

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

Mgr. Petr Loskot

LF MUNI, Ústav ochrany a podpory zdraví

13.4.2021

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

Zánětlivost

Dlouhověkost

Oxidační stres

A HIGH carb diet is better

A LOW carb diet is better

Hubnutí

Diabetes

Cholesterol

Sportovní výkon

Svalová hypertrofie  
Kardiovaskulární systém



# 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)	<b>65 % (8 g/kg TH)</b>	<b>20 %</b>
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)	<b>Bez přesné definice</b>	<b>Pod 30 %</b>

# 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)	<b>Pod 45 %</b>
Low-Carbohydrate Diets: A Matter of Love or Hate, Frigolet (2011)	<b>20–40 %</b>
Low-carbohydrate nutrition and metabolism, Westmann (2007)	<b>50–150 g/den</b>
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)	<b>Pod 20 % CEP</b>
Evidence that supports the prescription of low-carbohydrate high-fat diets: a narrative review, Noakes (2017)	<b>Pod 26 % CEP, do 130 g/den</b>

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 150 g S za den nebo do 20 % 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!

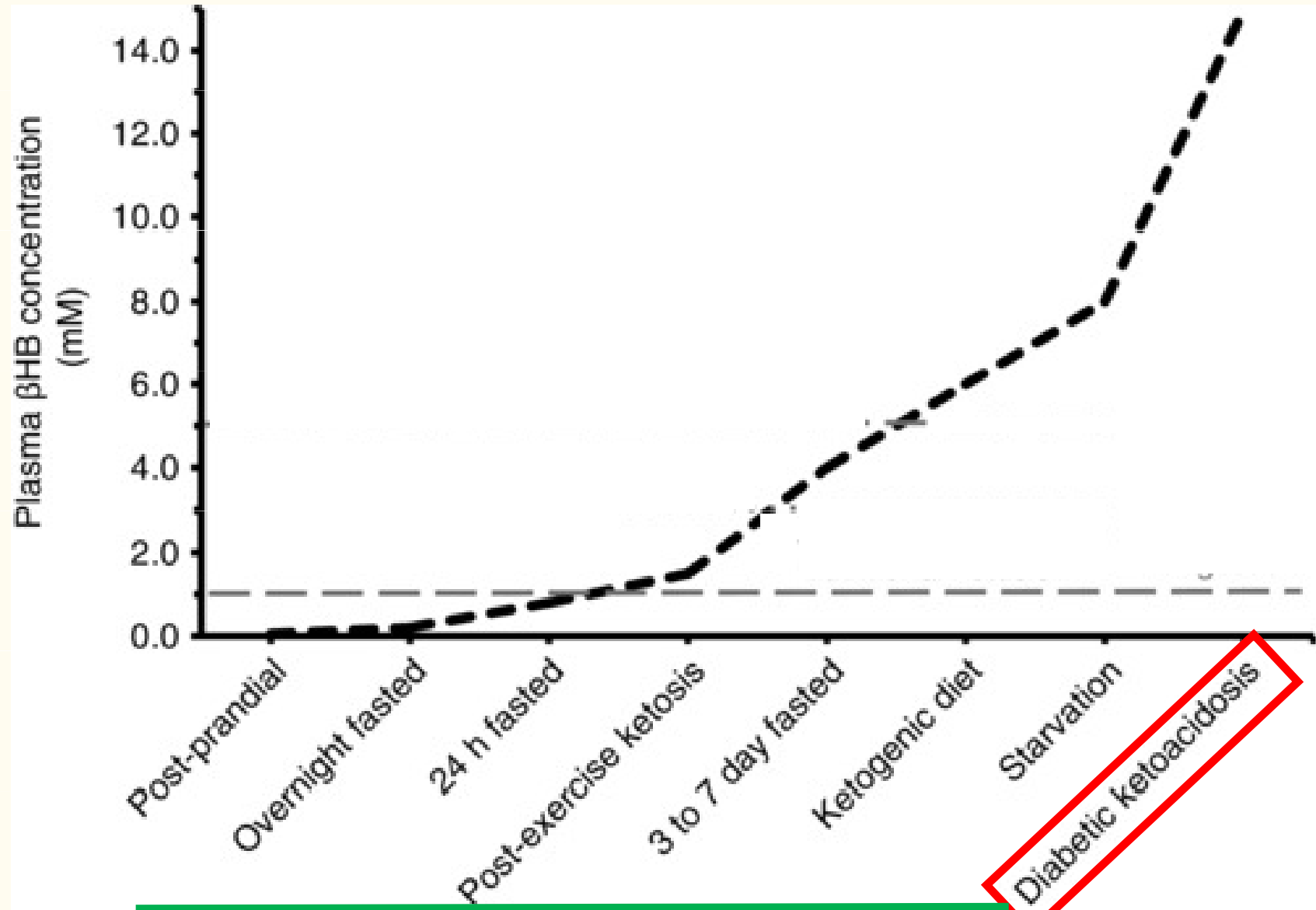
**Nutriční ketóza:** fyziologický stav – hladovění nebo velmi snížený příjem sacharidů

**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
<b>Svalový glykogen</b>	<b>Mastné kyseliny uvolňované z tukové tkáně během zátěže</b>	Oxidace (svalových) aminokyselin během zátěže (např. BCAA)
Jaterní glykogen	<b>Intramuskulární zásoby tuku (IMTG)</b>	Tvorba glukózy z aminokyselin v procesu glukoneogeneze
<b>Glukóza v krevním oběhu (z jaterního glykogenu nebo z přijímaných sacharidů během zátěže)</b>	<b>Ketolátky při ketóze</b>	
	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	<b>Cca 10,2 kg čistého tuku Cca 387 000 kJ</b>
Podíl při získávání energie	Pomyslně 0–100 %	Z pohledu získávání energie zdroje nežádoucí 1–15 %	Pomyslně 0–100 %

# Hlavní metabolické dráhy zisku energie

## Sacharidy

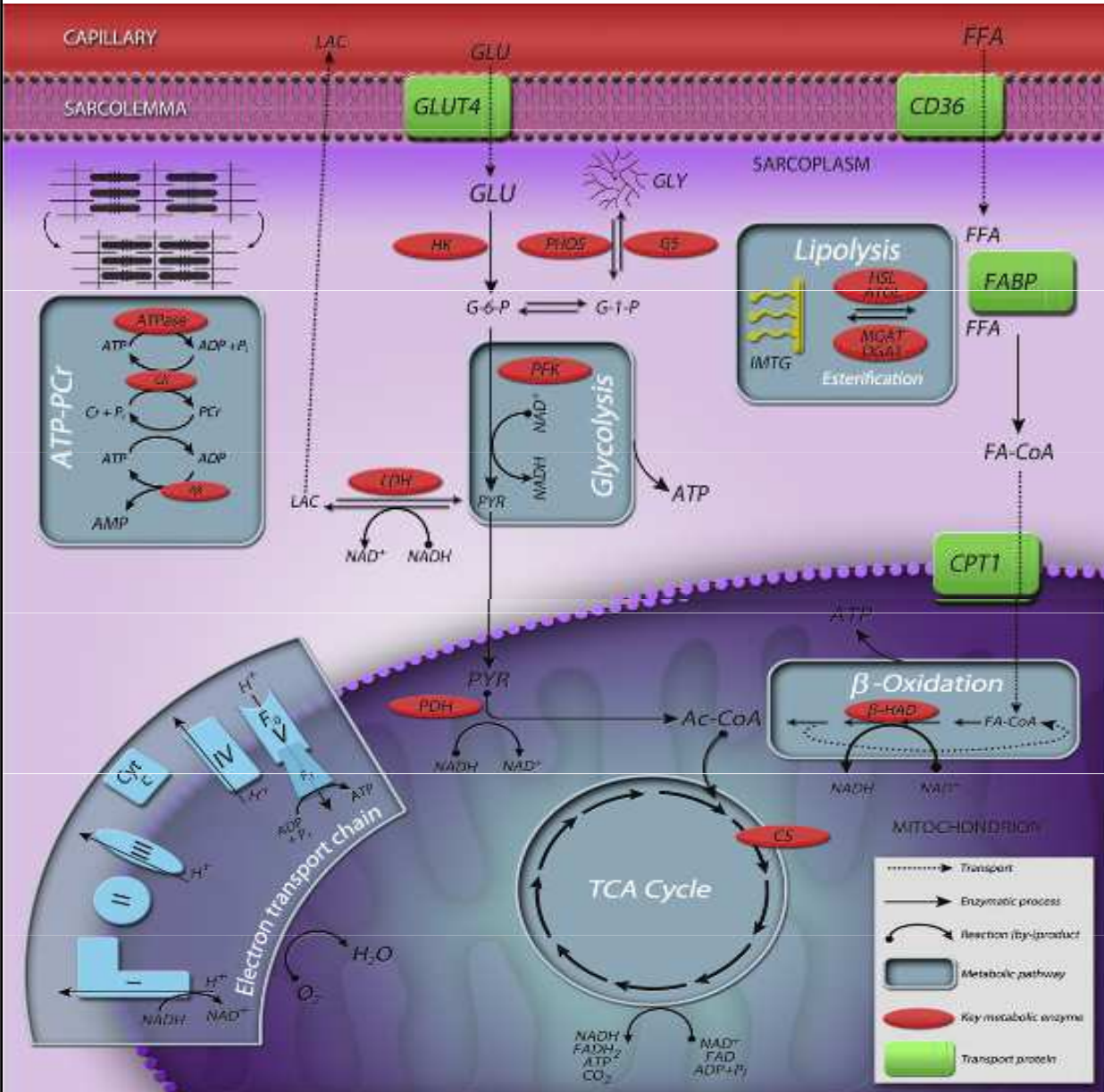
**Anaerobní glykolýza** (cytosol buňky) → **spalování bez přístupu kyslíku**  
Vzniká laktát

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

## Mastné kyseliny

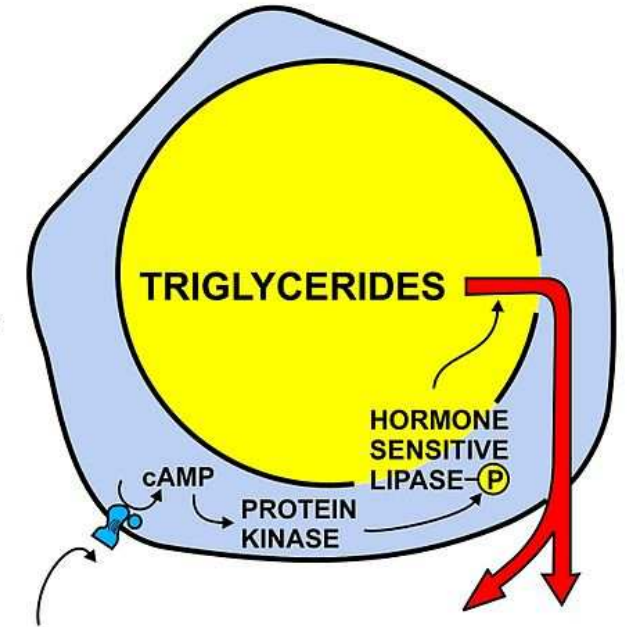
**Beta-oxidace mastných kyselin** (mitochondrie) → spalování za přístupu kyslíku  
(IMTG, nebo pod hormonální kontrolou lipolýza v tukové tkáni)

**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:

**EPINEPHRINE**      **FREE FATTY ACIDS**      **GLYCEROL**

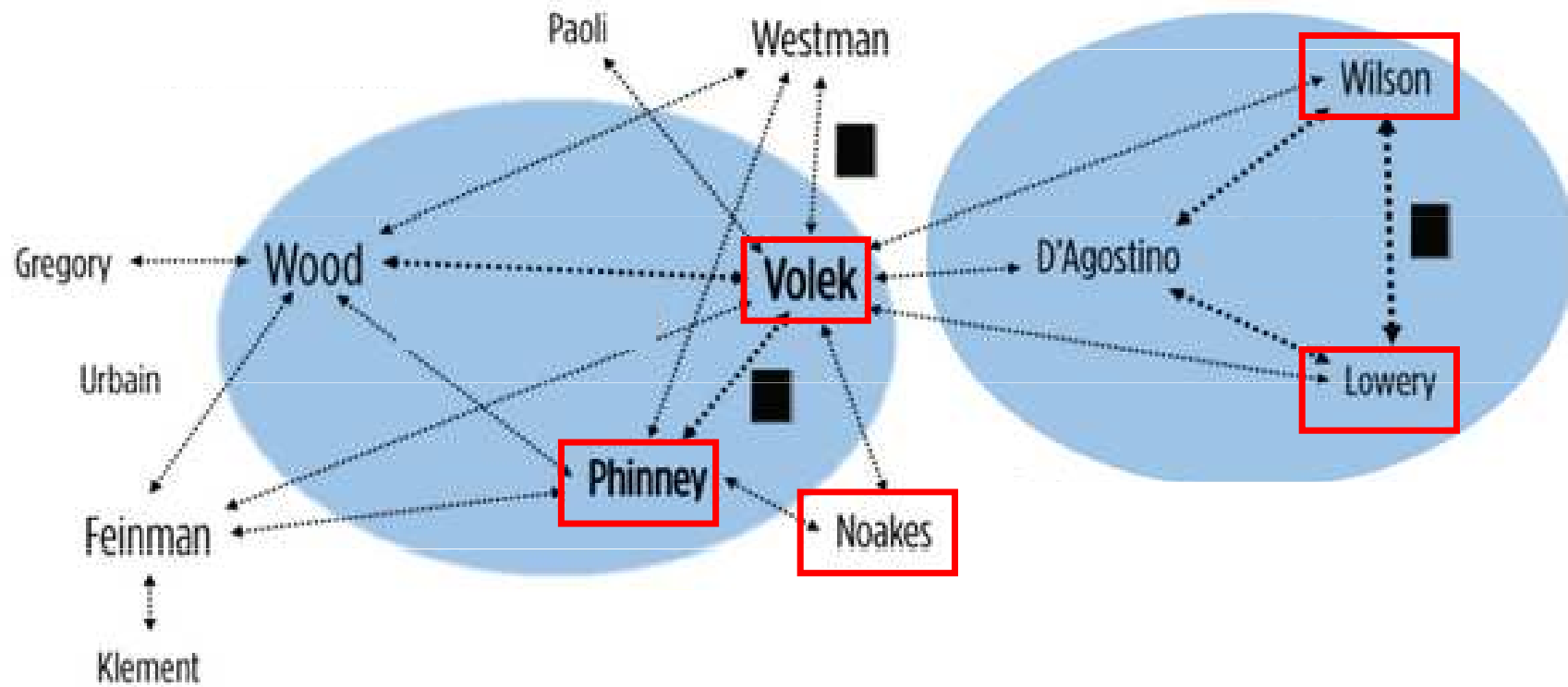
# Srovnání získané energie sacharidy vs. tuky

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

# Autoři spojení s low-carb a keto výzkumem





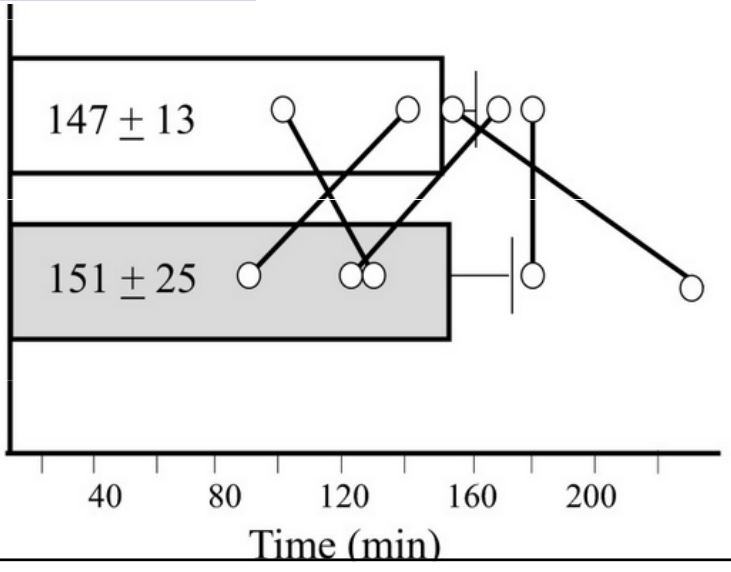
# Phinney (1983), The human metabolic response to chronic ketosis without caloric restriction: Preservation of submaximal exercise capability with reduced carbohydrate oxidation

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

<b>Čas do selhání při EBD</b>	<b>Čas do selhání při KETO</b>
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<sub>2</sub> 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, estrogen → pálí více tuku

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

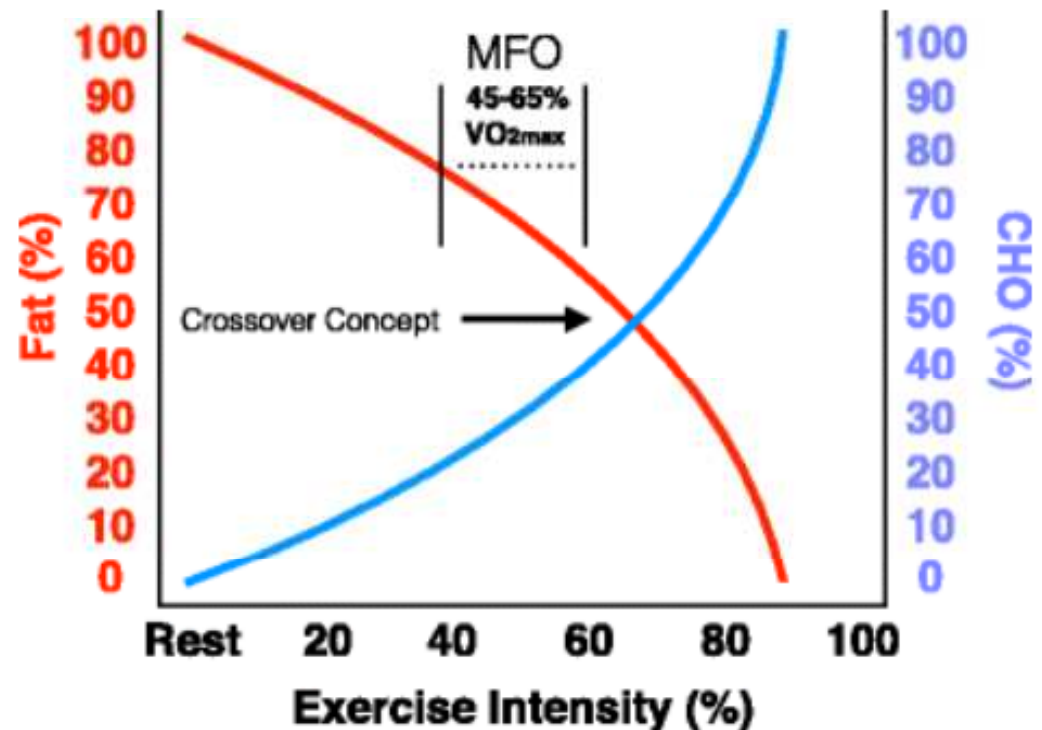
**Aktuální hormonální nastavení organismu** → inzulin, glukagon, adrenalin, kortizol

**Doplňky stravy** → podporující lipolýzu (kofein, synefrin, EGCG)

# Stravovací protokol s vyšším zastoupením tuků

## Adaptace na low-carb?

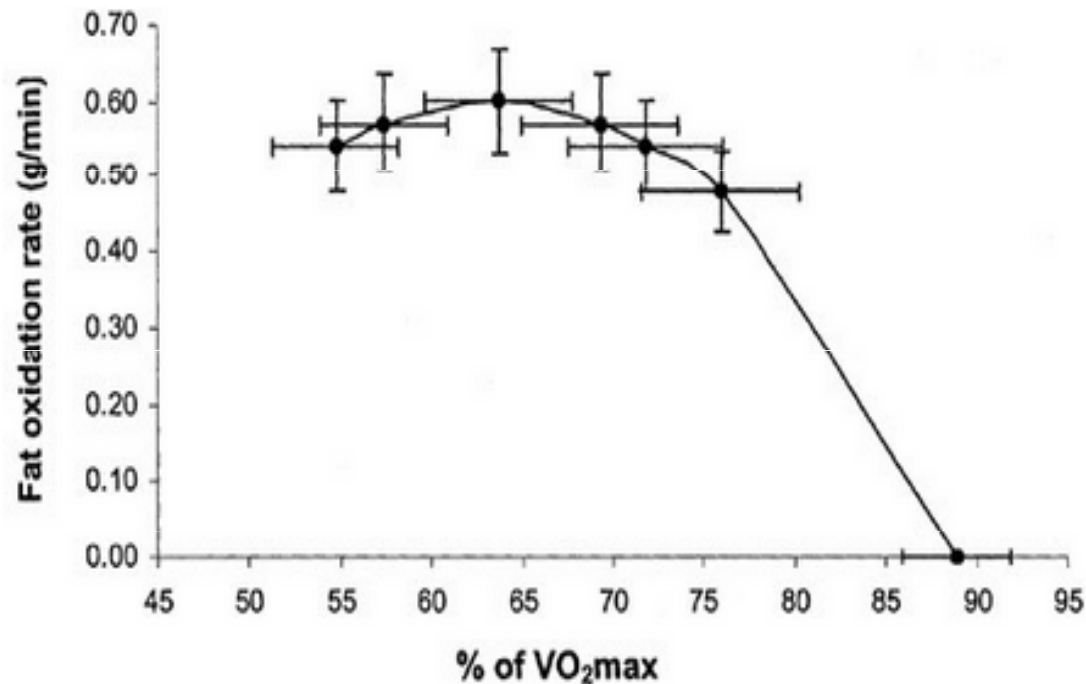
- Podle současného poznání adaptace na neketogenní low-carb netrvá déle než 5 dní (Goedecke, 1999)
- Adaptace na low-carb znamená zlepšení využívání MK jako zdroje energie v širokém pásmu intenzit od těch nejnižších až do cca 65 % VO<sub>2</sub> max
- Volek (2017): Keto-adaptovaní závodníci oxidace tuků 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

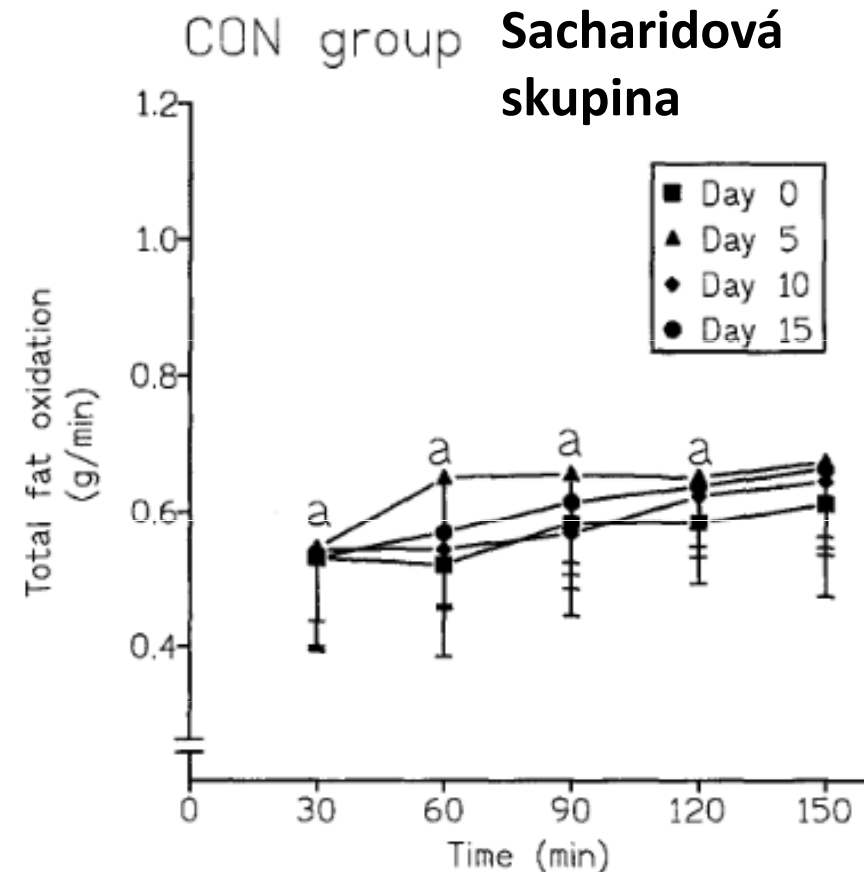
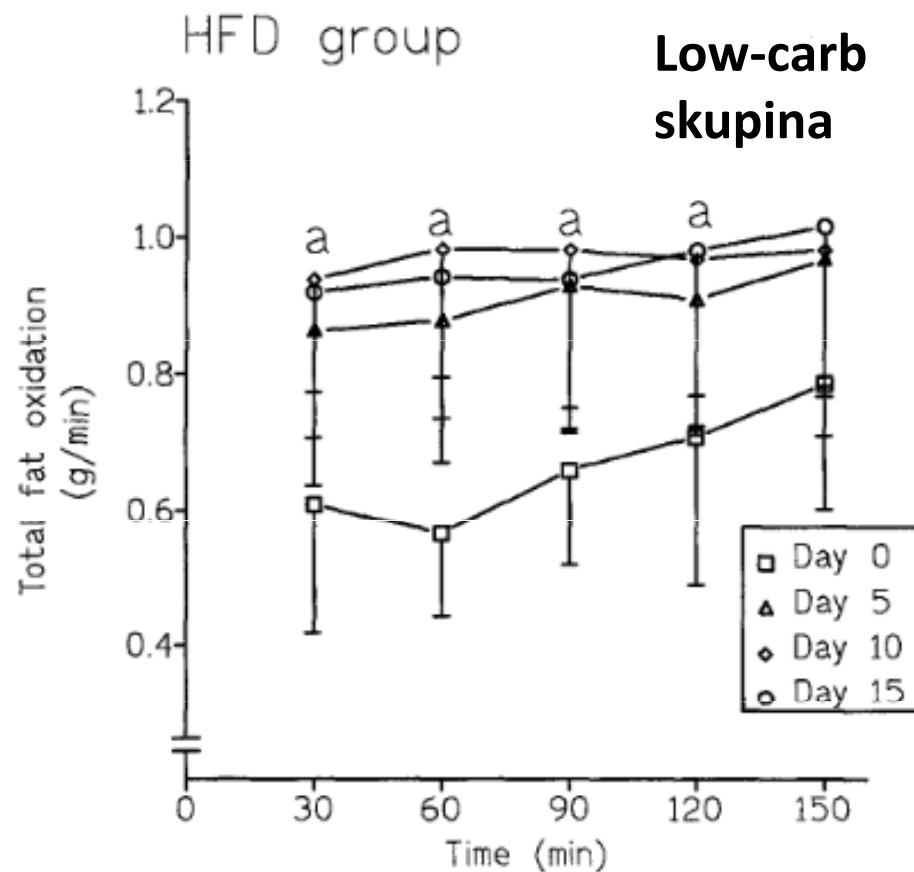
## Metabolic Adaptations to a High-Fat Diet in Endurance Cyclists (Goedecke, 1999)

- 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

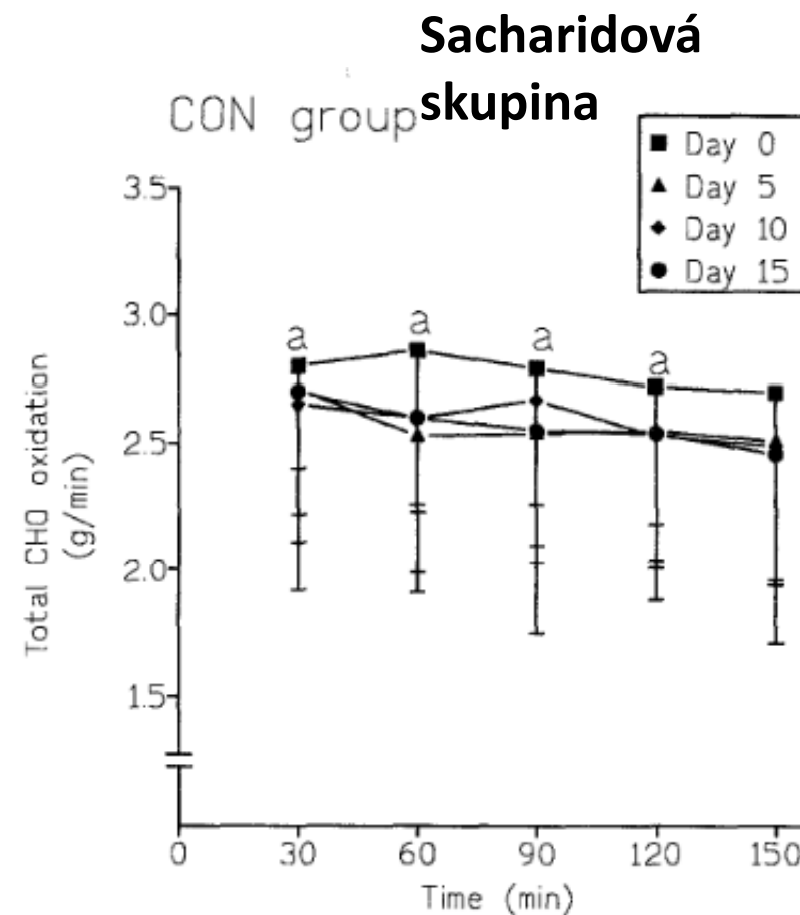
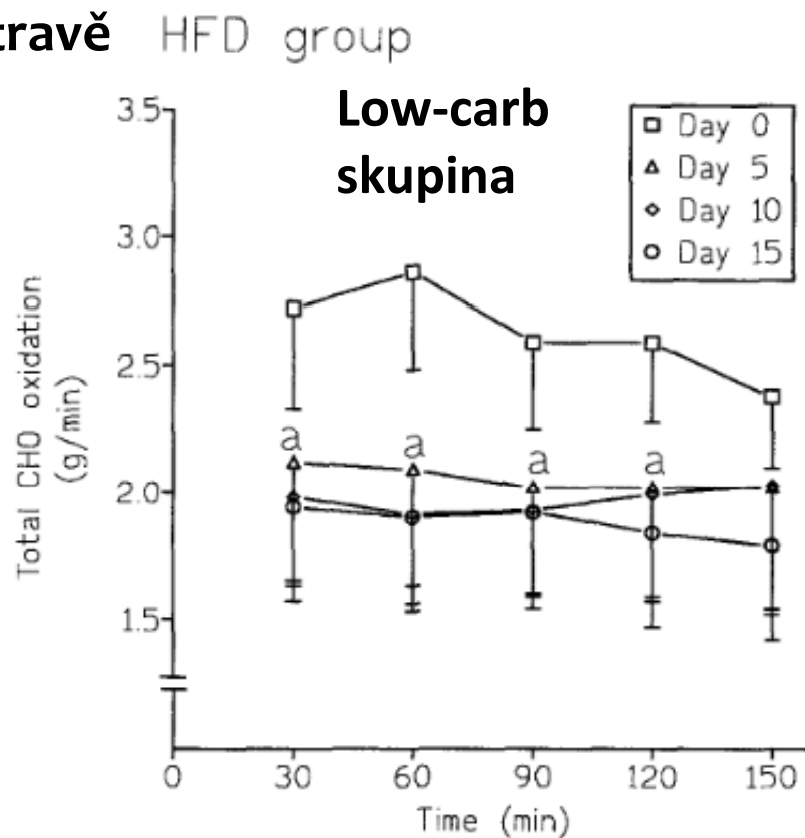
# Oxidace tuků ve studii v různých dnech (Goedecke, 1999)

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



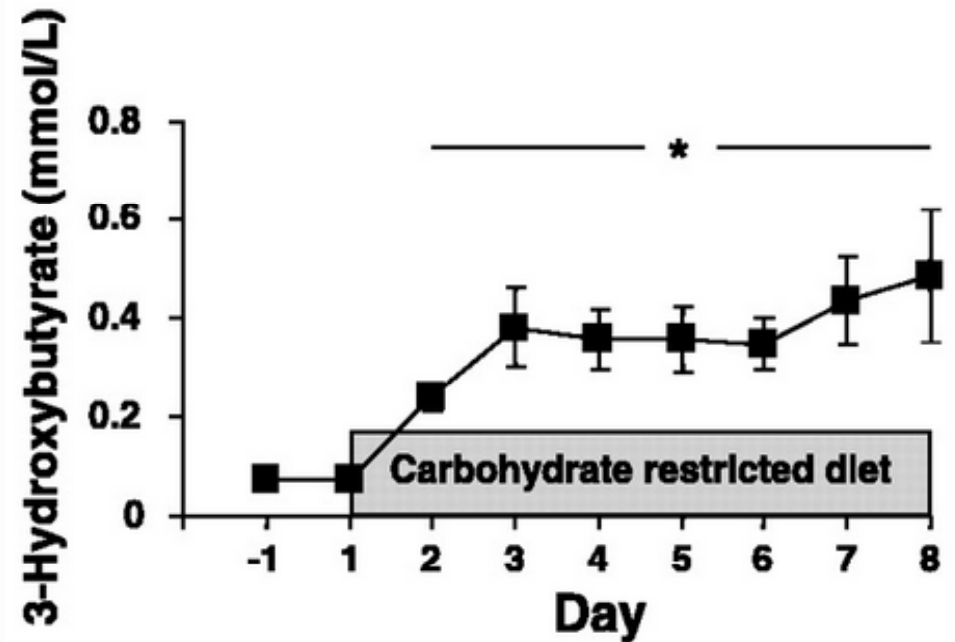
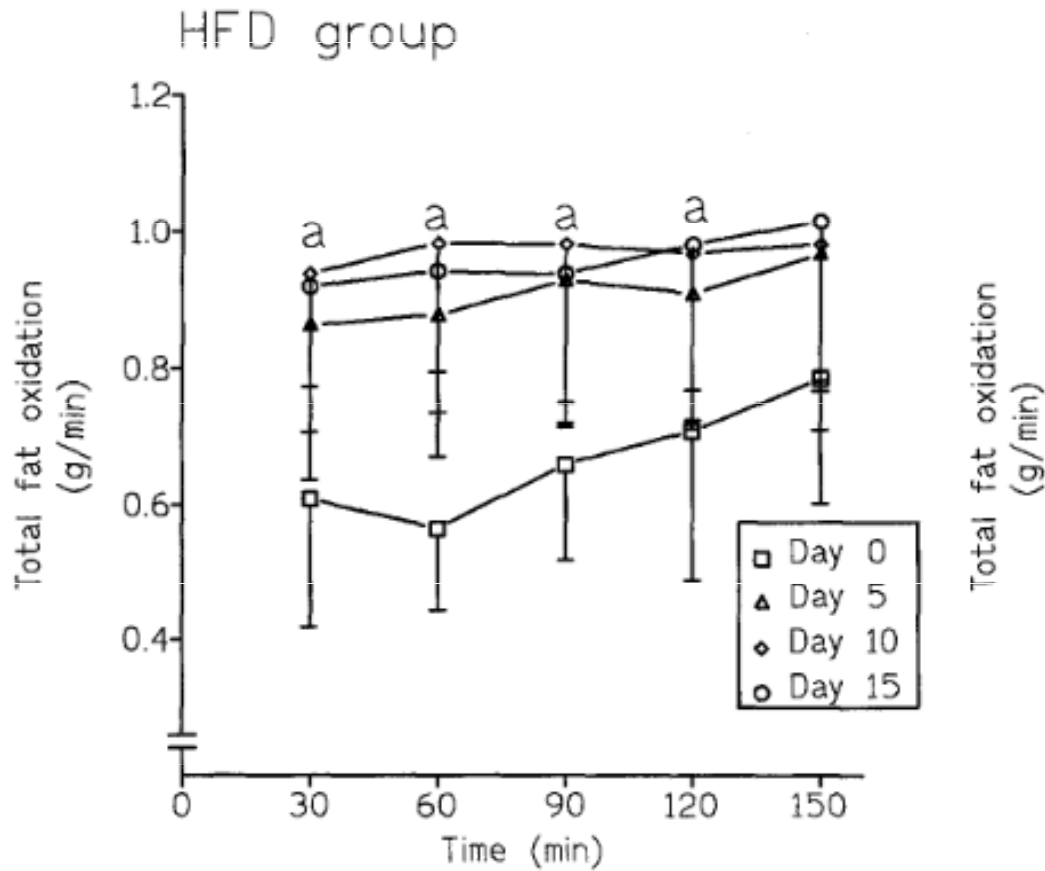
# Oxidace sacharidů ve studii v různých dnech (Goedecke, 1999)

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



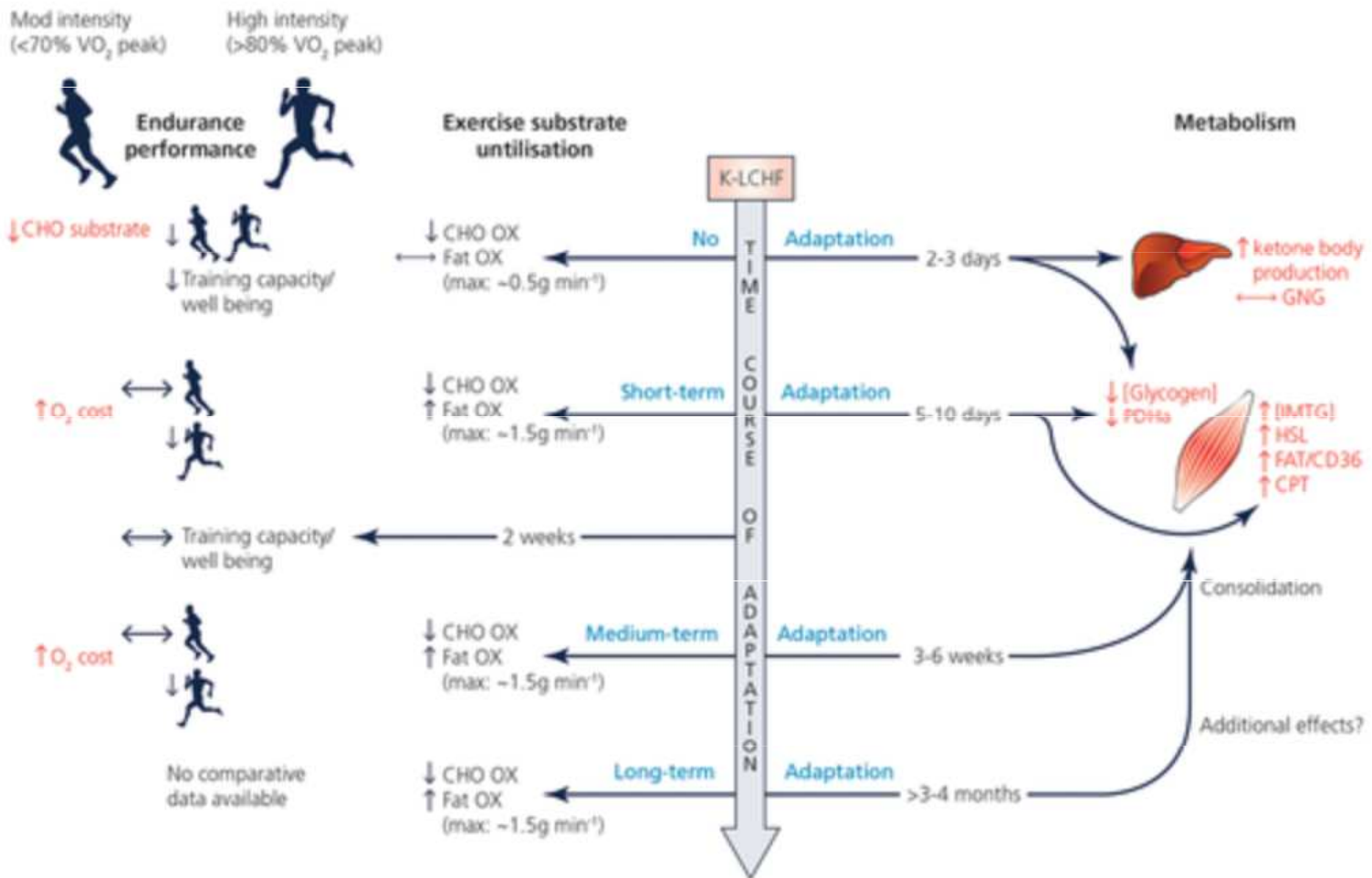


# Jak dlouho trvá adaptace na keto?



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.



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

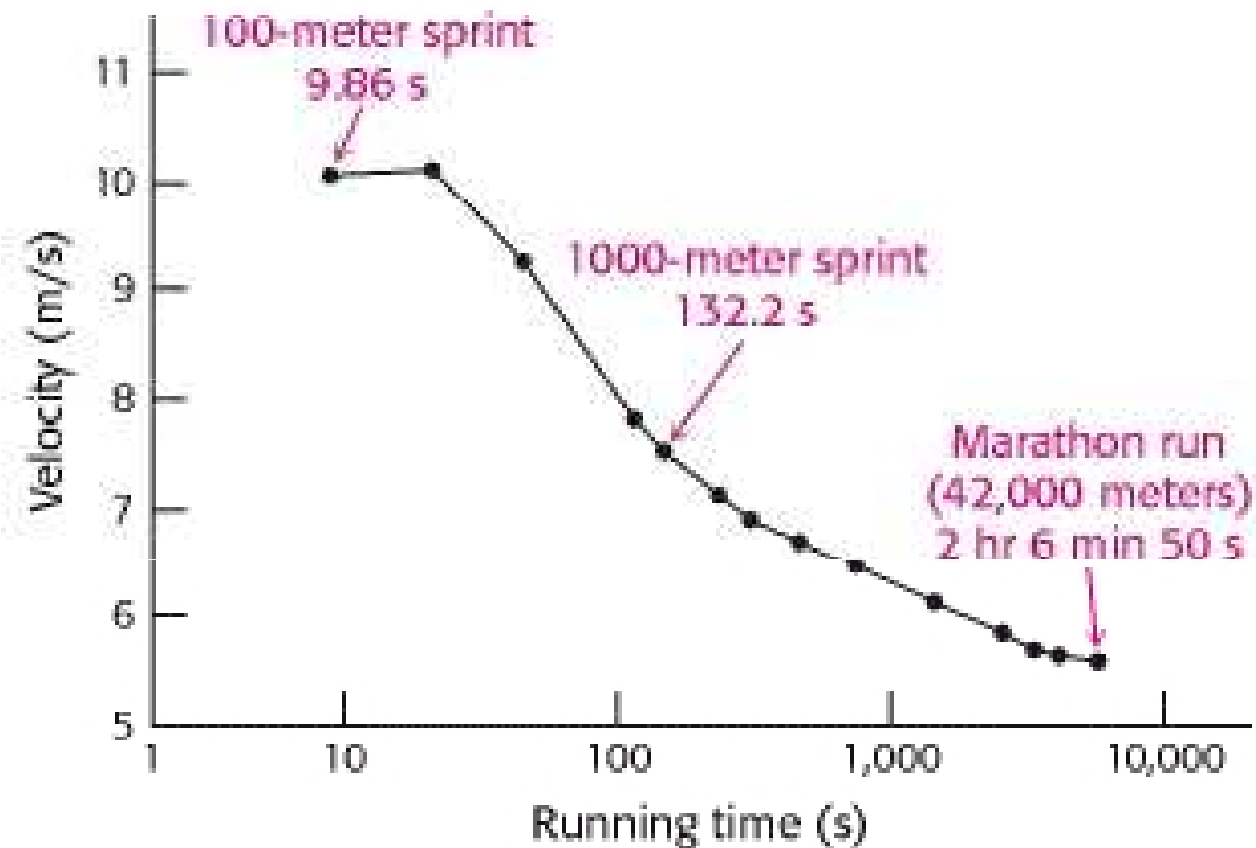
Palivo	Rychlost tvorby ATP (mmol/s)	Teoretické vytvořitelné zásoby
ATP ve svalech	1–2 sekundy FA	223
Kreatin fosfát	73,3 (cca prvních 10–15 s FA)	446
Konverze glykogenu na laktát	<b>39,1</b>	6 700
Konverze glykogenu na CO <sub>2</sub>	<b>16,7</b>	84 000
Konverze mastných kyselin na CO <sub>2</sub>	<b>6,7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

	Sacharidy	Bílkoviny	Tuky
<b>Zisk energie při oxidaci 1 litrem O<sub>2</sub></b>	<b>21,1 kJ</b>	18,8 kJ	<b>19,6 kJ</b>

# 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



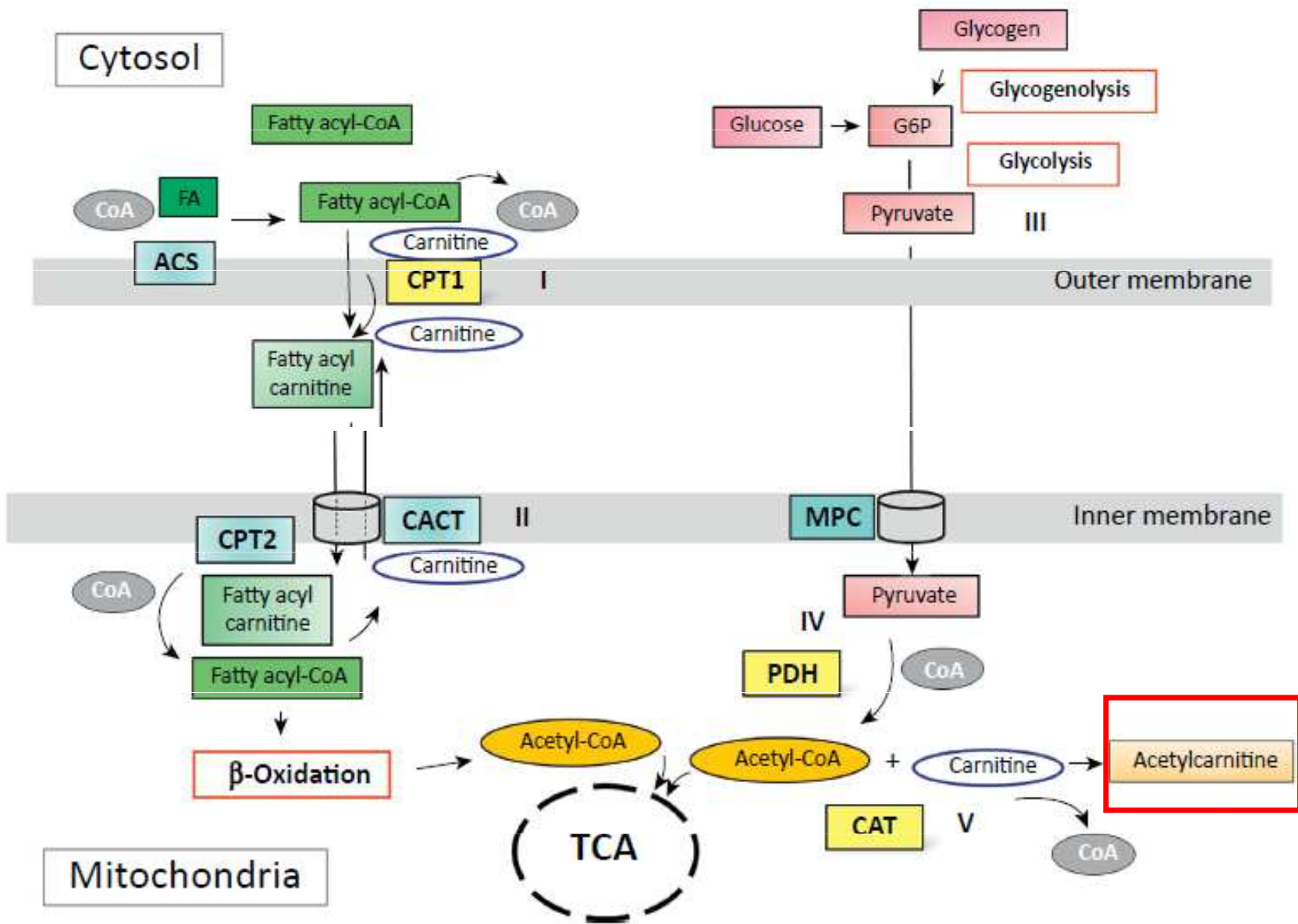


# Low-carb vs. high-carb dieta a adaptace

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
<b>Schopnost oxidace sacharidů a využití svalového glykogenu</b>	<b>Snížená aktivita klíčového glykolytického enzymu PDH určujícího rychlost glykolýzy</b>	<b>Zvýšená</b>

# Proč na low-carb stravě zřejmě nedosáhneme takového výkonu?

- Nad intenzitu zatížení cca **65–70 % VO<sub>2</sub> 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?**

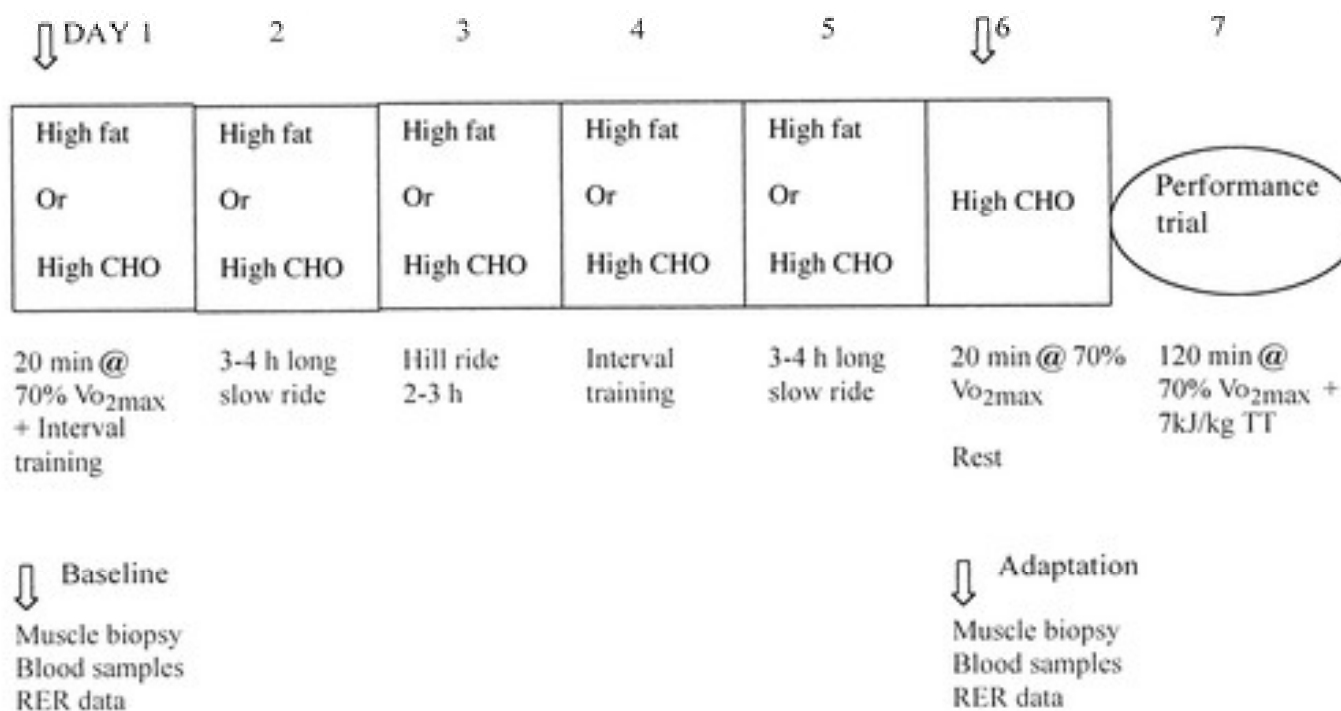
# Burke (2000), Effect of fat adaptation and carbohydrate restoration on metabolism and performance during prolonged cycling

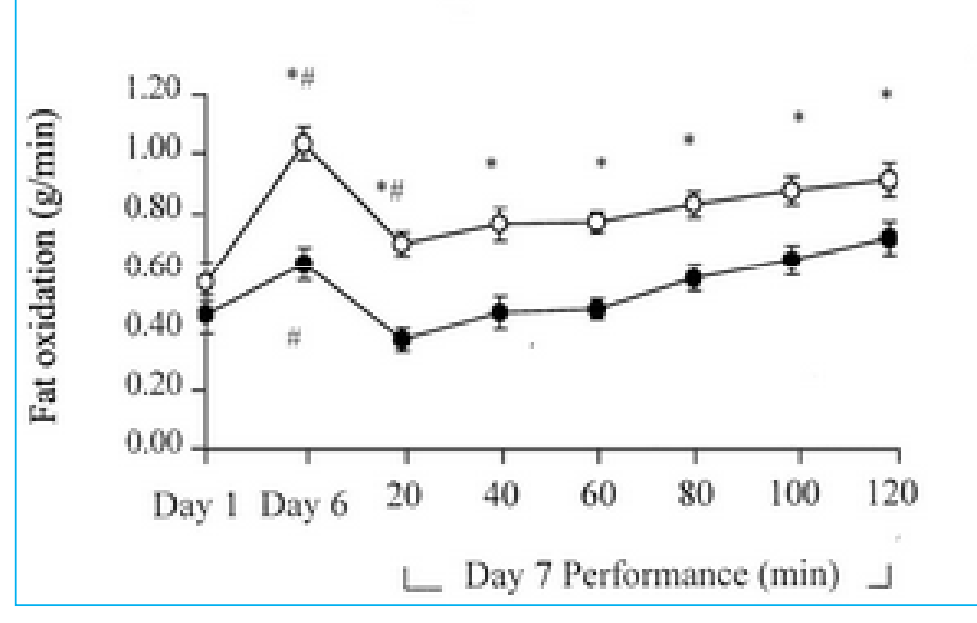
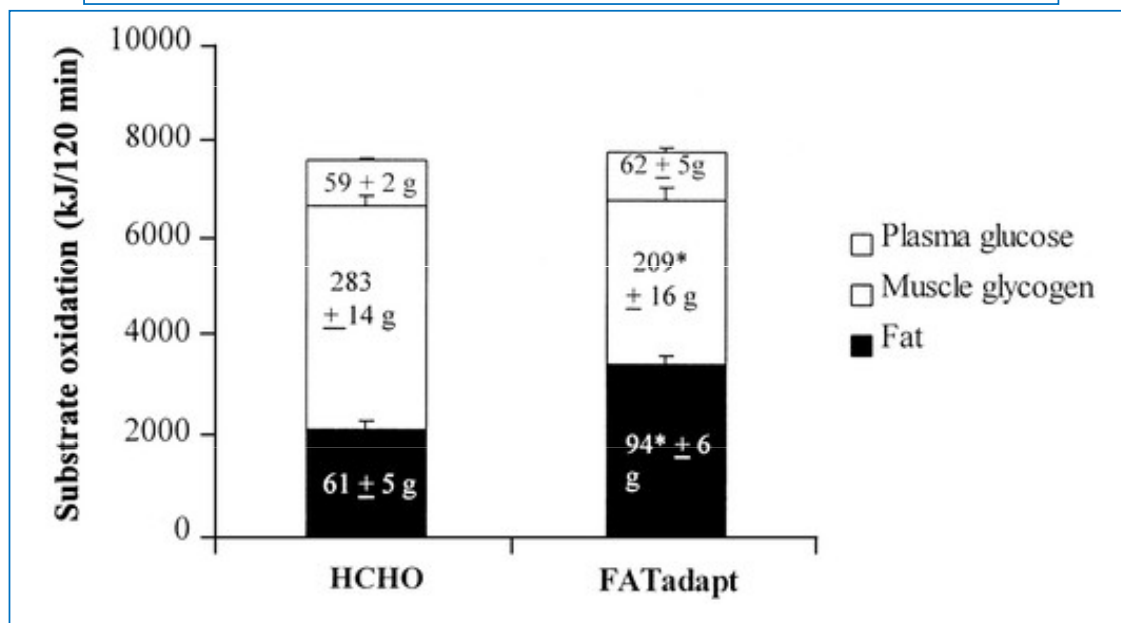
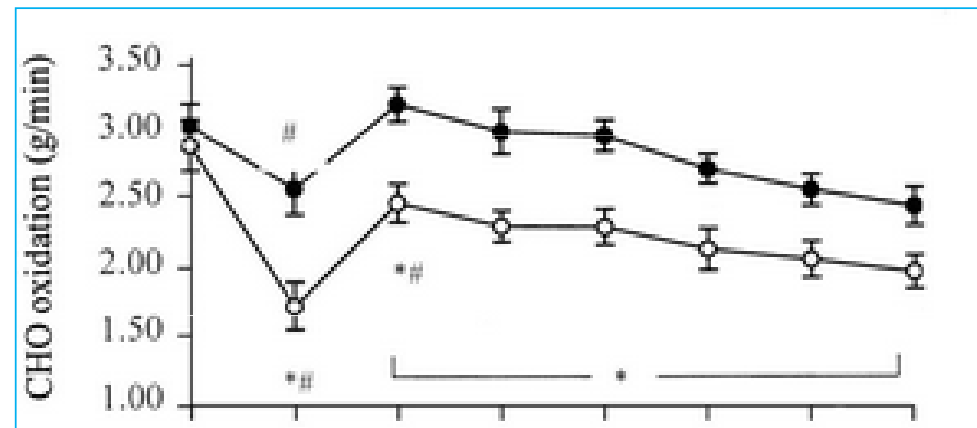
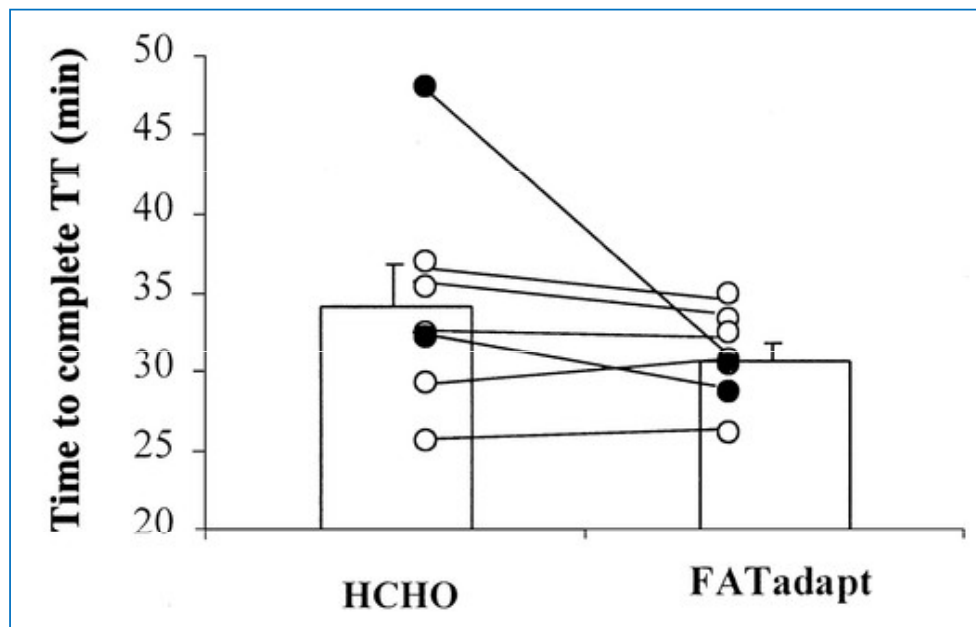
Živiny	HCHO	HFD
Sacharidy	9,6 g/kg	2,4 g/kg
Tuky	0,7 g/kg	4 g/kg

CARB Loading 6. den

10 g/kg TH

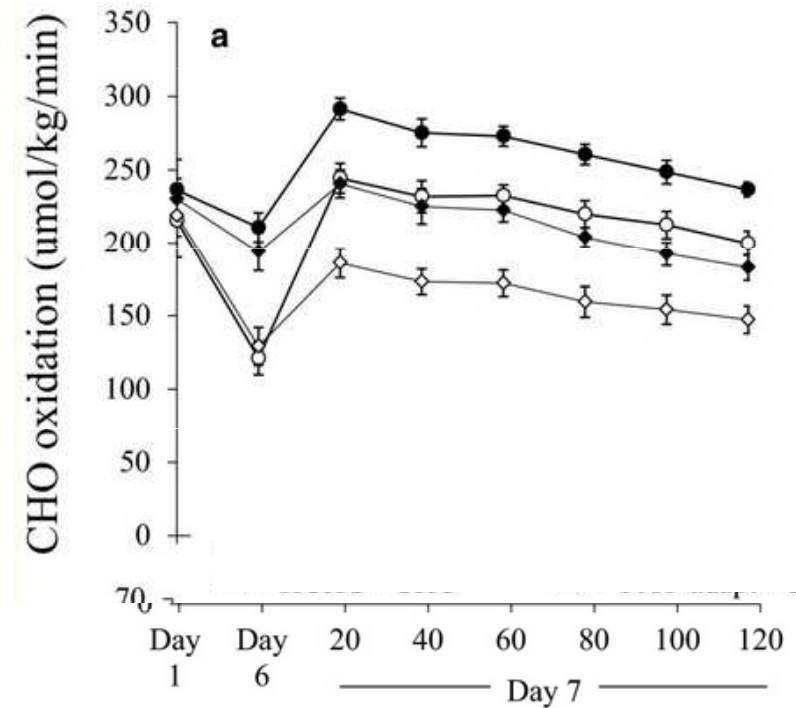
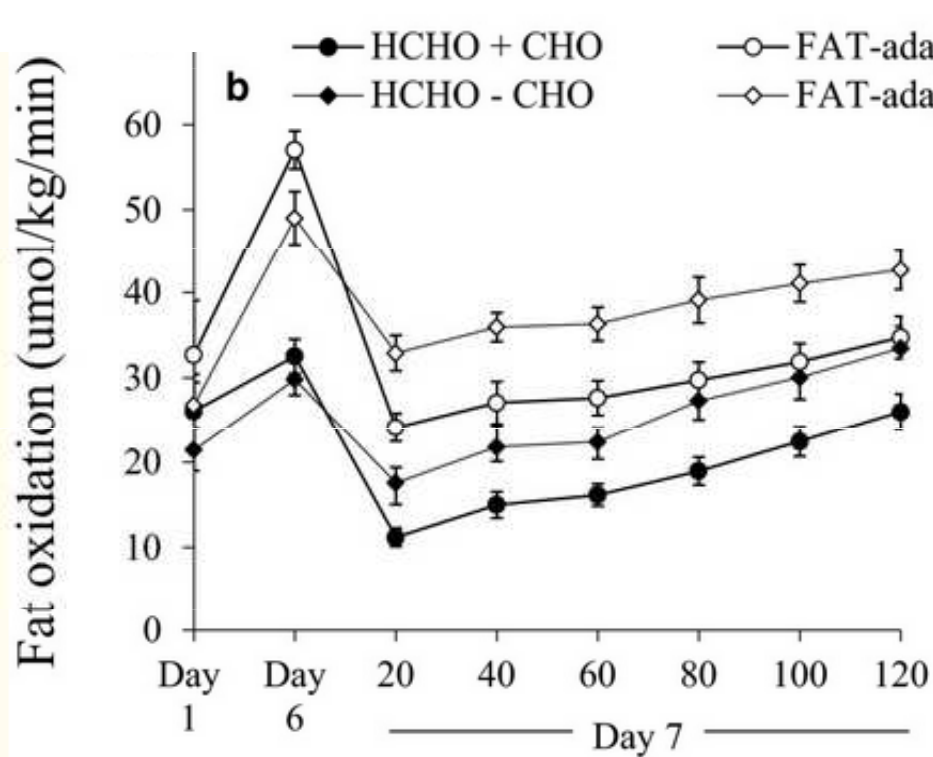
- 8 trénovaných cyklistů
- Cross-over design studie
- 120 min 70 %  $\text{Vo}_{2\text{max}}$
- 7 kJ/kg body mass time trial (TT)
- Testování 7. den nalačno





# 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**

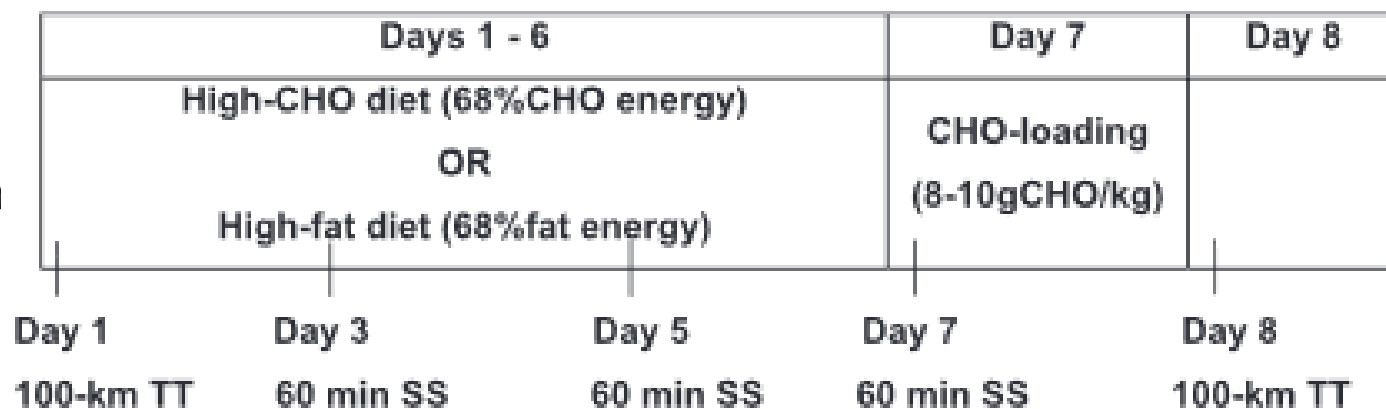


Fig. 1. Summary of diet and testing protocol. CHO, carbohydrate; SS, steady-state cycle at 63% of peak power output ( $W_{peak}$ ); TT, 100-km time trial.

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

## Snímek 41

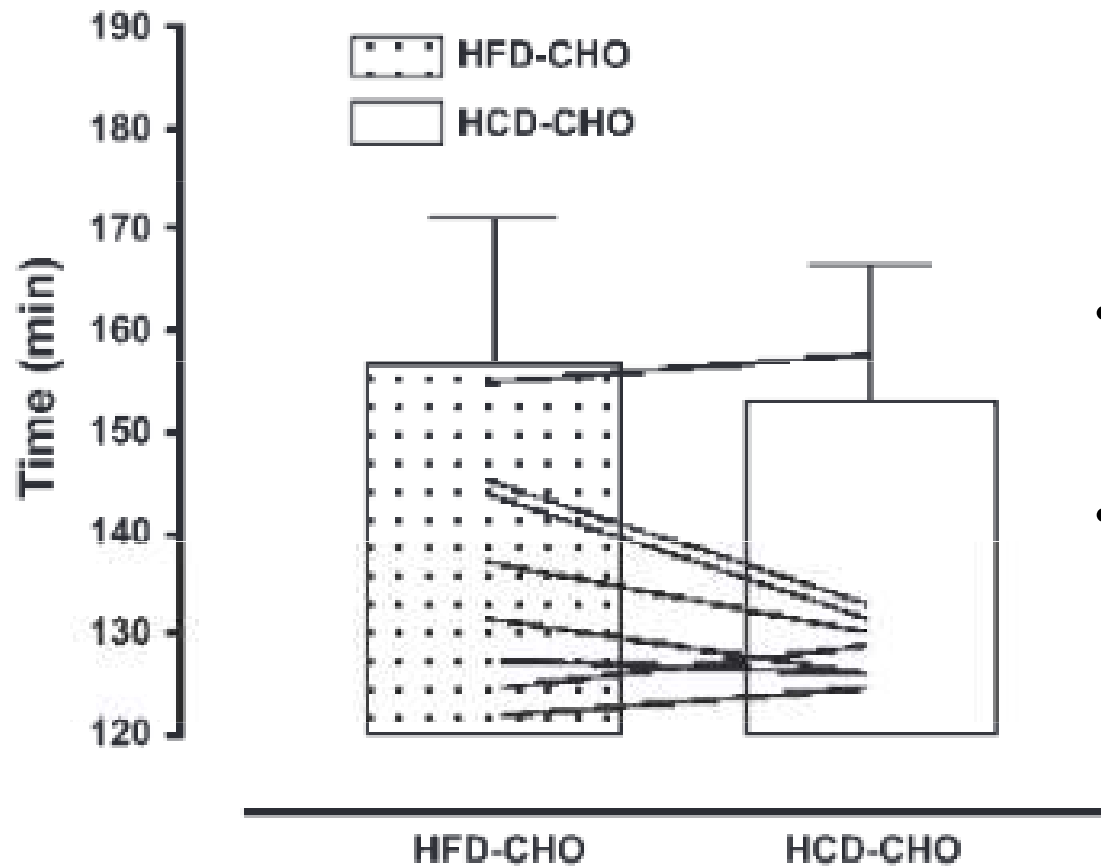
---

**PL2**

Petr Loskot, 10/1/2018

# 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“

## Snímek 42

---

**PL3**

Petr Loskot, 10/2/2018

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

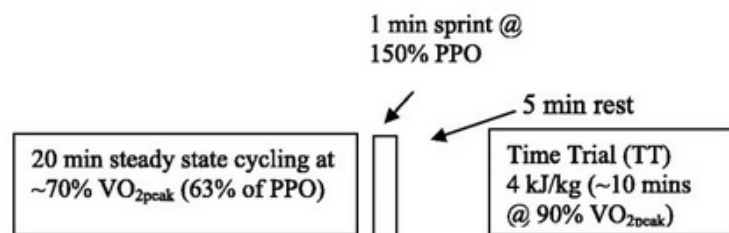
		Sprint na 20. km	Sprint na 40. km	Sprint na 60. km	Sprint na 80. km	P-hodnota značící významnost
Výkon (W)	HF-CHO	289	291	279	268	<b>&lt;0,01</b>
	HC-CHO	308	308	305	295	
Čas sprintu (s)	HF-CHO	336	338	340	347	<b>&lt;0,05</b>
	HC-CHO	327	330	328	335	
Pocit'ované úsilí (0-20)	HF-CHO	16,6	17,6	18,4	18,8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

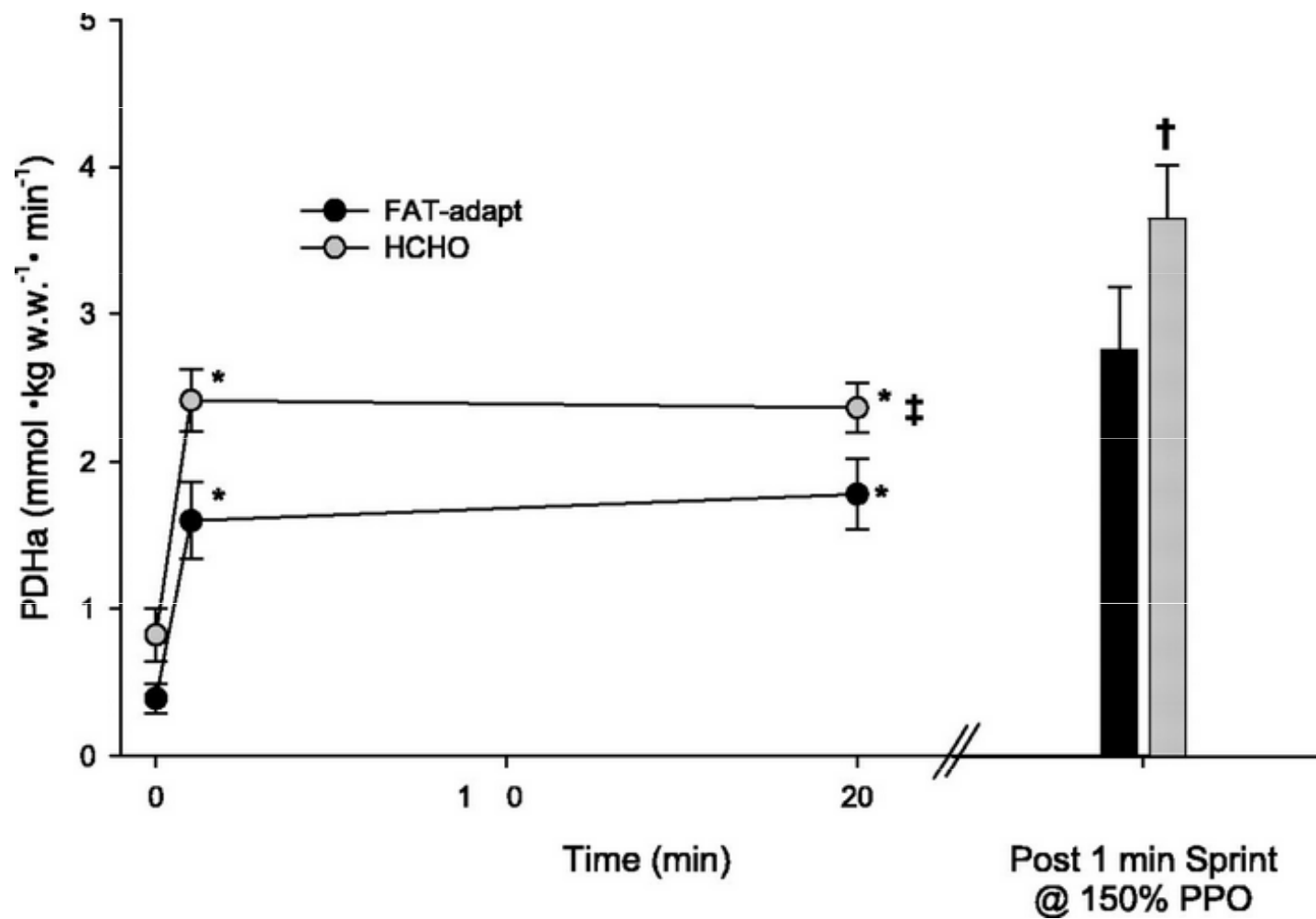
	DAY 1	DAY 2	DAY 3	DAY 4	DAY 5	DAY 6	DAY 7
<b>DIET</b>	FAT or CHO	FAT or CHO	FAT or CHO	FAT or CHO	FAT or CHO	CHO restoration	Testing Trial (see Fig 1b for details)
<b>TRAINING</b>	Interval Training	3-4 hr long ride	2-3 hr hill ride	Interval Training	3-4 hr long ride	Rest	

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 trvajícím snížením schopnosti využití svalového glykogenu a snížením aktivity 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 VO<sub>2</sub>max)**
- **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 %)

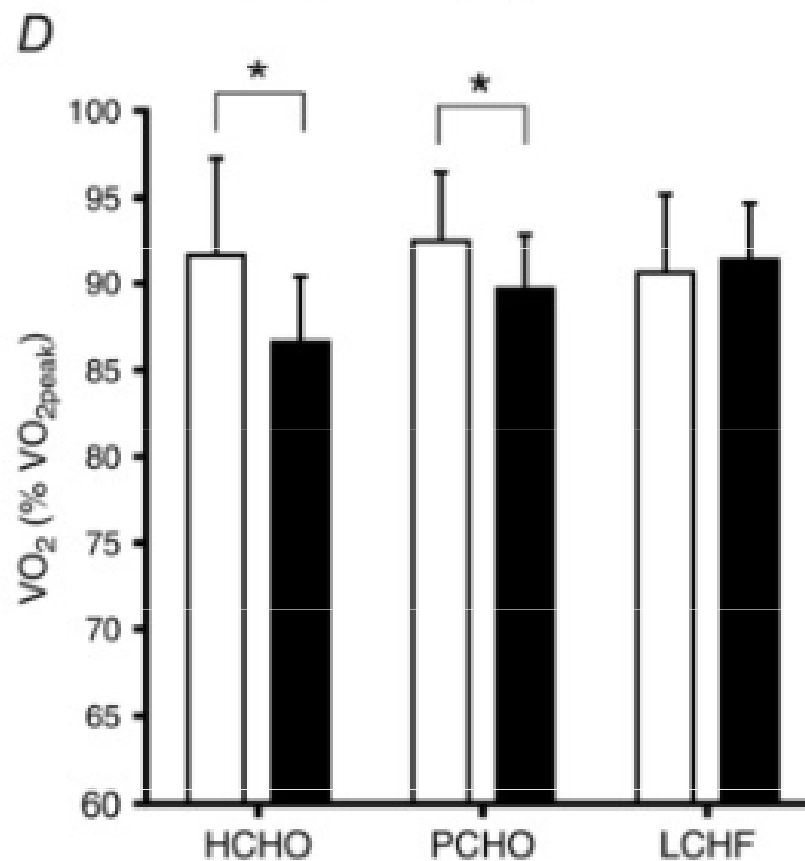
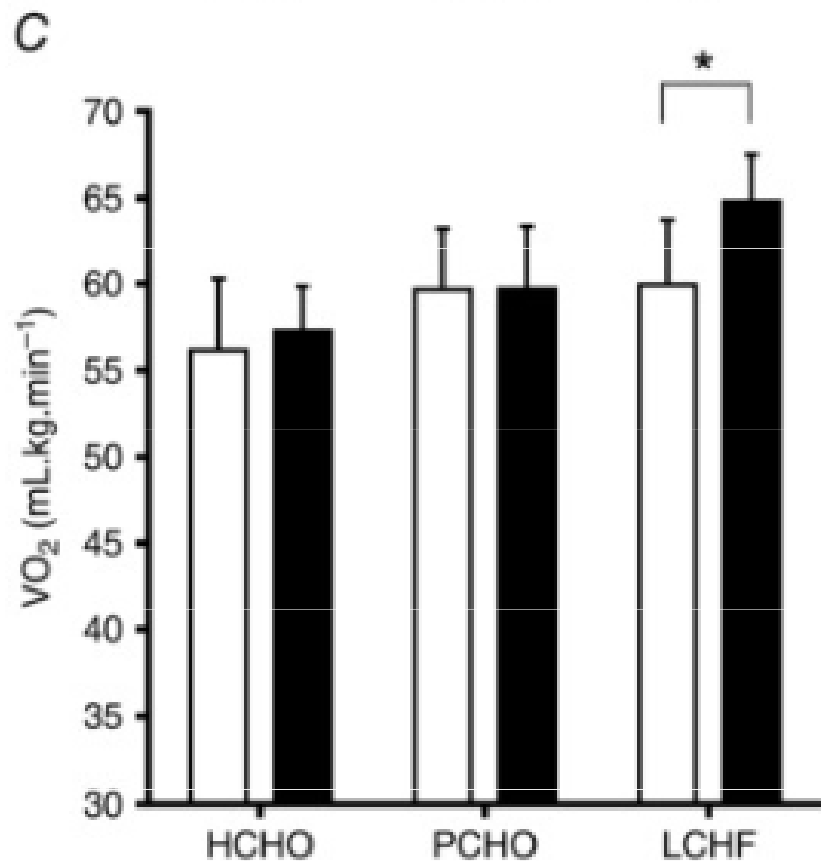
- \*PCHO: Periodizovaný příjem sacharidů v návaznosti na trénink (jiné rozdělení příjmu sacharidů během dne)

## 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

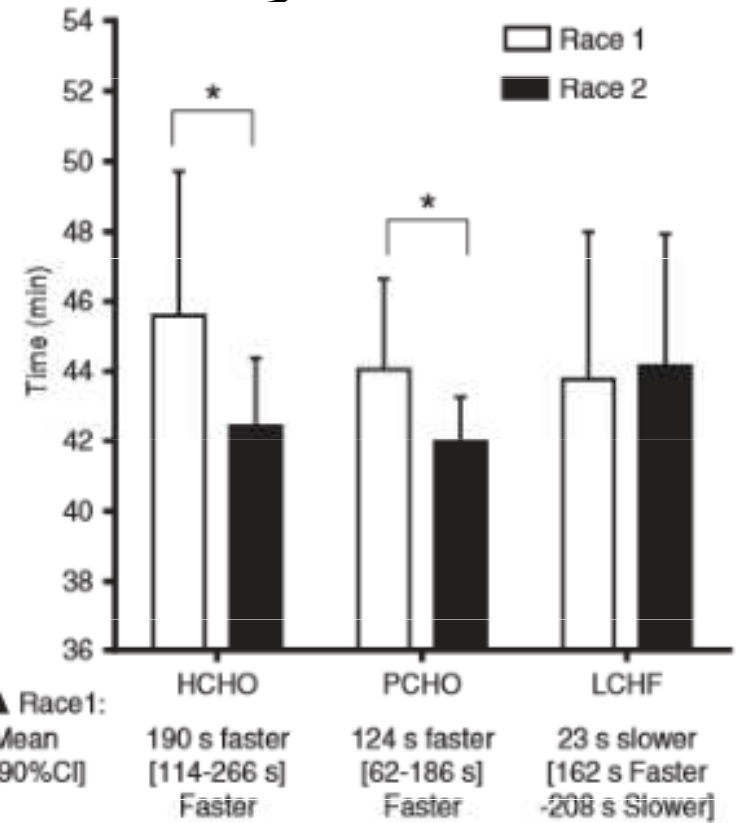
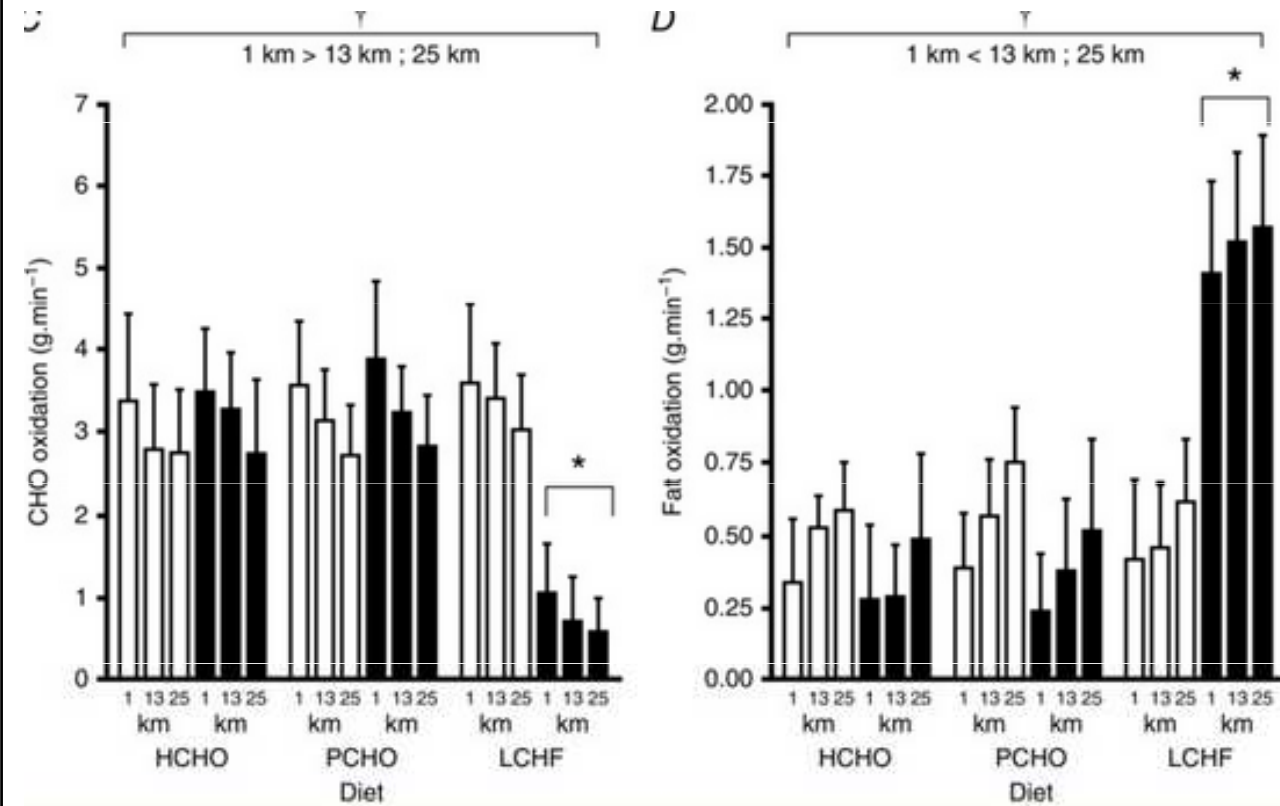
# Simulace podmínek při chůzi na 20 km



Množství spotřebovávaného kyslíku pro udržení dané rychlosti (ml O<sub>2</sub> na kg/min)

% potřeba kyslíku z maximální spotřeby kyslíku VO<sub>2</sub> peak

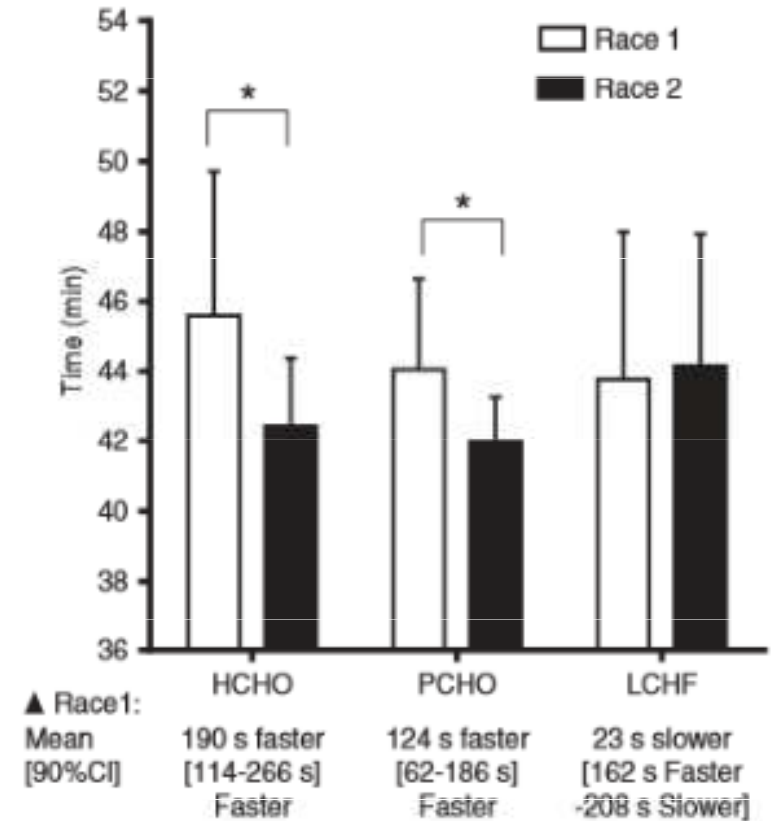
# Parametry závodů na 10 km a 25 km



**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 VO<sub>2</sub> 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 „naučit“ organismus 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**



# 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 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
<b>Train low</b> (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, nebo podporují zvýšenou tvorbu a aktivitu enzymů tukového metabolismu
<b>Train high</b> (trénink s vysokými zásobami sacharidů, doplňování sacharidů během FA)	Podpora maximálního výkonu Zachování kvality pohybu Snížení pocíťované únavy
<b>Train the gut</b>	Příjem vyššího množství tekutin a živin v tréninku → navyknutí GIT na takový příjem i během závodu
<b>Train dehydrated</b>	Podpora výkonu v dehydratovaném stavu při reálném závodu
<b>Supplements</b>	Kreatin, beta-alanin, citrulin, jedlá soda, šťáva z červené řepy, BCAA

# Ukázka

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

Marquet LA<sup>1</sup>, 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 ( $\dot{V}O_2\text{max}$ :  $58.7 \pm 5.7$  mL·min<sup>-1</sup>·kg<sup>-1</sup>) 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<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>) 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,  $-2.6 \pm 7.4$ ; SL,  $-8.5\% \pm 7.4\%$  before;  $P < 0.01$ ), but not lean mass (CON,  $-0.22 \pm 1.0$ ; 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 intervenci	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 intervenci	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 intervenci	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
- **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)
  
- 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 spíše 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 u některých specifických sportů a podmínek zatížení**
- **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 😊**