of intensified training and high carbohydrate availability (HCHO, $n = 9$), periodised carbohydrate availability (PCHO, $n = 8$), or ketogenic low carbohydrate, high fat (LCHF, $n = 9$) diets
 *Significantly different from pre-treatment ($P < 0.01$).

Čas závodu na 10 km

- Sacharidové skupiny se zlepšily o 124–190 sekund
- Low-carb/keto se v průměru zhoršily o 23 sekund
- Rozptyl výsledků u low carb 162 s rychlejší až 208 s zhoršení



Čas závodu na 10 km

Závěry studie v neprospěch low-carb/keto

- Všechny 3 skupiny závodníků zlepšily svůj parametr VO₂ max (peak) o 3–7 %, trénink vedl ke zvýšení kondice
- LCHF pozoruhodně zvýšila oxidaci tuků během FA (až 1,8 g/min)
- Pro udržení stejné rychlosti chůze u skupiny LCHF bylo třeba dodávat více kyslíku, což je známkou **zhoršené ekonomie zatížení**
- U LCHF bylo též patrné zvýšení pocíťovaného úsilí během tréninků a závodu
- **Zlepšení v „kondici“ ani zvýšená oxidace tuků však u většiny závodníků na LCHF nevedly ke zlepšení závodního času, naopak.**
- **LCHF nepředstavovala žádnou výhodu pro elitní vytrvalostní závodníky v chůzi oproti klasické HC stravě, naopak byla podstatnou nevýhodou**
- **TIP na další čtení: Volek (2016), Metabolic characteristics of keto-adapted ultra-endurance runners**

Mají tedy tuky ve stravě vytrvalce místo? ANO!

Dnešní vrcholoví vytrvalostní sportovci by se neměli držet dogmaticky high-carb přístupu → ideální použít pojem *carbohydrate availability (CA)*

- **Příjem sacharidů i tuků personalizovat podle aktuální části sezóny/přípravy:**
- **1) Tréninky o nižší intenzitě** → možnost snížit příjem S (low CA) za zvýšení příjmu T
→ do určité míry pomoci tělu „naučit se“ více využívat tuky
- **2) Tréninky o vyšší intenzitě** → zvýšení příjmu S (high CA) → „naučit organismus“ oxidovat sacharidy ve vyšších intenzitách
- **3) Závod** → Profitovat z vysoké aerobní trénovanosti → šetření zásob glykogenu, zároveň vysoká oxidace tuků → při vyšší intenzitě však „přepnout“ na sacharidy
→ **používat oba hlavní zdroje energie pro maximální výkon (metabolická flexibilita)**
→ **tento stav je podle současného poznání možný pouze při HC dietě, LC paradoxně snižuje metabolickou flexibilitu a tím i podávaný výkon**

Dietary principle**Overview of dietary strategy****Purported benefits for race performance**

Training strategies

High CHO availability

(HCHO)

- Total daily CHO intake, and its spread over the day, aims to optimise muscle glycogen stores and additional exogenous CHO supplies to meet the fuel demands of the day's training or event commitments.
- Total daily targets vary according to training load: 3–12 g kg⁻¹ are typical
- CHO may be consumed before, during and/or between key training sessions/races where needed to provide fuel support.

- Consistent high quality training is underpinned by optimal CHO fuel
- Gut adaptation may occur to increase intestinal absorption of glucose, assisting with race fueling and gut comfort

Periodised CHO
availability (PCHO)

- CHO availability for each workout is varied according to the type of session and its goals within a periodised training cycle
- Integrates single sessions or sequences of variants of
 - 'train high' (train with high CHO availability)
 - 'sleep low' (delay post-exercise glycogen restoration)
 - 'train low' (low muscle glycogen and/fasted training)
- Could include period of keto-adaptation within targeted phase
- Matches training-nutrient interactions to goals of each session or training phase, including:
 - enhanced training quality/intensity with high CHO availability
 - enhanced cellular signalling and adaptation with training with low muscle glycogen

Non-ketogenic low-carb
high-fat (NK-LCHF)

- CHO availability chronically (days/weeks/months) maintained below muscle CHO needs to promote adaptations favouring fat oxidation, but with sufficient CHO to avoid sustained ketosis.
- Typical intake = 15–20% CHO energy ($<2.5 \text{ g kg}^{-1} \text{ day}^{-1}$), 15–20% protein, 60–65% fat in combination with endurance training ($>5 \text{ h week}^{-1}$).
- CHO intake less than muscle fuel needs while consuming high amounts of dietary fat causes adaptations to increase availability of muscle fats and capacity to oxidise them as muscle fuel

Ketogenic LCHF (K-LCHF) diet

- Sustained ketosis achieved via severely restricted CHO intake and moderate protein intake. Fats, principally saturated and monounsaturated, contribute major energy source.
- Typically: < 5% CHO energy (<50 g day⁻¹), 15–20% protein, 75–80% fat.
- Popular K-LCHF book recommends CHO intake is provided by moderate portions of dairy foods, nuts and seeds, low CHO fruits and vegetables to maximise nutrient-density and electrolyte supplementation addresses renal electrolyte excretions
- Adaptations achieve extremely high rate of fat oxidation (>1 g min⁻¹) during exercise
- Typically maintains plasma β -hydroxybutyrate (β -HB) concentrations >0.5 mmol l⁻¹

K-LCHF diet with strategic training CHO

- K-LCHF diet is maintained as chronic dietary plan but small amounts of CHO are consumed before or during key training sessions (with acute loss or lowering of ketosis but maintenance of adaptation for high rates of fat oxidation) during specific phases of competition preparation
- Aims to achieve K-LCHF benefits on rates of fat oxidation during exercise while preserving some ability to absorb (gut) and utilise (muscle) CHO as additional muscle fuel
- May support higher quality training as well as prepare athlete to be better able to utilise CHO support on race day

Race strategies

High CHO availability

- CHO intake strategies before/during race are matched to race fuel costs:
 - Races < 90 min: normalisation of muscle glycogen over 24 h pre-event + pre-race CHO-rich (1–4 g kg⁻¹) meal
 - Races > 90 min supercompensation of muscle glycogen by greater CHO intake (10–12 g kg⁻¹ day⁻¹) over 24–48 h pre-race + pre-race CHO-rich (1–4 g kg⁻¹) meal
 - Races 45–75 min: small, frequent amounts CHO including mouth rinse
 - Races 1–2.5 h: 30–60 g h⁻¹ CHO
 - Races > 2.5 h: up to 90 g h⁻¹ CHO
- Endurance-trained muscle has higher normal glycogen content and can be supercompensated with further storage opportunities, to support high rates of CHO oxidation during the race
- Pre-race meal contributes to liver glycogen stores and ongoing gut glucose release
- Intake during brief events contributes to central nervous system effect via oral receptor stimulation
- Intake during longer events sustains high rates of CHO oxidation in the face of reduced muscle glycogen stores

K-LCHF

- Race fuel provided by endogenous fat and ketone stores
- May be supplemented by intake of fat-rich sources during race

- Substrate provided by high rates of oxidation of endogenous fat and unknown contribution of ketones
- Reduction in muscle glycogen and plasma glucose oxidation with gluconeogenesis maintaining euglycaemia
- Does not require support from exogenous CHO during race fuel needs, potentially reducing the practical challenges and gut discomfort associated with this

Periodisation of NK-LCHF or K-LCHF + high CHO availability

- Adaptation to either non-ketogenic or ketogenic LCHF diet followed by complete restoration of HCHO for different periods around race day, including restoration of muscle glycogen

- Attempt to 'provide the best of both worlds' of fuel support by combining enhanced capacity for fat oxidation with high availability of endogenous and/or exogenous CHO fuels
- Aim to support higher intensity exercise not fueled by fat oxidation

K-LCHF + strategic race
CHO

- Chronic adaptation to K-LCHF diet supplemented by acute strategies to increase exogenous CHO availability for race day

Jeukendrup (2017), Periodized Nutrition for Athletes

- *Periodized nutrition refers to the planned, purposeful, and strategic use of specific nutritional interventions to enhance the adaptations targeted by individual exercise sessions or periodic training plans, or to obtain other effects that will enhance performance longer term.*

Příklady periodizované výživy

Manipulace s dostupností živin před, kolem a po tréninku

Trénink GIT (na vyšší příjem živin při intenzivní aktivitě)

Trénink s nižším příjmem tekutin

Zařazení doplňků stravy na podporu výkonu

Periodizovaná výživa a její vliv na organismus: přehled

Metoda	Význam
<u>Train low:</u> <ul style="list-style-type: none">● Trénink 2x denně,● Trénink nalačno,● Sacharidová restrikce během regenerace● Metoda sleep low● Pojem <i>carbohydrate availability</i>	Trénink s nižšími glykogenovými zásobami vede k expresi genů podporujících adaptační mechanismy na trénink a lepší využití energie (citrát syntáza) nebo podporují zvýšenou tvorbu a aktivitu enzymů tukového metabolismu (HAD*) → tělo sportovce se učí lépe spalovat tuky
<u>Train high:</u> <ul style="list-style-type: none">● Trénink s vysokými zásobami sacharidů● Doplnění sacharidů během FA	Podpora maximálního výkonu Zachování kvality pohybu Snížení pocíťované únavy

*HAD – beta-hydroxyacyl-CoA-dehydrogenáza

Periodizovaná výživa a její vliv na organismus: přehled

Metoda	Význam
<u>Training the gut:</u> <ul style="list-style-type: none">● Trénink žaludku● Trénink vyprazdňování žaludku● Trénink absorpce● Trénink závodní suplementace	Příjem vyššího množství tekutin a živin při tréninku → navyknutí GIT na takový příjem i během závodu, což by mohlo jinak bez předchozího vyzkoušení dělat problém
<u>Train dehydrated:</u>	Podpora výkonu v dehydratovaném stavu při reálném závodu
<u>Improving training adaptations with supplements:</u>	Kreatin, beta-alanin, citrulin, jedlá soda, šťáva z červené řepy, BCAA (Více další přednáška)

Ukázka - [odkaz na celou studii](#)

Enhanced Endurance Performance by Periodization of Carbohydrate Intake: "Sleep Low" Strategy.

Marquet LA¹, Brisswalter J, Louis J, Tiollier E, Burke LM, Hawley JA, Hausswirth C.

⊕ Author information

Abstract

PURPOSE: We investigated the effect of a chronic dietary periodization strategy on endurance performance in trained athletes.

METHODS: Twenty-one triathletes ($\dot{V}O_2\text{max}$: 58.7 ± 5.7 mL·min⁻¹·kg⁻¹) were divided into two groups: a "sleep-low" (SL) (n = 11) and a control (CON) group (n = 10) consumed the same daily carbohydrate (CHO) intake (6 g·kg⁻¹·d⁻¹) but with different timing over the day to manipulate CHO availability before and after training sessions. The SL strategy consisted of a 3-wk training-diet intervention comprising three blocks of diet-exercise manipulations: 1) "train-high" interval training sessions in the evening with high-CHO availability, 2) overnight CHO restriction ("sleeping-low"), and 3) "train-low" sessions with low endogenous and exogenous CHO availability. The CON group followed the same training program but with high CHO availability throughout training sessions (no CHO restriction overnight, training sessions with exogenous CHO provision).

RESULTS: There was a significant improvement in delta efficiency during submaximal cycling for SL versus CON (CON, $+1.4\% \pm 9.3\%$; SL, $+11\% \pm 15\%$, $P < 0.05$). SL also improved supramaximal cycling to exhaustion at 150% of peak aerobic power (CON, $+1.63\% \pm 12.4\%$; SL, $+12.5\% \pm 19.0\%$; $P = 0.06$) and 10-km running performance (CON, $-0.10\% \pm 2.03\%$; SL, $-2.9\% \pm 2.15\%$; $P < 0.05$). Fat mass was decreased in SL (CON, -2.6 ± 7.4 ; SL, $-8.5\% \pm 7.4\%$ before; $P < 0.01$), but not lean mass (CON, -0.22 ± 1.0 ; SL, $-0.16\% \pm 1.7\%$ PRE).

CONCLUSION: Short-term periodization of dietary CHO availability around selected training sessions promoted significant improvements in submaximal cycling economy, as well as supramaximal cycling capacity and 10-km running time in trained endurance athletes.

Máme zde 3 bloky manipulace s tréninkem a výživou:

„Train high“

Večerní intenzivní trénink za vysoké sacharidové dostupnosti.

Po tréninku účastníci nesměli přijmout žádné sacharidy.



„Sleep low“

Spánek následovaný po večeři bez přítomnosti sacharidů.

Minimální doplnění glykogenových zásob přes noc.



„Train low“

Méně intenzivní ranní trénink ve stavu nízké sacharidové dostupnosti.

Trénink nalačno nebo po snídani bez sacharidů, aby došlo k maximálnímu stavu nízké sacharidové dostupnosti.

Výsledky studie

Test	Kontrolní skupina	"Sleep low" skupina
10 kilometrový běžecký závod před intervencí	41:26 +- 02:13 min:s	40:23 +- 03:22 min:s
10 kilometrový běžecký závod po intervencí	41:24 +- 02:43 min:s	39:10 +- 03:02 min:s
Supramaximální test – 150 % max. aerobic power před intervencí	57.8 +- 6.4 s	52.7 +- 13.8 s
Supramaximální test – 150 % max. aerobic power po intervencí	58.8 +- 10.7 s	57.8 +- 6.4 s
Tuková tkáň před intervencí	8.9 +- 2.3 kg	9.70 +- 4.08 kg
Tuková tkáň po intervencí	8.6 +- 2.4 kg	8.86 +- 2.4 kg

Pro koho by low-carb mohla být vhodná?

- Vysoce trénovaní vytrvalostní sportovci s již vysokou schopností oxidovat tuky - na část přípravného období při najíždění objemů s nízkou intenzitou
- **Ultra-vytrvalostní sportovci** (vzhledem k povaze závodů však žádný sport není čistě vytrvalostní a intenzivnější úseky často rozhodují o úspěchu)
- **Specifické podmínky během závodu** (snížené zásoby glykogenu z předešlé zátěže, dlouhé zatížení nižší a střední intenzity, nemožnost doplňovat sacharidy během zátěže, závod nalačno)

- **Při potenciálním užití low-carb diety je třeba myslet zejména na:**
 - 1) **Kvalita přijímaných tuků** dle nasycenosti a vliv na lipidové spektrum (**HDL a LDL cholesterol, do popředí se dostává i různá velikost LDL částic**)
 - 2) Vyřazením zdrojů sacharidů **můžeme přijít o zdroje některých vitaminů a minerálních látek**

Závěrečné doporučení

- Biochemie a fyziologie zátěže svědčí pro sacharidové stravování
- Velká většina odborných společností doporučuje spíše high-carb, low-fat stravování
- Většina studií dochází k závěru, že ve sledovaných parametrech (sportovní výkon) je lepší high-carb a nebo není horší než low-carb
- **Low-carb/keto může mít prokazatelnou výhodu pouze u některých velmi specifických sportů (ultra-vytrvalost) a podmínek zatížení (viz předešlý slajd)**
- **Ve většině sportů však bude „klasičtější“ stravování na sacharidech představovat výhodu**
- Nutnost zohlednit i hledisko *studie vs. naše praxe a zkušenost*
- **Personalizovaný přístup ke stravování**
- Potřeba dalšího výzkumu v oblasti low-carb a low-fat diet
- **Pozor na správnou interpretaci dat: průměrný výsledek skupin vs. data jednotlivců**
- **Osobní doporučení: Jsem zastáncem high-carb, low-fat 😊**