

NÍZKOSACHARIDOVÉ REŽIMY A JEJICH VLIV NA SPORTOVNÍ VÝKON A TĚLESNÉ SLOŽENÍ

LOW-CARBOHYDRATE REGIMES (LOW CARB DIET, THE CYCLICAL KETOGENIC DIET, INTERMITTENT FASTING) AND THEIR IMPACT ON BODY COMPOSITION AND SPORTS PERFORMANCE

PAVEL KYSEL, ZDENĚK VILIKUS, KLÁRA DAŘOVÁ

Abstrakt: Úvod: Obecně je známá zkušenost, že při omezeném příjmu sacharidů dochází ke snížení vitality člověka a ke snížení jeho sportovního výkonu. Cílem moderních nízkosacharidových diet, především cyklické ketogenní diety, je rychlá optimalizace tělesného složení s výrazným úbytkem podkožního tuku při maximálním zachování svalové hmoty a sportovní výkonnosti. Cíl: Provést rešerši současné odborné literatury a zjistit účinnost nízkosacharidových a ketogenních diet na tělesné složení a sportovní výkony různého typu. Metoda: Podle klíčových slov jsme v internetových databázích našli 354 článků, z nichž plně validních bylo 36. Výsledky: U vytrvalců se asi po týdnu tělo adaptuje na stravu bohatou na tuky a obecně oxidace tuků poskytuje dostatek energie ve formě intramuskulárních triacylglycerolů či volných mastných kyselin v plazmě. Teoreticky by tak mělo docházet k šetření svalového glykogenu jako nejcennějšího energetického zdroje pro vytrvalostní sportovní výkon vysoké intenzity. Většina prací potvrdila, že zvýšená tuková oxidace nepokryje u vytrvalců ani u silových sportovců energetickou potřebu a vlivem nedostatečné konzumace sacharidů dojde k poklesu výkonnosti. Většina studií se shoduje v nutnosti dodržovat high-fat diet (HFD) 5 dní, následovanou 1-2 dny sacharidové superkompenzace před vytrvalostním sportovním výkonem. Ketodiety mohou být aplikovány pouze při ultrakrátkých silových výkonech. Závěry: Většina prací potvrdila, že zvýšená tuková oxidace nepokryje u vytrvalců ani u silových sportovců energetickou potřebu a vlivem nedostatečné konzumace sacharidů dojde k poklesu výkonnosti.

Klíčová slova: nízkosacharidové režimy, ketogenní dieta, tělesné složení, sportovní výkon

Abstract: Introduction: In general, traditional experience is known that reduced carbohydrate intake reduces human vitality and reduces its sporting performance. The goal of modern low carbohydrate diets, especially cyclic ketogenic diet, is to rapidly optimize body composition with a significant decrease in subcutaneous fat while maintaining muscle mass and sports performance. Objective: Carry out a research of current professional literature and find out the effectiveness of low-carbohydrate and ketogenic diets on body composition and sports performance of various types. Method: Based on keywords, we found 354 articles in internet databases, of which a total of 36 were

valid. Results: After a week, the body adapts to a fat-rich diet, and in general fat oxidation provides enough energy in the form of intramuscular triacylglycerols or free fatty acids plasma. Theoretically, muscle glycogen should be investigated as the most valuable energy source for longer-lasting sports performance of high intensity. Most of the work has confirmed that increased fat oxidation does not cover an energy demand in the survivors or force athletes, and performance decreases due to insufficient carbohydrate consumption. Most studies coincide with the need to maintain a high-fat diet (HFD) for 5 days, followed by 1-2 days of carbohydrate supercompensation before endurance sports performance. Ketodiets can only be applied at ultra-short power runs. Conclusions: Most of the works have confirmed that increased fat oxidation does not cover an energy demand in the endurance or rezistence athletes, and performance decreases due to the insufficient carbohydrate consumption.

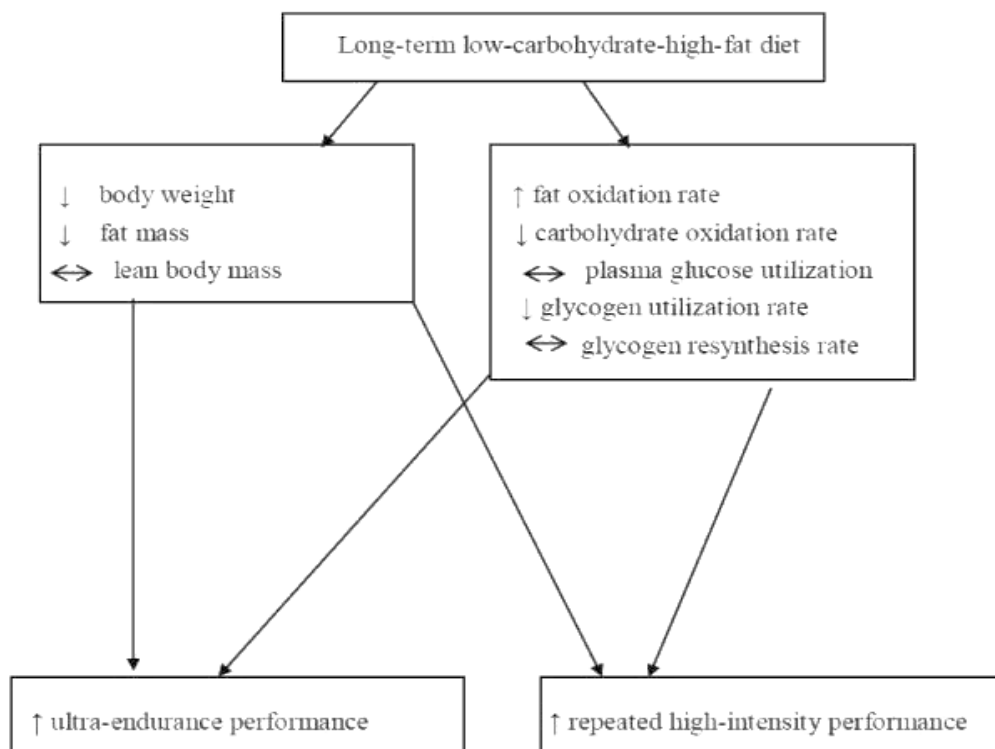
Keywords: low-carbohydrates regimes, ketogenic diet, body composition, sports performance

ÚVOD

Redistribuce podkožního tuku, spolu s optimalizací čisté svalové hmoty, je cílem nejen fyzicky aktivních mužů a žen, ale částečně i zbylé většinové populace, která vnímá tento trend moderní doby jako žádoucí a společensky výhodnější. Obecně přijatá norma pro

stravování říká, že člověk by měl přijímat potravu 5x denně s určitým poměrem makroživin, obvykle 55% sacharidů, 15% bílkovin a 30% tuků. Trojpoměr živin lze pak dále upřesňovat podle výkonnostních sportovních cílů a rozvoje té které pohybové schopnosti.

Obr. 1 Předpoklad účinku dlouhodobého dodržování nízkosacharidové vysokotukové diety (Low-Carbohydrate-High-Fat diet) LCHF Chang, 2017



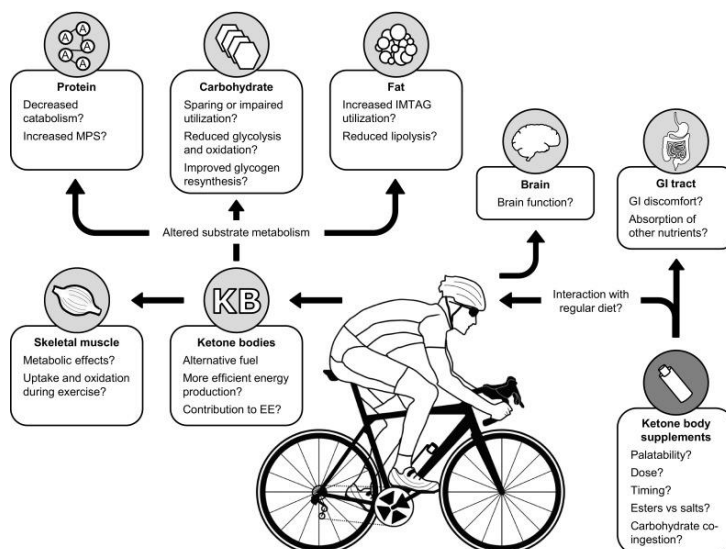
Poslední desetiletí je, především ve sportovní výživě, charakteristické hledáním alternativních cest k dosažení optimálního tělesného složení, ideálně současně se zachováním či lépe zlepšením sportovního výkonu. Současné trendy ve sportovní výživě sahají stále častěji k minimalizaci sacharidové složky (do 30 g denně) a naopak k maximalizaci složky tukové, při které není hlavním energetickým substrátem pro lidské tělo glukóza, ale ketolátky, vznikající právě při metabolismu tuků za podmínky dostatečného vyčerpání glykogenu. Krátkodobá ketogenní dieta je velmi efektivní, nicméně je náročná, s ohledem na sestavení vhodného jídelníčku. K dosažení ketogeneze (s průkazem ketolátek v krvi) je nutno dodržovat dietu velmi důsledně, nelze ji dodržovat jen částečně, což ji zásadně odlišuje od např. sacharidových vln.

Standardní cesta vedoucí přes kalorickou restrikcí tuků (low fat diet), klasické redukční diety či běžnější sacharidové vlny (různé dávkování sacharidů v každém dni) jsou velmi populárním nástrojem. Jejich podstatou, jako u všech jim podobných diet, je především vytvoření energetického deficitu. U sacharidových vln je navíc dodávka této energie nestálá, čímž nedochází v organismu postupem času k nežádoucí adaptaci. Nízkosacharidové režimy přichází s „novinkou“ ve formě omezení sacharidů a naopak kompenzují chybějící energii přebytkem tuku (až 70% energie připadá na tuky) ve stravě. Toto omezení však musí mít určitá pravidla,

neboť je bezpodmínečně nutné, aby se organismus dostal do tzv. ketózy, kdy jsou jako náhradní energetický substrát (za chybějící glukózu) použity tzv. ketolátky. Ketolátky jsou produkty metabolismu tuků a jako zdroj energie organismus využívá především tyto tři: beta-hydroxy butyrát, aceton a acetoacetát. Je potřeba odlišit ketoacidózu, jež je charakterizována jako extrémní forma ketózy a kde již tělo nedokáže kompenzovat produkci ketolátek v krvi. Tento stav se nejčastěji objevuje u neléčeného diabetu 1. typu či u dlouhodobého alkoholismu a může dokonce ohrozit pacienta na životě. Naproti tomu např. hladovění či výrazné omezení sacharidů s kompenzatorním navýšením tuků ve stravě vede k nutriční ketóze bez rozvoje metabolické acidózy.

Jsou známy čtyři formy ketogenních diet: Cyklická ketogenní dieta (CKD), Cílená ketogenní dieta (TKD-targeted), Standardní ketogenní dieta (SKD) a Ketogenní dieta (KD) s vysokým obsahem bílkovin. Především první dva typy jsou použitelné u sportovců, jelikož řeší vztah mezi sportovním tréninkem (především rezistentní trénink i s kombinací aerobních aktivit) a cílenou úpravou stravy ve prospěch tuků. U TKD-targeted diety jsou navíc doplňovány sacharidy (do 50 g) před tréninkem i po tréninku, což má vliv na progresi sportovního výkonu, nejen na redistribuci tukových zásob jako je tomu u CKD.

Obr. 2 Potencionální efekt ketonů v rámci metabolismu (vliv na sportovní výkon) Pinckaers, 2012



Cyklická ketogenní dieta (CKD) je forma ketogenní diety, ve které se střídají dvě různě dlouhé fáze, delší fáze nízkosacharidová (low carb) a kratší fáze vysokosacharidová (high carb). Je to dieta, v níž převažuje vysoký příjem tuků, přiměřený příjem bílkovin a nízký příjem sacharidů. Cílem je rychlá optimalizace tělesné hmotnosti s výrazným úbytkem podkožního tuku a maximálním zachováním svalové hmoty.

KD, low carb diety či diety založené na přerušovaném hladovění (Intermittent fasting) mají obecně za cíl snížit hladinu sacharidů, především glukózy v krvi a tím optimalizovat nejen složení těla, ale i zdravotní a psychický stav jedince.

Předpokladem dosažení individuálních cílů prostřednictvím CKD je nejen samotná strava, ale i dostatečně náročný trénink vyčerpávající svalový glykogen, dále pak vyřazení nevhodných potravin, které mohou v těle spustit glukoneogenezi z nesacharidových složek (bílkovin a aminokyselin), vhodný poměr tuků a bílkovin (2-3:1 ve prospěch tuků), minimalizace stresu a v neposlední řadě zařazování dnů s vysokým příjmem sacharidů. Hladinu

ketolátek v moči je nutné měřit minimálně 2x denně, optimálně ihned po probuzení a poté v průběhu dne, pomocí Ketophan/Diaphan (diagnostické proužky ke stanovení ketolátek v moči).

Efekt ketogenní diety spočívá v tom, že vyčerpá-li jedinec své vlastní, velmi malé, množství zásobního sacharidu ve formě svalového glykogenu (od 300-600g, dle trénovanosti jedince, jeho zatížení, předešlé superkompenzaci aj.) pak nutně musí organismus hledat alternativní zdroje poskytující energii pro svalovou práci. Jedním z nich mohou být právě volné mastné kyseliny (VMK), které mohou být využity většinou tělesných tkání, na druhou stranu, mozek nedokáže tento zdroj využít. Na řadu přichází právě ketolátky jako produkt nekompletního metabolismu VMK v játrech. Při zvýšené produkci ketolátek se jejich hladina v krevním řečišti zvyšuje a způsobuje výše zmíněný stav nutriční ketózy, či jen zkráceně ketózu. Současně dochází ke snížení produkce a využívání glukózy a zároveň se minimalizuje využití proteinu v procesu glukoneogeneze. Z toho důvodu je přednostně v těle využíván

tuk, jakožto primární zdroj energie a jedinec redukuje především z vlastních tukových zásob.

Stejně jako je žádoucí podpořit redukcí tuku vhodným cvičením, tak i v tomto případě je potřebná zvýšená tělesná aktivita. Vzhledem k tomu, že ketogenní diety obsahují minimální podíl sacharidů ve stravě, pak je skoro nemožné udržet výkonnost při cvičeních vysoké intenzity, využívajících právě sacharidy, především glukózu, proto je nutné volit tak spíše cvičení s nižší intenzitou. Pokud chce jedinec využívat potenciálu ketogenní diety a zároveň nesnižovat intenzitu zatížení, pak je nutné nějakým způsobem sacharidy ve stravě opatrně doplňovat, ale zároveň dodržovat principy, aby byl organismus stále ve stavu ketózy. K tomu slouží především dvě ze zmíněných diet a to TKD a CKD.

Cílem naší práce bylo provést rešerši současné odborné literatury a zjistit účinnost nízkosacharidových a ketogenních diet na tělesné složení a sportovní výkony různého typu.

METODA

Podle klíčových slov jsme v internetových databázích našli 354 článků, z nichž plně validních bylo 36. Podle názvu jsme vyřadili 8 duplicitních studií a podle abstraktu jsme dále vyřadili 281 irelevantních studií. Z tematicky relevantních fulltextů jsme dále vyřadili 29 studií, kde chyběla kontrolní skupina, placebo a práce, které nesplňovaly některou z podmínek (délka studie, typ zatížení aj.). Finální počet prací byl 36.

VÝSLEDKY

Účinky ketogenních diet na sportovní výkon

Devět studií (viz. Tab 1) nepotvrdilo žádné zlepšení sportovního výkonu, ať už na úrovni silového či vytrvalostního výkonu či jejich metabolického předpokladu. Phinney (19) po aplikaci ketogenní diety u 5 cyklistů a v délce trvání více jak 28 dnů, nezjistil žádnou výraznou změnu ve vytrvalostním výkonu těchto cyklistů. Obecnou snahou dalších výzkumů bylo prokázat zvýšení oxidace tuku, které by mělo logicky nastat současně se snížením aktivity svalové glykogenolýzy během prodlouženého submaximálního výkonu. Ušetření zásob svalového glykogenu by se mohlo stát významnou výhodou v rozhodujících okamžicích závodu.

Hawley (10) během 7-10 dnů neprokázal vlivem vysokotukové diety složené ze 60-70 % tuku a 15-20 % sacharidů u vytrvalců žádné zlepšení dlouhodobého výkonu v intenzitách okolo 60% VO_{2max} . Dokonce ani přímá suplementace MCT (triacylglyceroly se středně dlouhým řetězcem) neměla žádoucí účinek. K obdobným výsledkům dospěli následně i Miller, Burkeová, Voght či Zhender (3, 14, 26, 35), kteří testovali vliv omezení sacharidů ve stravě u sportovců na úrovni intenzity kolem 65% VO_{2max} . Jednotlivé studie se lišily především v době trvání diety, od velmi krátkých 1,5 dne (35) až po 35 dní (26), ale sportovní výkon se vlivem diet nezlepšil. Obdobně Paoli, Sawyer a Waldman (18, 21, 31) testovali vliv ketogenní diety na silový výkon. Probandy jejich výzkumů tvořili gymnasti (18) či přímo sportovci věnující se odporovému tréninku (21, 31). Délka experimentu se pohybovala od 7 do 30 dní, avšak bez pozitivního účinku ketogenní diety na silový výkon.

Tab. 1 Ketogenní diety bez efektu na sportovní výkon

Žádný účinek ketogenní diety na sportovní výkon					
č.	autor	rok	probandi	dny	výkon
1	Phinney	1983	5 cyklistů	>28	žádná významná změna ↔
2	Hawley	1998	vytrvalci	10	intenzita 60 % VO _{2max} ↔
3	Miller	1999	vytrvalci	N/A	intenzita 65 % VO _{2max} ↔
4	Burke	2002	8 sportovců	5	intenzita 70 % VO _{2max} ↔
5	Vogt	2003	11 duatlon	35	intenzita střední až vysoká
6	Zehnder	2006	11 vytrvalců	1,5	20 km časovka ↔
7	Paoli	2012	8 gymnastů	30	silový výkon ↔
8	Sawyer	2013	31 trénovaných	7	silový výkon ↔
9	Waldman	2017	11 silových sportovců	15	žádná významná změna ↔

Autoři 9 studií (Tab 2) zjistili že po aplikaci ketogenní diety došlo ke zhoršení nejen u vytrvalostních a silových sportovců, ale i u probandů, kteří začali cíleně dodržovat tréninkový plán novým dietním režimem. Maughan a Miller (12, 14) zjistili, že v první týdnu adaptace organismu na high-fat dietu dochází k přechodnému, ale výrazné-

mu zhoršení výkonu o 10-30% (14). Po 3-4 týdnech se výkony vrací k původním nebo téměř původním výkonům než před započítáním restrikce sacharidů. Burkeová ve své review (2, 3) tyto výsledky potvrdila a dokonce pokládá taková dietní omezení při intenzitách nad 80% VO_{2max} za škodlivá.

Tab. 2 Ketogenní diety s negativním vlivem na sportovní výkon

Zhoršený sportovní výkon vlivem ketogenní diety					
č.	autor	rok	probandi	dny	výkon
1	Maughan	1997	kolo, posilování	3 až 4	↓o 10-30% kolo, ↓odporový trénink
2	Miller	1999	posilování	N/A	↓odporový trénink
3	Flemming	2003	20 sportovců	42	↓vytrvalost i silový výkon
4	Burke	2004	obecně sportovci	>28	↓ vytrvalost i silový výkon
5	Burke	2015	obecně sportovci	>28	↓ vytrvalost i silový výkon
6	Escobar	2016	18 crossfit	>28	↓ silová vytrvalost
7	Urbain	2017	42 vytrvalci	>42	↓vytrvalost i silový výkon
8	Zinn	2017	5 nesportovců	>70	↓ kolo/ běh
9	Burke	2017	review	review	↓>80% VO _{2max}

Zlepšený výkon vlivem low-sacharidové diety prokázali pouze u 3 autoři (11, 20, 32). Avšak zlepšení výkonu v časovce u testovaných cyklistů došlo, když po desetidenní aplikaci vysokotukové diety zařadil Lambert (11) tři dny vysokosacharidové diety (až 70% sacharidů ve stravě), poté své probandy po cyklistickém výkonu trvajícím 150 min při 70% VO_{2max} testoval

v časovce na 20 km. Navíc aplikoval hodinu před samotným výkonem 400 ml MCT a v průběhu výkonu ještě 600 ml MCT v kombinaci se sacharidy.

Webster (32) naopak aplikoval LCHF u výkonnostního triatleta po dobu 4 týdnů (během tréninků pouze voda) a dále 3 týdny, kdy v tréninku přidával 60 g sacharidů za hodinu. Poměrně komplexní testování spočívalo ve

sprintu na 30 s, sprintu po dobu 4 minuty, v časovce na 20 km a časovce na 100 km. Ve srovnání s LCHF se doba v časovce na 20 km zlepšila po LCHF s přidáním sacharidů o 2,8%, což by znamenalo velký rozdíl v konkurenci. Výkon ve 30 s sprintu se nezměnil, k malému zlepšení (o 1,6%) došlo ve 4minutovém sprinterském výkonu a malému zhoršení (o 1,1%) v časovce na 100 km. Autoři dospěli k závěru, že přidání sacharidů během výkonu bylo pro tohoto sportovce zvyklého na vysokotukovou dietu prospěšné pro výkon v trvání 4 až 30 minut. Ale nebylo prospěšné pro 30 s sprint ani pro dlouhodobý vytrvalostní výkon.

Rhyu (20) zkoumal rozdíl ketogenní diety a standardní vysokosacharidové diety u 20 teakwondistů ze středních škol. Obě skupiny dodržovaly dietu po dobu 3 týdnů. Kromě mnoha dalších testů Rhyu testoval faktory fitness (2km běh, Wingate test, síla úchopu, síla svalů zad, sed-lehy, 100 m sprint, skok daleký z místa a stoj na jedné noze). Zjistil zlepšení v běhu na 2 km a ve Wingate testu u keto-skupiny, která dosáhla lepších výkonů a cítila se méně vyčerpaně. V ostatních ukazatelích dosáhly obě skupiny srovnatelných výsledků.

Tab. 3 Ketogenní diety s pozitivním vlivem na sportovní výkon

Zlepšený sportovní výkon vlivem ketogenní diety					
č.	autor	rok	probandi	dny	výkon
1	Lambert	2001	5 cyklistů	10+3 (CKD)	↑ výkon, ↓ čas 20 km
2	Rhyu	2014	10 teakwondo	3 týdny	↑ výkon na 2km, ↑ Wingate
3	Webster	2017	vytrvalci	4+ 3 týdny (TKD)	↑ výkon mezi 4-30 min.

Účinky ketogenních diet na složení těla

Většina provedených studií se shoduje v pozitivním efektu ketogenních diet na složení těla. Délka studií byla v rozmezí od 1 týdne (23) do 104 týdnů (22). Mnoho probandů bylo vybráno z aktivních sportovců (8, 9, 13, 18, 21, 23, 34,), v jiných studiích byli pokusnými osobami pacienti (6) či přímo obézní (22). U všech těchto studií se potvrdil pozitivní vliv ketodiety na snížení tělesné hmotnosti, díky významnému zvýšení oxidace tuků a zároveň snížení oxidace sacharidů.

Autoři, kteří studovali vliv ketodiety na tělesné složení především u sportovců (1, 2, 6, 7, 8, 12, 16) dospěli ve svých studiích k jednoznačnému názoru, že v rámci omezení sacharidů ve stravě, se zdroje paliva mění z přednostní glukózy a mastných kyselin na mastné kyseliny a především ketony a že diety stanovující množství tuků a energie dle chuti (non-restricted, ad-libitum) vedou k redukci chutí a ve finále právě ke snížení tělesné hmotnosti.

Tab. 4 Ketogenní diety a jejich vliv na složení těla

Ketogenní dieta a tělesné složení					
č.	autor	rok	probandi	doba	tělesné složení
1	Flemming	2003	20 sportovců	6 týdnů	↓těl. hmotnost, ↑oxidace tuků
2	Stellingwerf	2005	7 cyklistů	1 týden	↑oxidace tuků, ↓oxidace sacharidů
3	Nordmann	2006	447 nadváha	24 týdnů	↓těl. hmotnost
4	Westman	2007	review	review	↓těl. hmotnost
5	Shai	2008	322 obezita	104 týdnů	↓těl. hmotnost
6	Yeo	2011	vytrvalci	2 týdny	↑oxidace tuků
7	Paoli	2012	8 gymnastů	4 týdny	↓těl. hmotnost, ↓těl. tuk
8	Sawyer	2013	31 sportovců	1 týden	↓těl. hmotnost
9	Bueno	2013	1415 pacientů	>52 týdnů	↓těl. hmotnost
10	Bazzano	2014	148 osob	>52 týdnů	↓těl. hmotnost
11	Zinn	2017	5 osob	10 týdnů	↓těl. hmotnost
12	Heatherley	2017	8 běžců	3 týdny	↓těl. hmotnost ↑oxidace tuků
13	Zinn	2017	41 vojáků	12 týdnů	↓těl. hmotnost
14	Noakes	2017	review	review	↓těl. hmotnost
15	Waldman	2018	11 studentů	2 týdny	↓těl. hmotnost
16	McSwiney	2018	20 vytrvalců	12 týdnů	↓těl. hmotnost
17	Vargas	2018	24 mužů	8 týdnů	↓těl. hmotnost

Shai (22) nastavil ketogenní dietu na 20 g sacharidů denně a neomezil kalorický, ani tukový příjem, Přesto v porovnání s nízkotukovou dietou či klasickou redukční dietou dosáhl 322 obézních nejlepších výsledků a dochází u nich k nejprogresivnějšímu snížení tělesné hmotnosti. Shai dodává, že k největšímu úbytku dochází v prvních 6 měsících a poté již nastává období stabilizace, fáze udržovací.

Vargas (25) studoval po 8 týdnů skupinu 24 mužů v rámci odporového tréninku. Z výsledků jednoznačně vyplývá, že ketodieta je velmi vhodný nástroj redukce tukových zásob a jistě má své místo vedle klasické redukční diety či diety nízkotukové, nicméně nelze očekávat, že při tomto stylu stravování bude docházet k nárůstu svalové hmoty ani za předpokladu pozitivní energetické bilance.

Celkově lze říci, že diety s omezením sacharidů poskytují slibnou cestu

v pomoci kontrolovat tělesnou hmotnost při udržení čisté svalové hmoty, především ve sportech spojených s hmotností sportovce

DISKUSE

V naší přehledové studii jsme se zabývali otázkou, zda ketodiety mohou být alternativním nástrojem k redukčním dietám či nízkotukovým dietám a zda mohou zlepšit sportovní výkon a tělesné složení.

Prokazatelný je především vliv ketodiety na tělesné složení, na němž se shodují takřka všechny studie. Nicméně stále je věcí především metodiky daného výzkumu, do jaké míry je tento úbytek tukové tkáně trvalý, neboť v delším časovém horizontu se výsledky všech strategií sblíží a přibližně po 6 měsících jsou výsledky srovnatelné s ostatními přístupy.

Vliv ketodiet a lowcarb diet na sportovní výkony jsou rozporuplné a ukazuje se spíše, že jejich vliv není buď žádný anebo je dokonce negativní.

U vytrvalců se asi po týdnu tělo adaptuje na stravu bohatou na tuky a obecně oxidace tuků poskytuje dostatek energie ve formě intramuskulárních triacylglycerolů či volných mastných kyselin v plazmě. Teoreticky by tak mělo docházet k šetření svalového glykogenu jako nejcennějšího energetického zdroje pro sportovní výkon. Většina prací potvrdila, že zvýšená tuková oxidace nepokryje u vytrvalců ani u silových sportovců energetickou potřebu a vlivem nedostatečné konzumace sacharidů dojde k poklesu výkonnosti. Většina studií se shoduje v nutnosti dodržovat high-fat diet (HFD) 5 dní, následovanou 1-2 dny sacharidové superkompenzace před vytrvalostním sportovním výkonem (charakteristika CKD). Ketodiety mohou být aplikovány pouze při krátkodobých silových výkonech, kdy organismus čerpá energii především z fosfátového metabolismu (ATP, CP).

Při poklesu sportovního výkonu vlivem high-fat diet hraje negativní roli (kromě nízké glykemie) jednak pokles anabolického efektu inzulínu, jednak nedostatečný příjem bílkovin.

ZÁVĚRY

Aplikace ketodiety, ať už ve formě krátkého období před výkonem či ve formě dlouhodobé stravovací strategie, nevede ke zlepšení vytrvalostního výkonu ani ke snížení spotřeby svalového glykogenu. Na druhou stranu jako strategie, mající za cíl redukci tuku, je ketodieta účinná, nicméně nejvyšší účinnost je především v prvních 4 týdnech.

Diety s omezeným přísunem sacharidů a naopak s vysokým příjmem tuků **nevedly ke zlepšení vytrvalostního výkonu.**

Diety s omezeným přísunem sacharidů a naopak s vysokým příjmem tuků **vedly k poklesu tělesné hmotnosti a k poklesu % tělesného tuku**, pokud intervence trvala déle než 3-4 týdny (po 6 měsících byly výsledky srovnatelné s konvenční redukční dietou)

Zlepšený silový výkon může být způsoben snížením tělesné váhy a/ nebo zlepšením tělesného složení ve prospěch tukuprosté tkáně

Cyklická ketogenní dieta, při které se uplatní jedno – dvoudenní sacharidová superkompenzace je jedinou možností, jak zachovat sportovní výkon.

Autoři prohlašují, že nejsou v žádném konfliktu zájmů.

LITERATURA

1. BAZZANO, L. A., HU, T., REYNOLDS, K., YAO, L., BUNOL, C., LIU, Y., CHEN, C. S., KLAG, M. J., WHELTON, P. K., HE, J. Effects of low-carbohydrate and low-fat diets: a randomized trial. *Ann Intern Med.* 2014 Sep 2;161(5):309-18. doi: 10.7326/M14-0180.
2. BURKE, L. M. Re-examining high-fat diets for sports performance: did we call the 'nail in the coffin' too soon? *Sports Med.* 2015;45:33–49.
3. BURKE, L. M., HAWLEY, J. A., ANGUS, D. J., COX, G. R., CLARK, S. A., CUMMINGS, N. K., DESBROW, B., HARGREAVES, M. Adaptations to short-term high-fat diet persist during exercise despite high carbohydrate availability. *Med Sci Sports Exerc.* 2002 Jan;34(1):83-91.

4. BURKE, L. M., KIENS, B., IVY, J. L. Carbohydrates and fat for training and recovery. *J Sports Sci.* 2004 Jan;22(1):15-30.
5. BURKE, L. M., ROSS, M. L., GARVICAN-LEWIS, L. A., WELVAERT, M., HEIKURA, I. A., FORBES, S. G., MIRTSCHIN, J. G., CATO, L. E., STROBEL, N., Sharma AP, Hawley JA.. Low carbohydrate, high fat diet impairs exercise economy and negates the performance benefit from intensified training in elite race walkers. *J Physiol.* 2017 May 1;595(9):2785-2807. doi: 10.1113/JP273230. Epub 2017 Feb 14.
6. BUENO, N. B., DE MÊLO, I. S. V., DE OLIVEIRA, S. L., DA ROCHA ATAIDE T. Very-low-carbohydrate ketogenic diet v. low-fat diet for long-term weight loss: a meta-analysis of randomised controlled trials. *Br J Nutr.* 2013;110:1178–1187.
7. ESCOBAR, K. A., MORALES, J., VANDUSSELDORP, T. A. The Effect of a Moderately Low and High Carbohydrate Intake on Crossfit Performance. *Int J Exerc Sci.* 2016 Oct 1;9(3):460-470. eCollection 2016.
8. FLEMING, J., SHARMAN, M. J, AVERY, N. G., LOVE, D. M., GÓMEZ, A. L., SCHEETT, T. P., KRAEMER, W. J., VOLEK, J. S. Endurance capacity and high-intensity exercise performance responses to a high fat diet. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2003 Dec;13(4):466-78.
9. HEATHERLY, A. J., KILLEN, L. G., SMITH, A. F., WALDMAN, H. S., SELTMANN, C. L., HOLLINGSWORTH, A., O'NEAL, E. K. Effects of Ad libitum Low-Carbohydrate High-Fat Dieting in Middle-Age Male Runners. *Med Sci Sports Exerc.* 2018 Mar;50(3):570-579. doi: 10.1249/MSS.0000000000001477.
10. HAWLEY, J. A., BROUNS, F., JEUKENDRUP, A. Strategies to enhance fat utilisation during exercise. *Sports Med.* 1998, 25(4):241–257. ISSN 0112-1642 (print), ISSN 1179-2035
11. LAMBERT, E. V., GOEDECKE, J. H., VAN ZYL, et al. High-Fat Diet Versus Habitual Diet Prior to Carbohydrate loading: Effects on Exercise Metabolism and Cycling Performance. *Int J Sport Nutr and Exerc Metab.* 2001, 11: 209-225. ISSN 1526-484X (print), ISSN 1543-2742 (online).
12. MAUGHAN, R. J., GREENHAFF, P. L., LEIPER, J. B., BALL, D., LAMBERT, C. P., GLEESON, M. Diet composition and the performance of high-intensity exercise. *J Sports Sci.* 1997 Jun;15(3):265-75.
13. McSWINEY, F. T., WARDROP, B., HYDE, P. N., LAFOUNTAIN, R. A., VOLEK, J. S., DOYLE, L. Keto-adaptation enhances exercise performance and body composition responses to training in endurance athletes. *Metabolism.* 2018 Apr;81:25-34. doi: 10.1016/j.metabol.2017.10.010. Epub 2017 Nov 3.

14. MILLER, S. L., WOLFE, R. R. Physical exercise as a modulator of adaptation to low and high carbohydrate and low and high fat intakes. *Eur J Clin Nutr.* 1999 Apr;53 Suppl 1:S112-9.
15. NOAKES, T., VOLEK, J. S., PHINNEY, S. D. Low-carbohydrate diets for athletes: what evidence? *Br J Sports Med.* 2014;48:1077–1078.
16. NOAKES, T. D., WINDT, J. Evidence that supports the prescription of low-carbohydrate high-fat diets: a narrative review. *Br J Sports Med.* 2017 Jan;51(2):133-139. doi: 10.1136/bjsports-2016-096491.
17. NORDMANN, A. J., NORDMANN, A., BRIEL, M., KELLER, U., YANCY, W. S. Jr, BREHM, B. J., BUCHER, H. C. Effects of low-carbohydrate vs low-fat diets on weight loss and cardiovascular risk factors: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Arch Intern Med.* 2006 Feb 13;166(3):285-93.
18. PAOLI, A., GRIMALDI, K., D'AGOSTINO, D., CENCI, L., MORO, T., BIANCO, A., PALMA, A. Ketogenic diet does not affect strength performance in elite artistic gymnasts. *J Int Soc Sports Nutr.* 2012;9:34.
19. PHINNEY, S. D., BISTRAN, B. R., EVANS, W. J., GERVINO, E., BLACKBURN, G. L. The human metabolic response to chronic ketosis without caloric restriction: preservation of submaximal exercise capability with reduced carbohydrate oxidation. *METABOLISM.* 1983;32:769–776.
20. RHYU, H. S., CHO, S. Y. The effect of weight loss by ketogenic diet on the body composition, performance-related physical fitness factors and cytokines of Taekwondo athletes. *J Exer Rehabil.* 2014;10:326–331.
21. SAWYER, J. C., WOOD, R. J., DAVIDSON, P. W., COLLINS, S. M., MATTHEWS, T. D., GREGORY, S. M., PAOLONE, V. J. Effects of a short-term carbohydrate-restricted diet on strength and power performance. *J Strength Cond Res.* 2013 Aug;27(8):2255-62. doi: 10.1519/JSC.0b013e31827da314.
22. SHAI, I., SCHWARZFUCHS, D., HENKIN, Y., SHAHAR, D. R., WITKOW, S., GREENBERG, I., GOLAN, R., FRASER, D., BOLOTIN, A., VARDI, H., TANGI-ROZENTAL, O., ZUK-RAMOT, R., SARUSI, B., BRICKNER, D., SCHWARTZ, Z., SHEINER, E., MARKO, R., KATORZA, E., THIERY, J., FIEDLER, G. M., BLÜHER, M., STUMVOLL, M., STAMPFER, M. J. Dietary Intervention Randomized Controlled Trial (DIRECT) Group. Weight loss with a low-carbohydrate, Mediterranean, or low-fat diet. *N Engl J Med.* 2008 Jul 17;359(3):229-41. doi: 10.1056/NEJMoa0708681.
23. STELLINGWERFF, T., SPRIET, L. L., WATT, M. J., KIMBER, N. E., HARGREAVES, M., HAWLEY, J. A., BURKE, L. M. Decreased PDH activation and glycogenolysis during exercise following fat adaptation with carbohydrate restoration. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2006;290:E380–388.

24. URBAIN, P., STROM, L., MORAWSKI, L., WEHRLE, A., DEIBERT, P., BERTZ, H. Impact of a 6-week non-energy-restricted ketogenic diet on physical fitness, body composition and biochemical parameters in healthy adults. *Nutr Metab (Lond)*. 2017 Feb 20;14:17. doi: 10.1186/s12986-017-0175-5. eCollection 2017.
25. VARGAS, Salvador, ROMANCE, Ramón, PETRO, Jorge L., BONILLA Diego A., GALANCHO, Ismael, ESPINAR, Sergio, Richard B. KREIDER, and Javier BENÍTEZ-PORRES: Efficacy of ketogenic diet on body composition during resistance training in trained men: a randomized controlled trial. *J Int Soc Sports Nutr*. 2018; 15: 31. Published online 2018 Jul 9. doi: 10.1186/s12970-018-0236-9
PMCID: PMC6038311 PMID: 29986720
26. VOGT, M., PUNTSCHART, A., HOWALD, H., MUELLER, B., MANNHART, C., GFELLER-TUESCHER, L., MULLIS, P., HOPPELER, H. Effects of dietary fat on muscle substrates, metabolism, and performance in athletes. *Med Sci Sports Exerc*. 2003 Jun;35(6):952-60.
27. VOLEK, J. S., FREIDENREICH, D. J., SAENZ, C., KUNCES, L. J., CREIGHTON, B. C., BARTLEY, J. M., DAVITT, P. M., MUNOZ, C. X., ANDERSON, J. M., MARESH, C. M., LEE, E. C., SCHUENKE, M. D., AERNI, G., KRAEMER, W. J., PHINNEY, S. D. Metabolic characteristics of keto-adapted ultra-endurance runners. *Metabolism*. 2016;65:100–110.
28. VOLEK, J. S., NOAKES, T., PHINNEY, S. D. Rethinking fat as a fuel for endurance exercise. *Eur J Sport Sci*. 2015;15:13–20.
29. VOLEK, J. S., SHARMAN, M. J., GOMEZ, A. L., DIPASQUALE, C., ROTI, M., PUMERANTZ, A., KRAEMER, W. J. Comparison of a very low-carbohydrate and low-fat diet on fasting lipids, LDL subclasses, insulin resistance, and postprandial lipemic responses in overweight women. *J Am Coll Nutr*. 2004;23:177–184.
30. VOLEK, J. S., SHARMAN, M. J., LOVE, D. M., AVERY, N. G., GOMEZ, A. L., SCHEETT, T. P., KRAEMER, W. J. Body composition and hormonal responses to a carbohydrate-restricted diet. *Metabolism*. 2002;51:864–870.
31. WALDMAN, H. S., KRINGS, B. M., BASHAM, S. A., SMITH, J. E. W., FOUNTAIN, B. J., McALLISTER M. J. Effects of a 15-Day Low Carbohydrate, High-Fat Diet in Resistance-Trained Men. *J Strength Cond Res*. 2018 Nov;32(11):3103-3111. doi: 10.1519/JSC.0000000000002282.

32. WEBSTER, C. C., SWART, J., NOAKES, T. D., SMITH, J. A. A Carbohydrate Ingestion Intervention in an Elite Athlete Who Follows a Low-Carbohydrate High-Fat Diet. *Int J Sports Physiol Perform.* 2018 Aug 1;13(7):957-960. doi: 10.1123/ijsp.2017-0392. Epub 2018 Jul 30.
33. WESTMAN, E. C., FEINMAN, R. D., MAVROPOULOS, J. C., VERNON, M. C., VOLEK, J. S., WORTMAN, J. A., YANCY, W. S., PHINNEY, S. D. Low-carbohydrate nutrition and metabolism. *Am J Clin Nutr.* 2007 Aug;86(2):276-84.
34. YEO, W. K., CAREY, A. L., BURKE, L., SPRIET, L. L., HAWLEY, J. A. Fat adaptation in well-trained athletes: effects on cell metabolism. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2011 Feb;36(1):12-22. doi: 10.1139/H10-089.
35. ZEHNDER, M., CHRIST, E. R., ITH, M., ACHESON, K. J., POUTEAU, E., KREIS, R., TREPP, R., DIEM, P., BOESCH, C., DÉCOMBAZ, J. Intramyocellular lipid stores increase markedly in athletes after 1.5 days lipid supplementation and are utilized during exercise in proportion to their content. *Eur J Appl Physiol.* 2006 Nov;98(4):341-54. Epub 2006 Aug 11.
36. ZINN, C., McPHEE, J., HARRIS, N., WILLIDEN, M., PRENDERGAST, K., SCHOFIELD, G. A 12-week low-carbohydrate, high-fat diet improves metabolic health outcomes over a control diet in a randomised controlled trial with overweight defence force personnel. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2017 Nov;42(11):1158-1164. doi: 10.1139/apnm-2017-0260. Epub 2017 Jul 12.

KONTAKT

Mgr. Pavel Kysel, DIS.
 Vysoká škola tělesné výchovy a sportu
 PALESTRA, spol. s r.o., Praha
 e-mail: kysel@palestra.cz

doc. MUDr. Zdeněk Vilikus, CSc.
 Ústav tělovýchovného lékařství 1. LF
 UK a VFN, Praha
 e-mail: zvili@lf1.cuni.cz