

**Univerzita Karlova**

**1. lékařská fakulta**

Autoreferát disertační práce



**UNIVERZITA KARLOVA**  
**1. lékařská fakulta**

Nízkosacharidové režimy (low carb diet, cyklická ketogenní dieta, přerušované hladovění) a jejich vliv na kardiorespirační zdatnost, tělesné složení, svalovou sílu, sportovní výkon a na odolnost svalových buněk proti zátěži

Low carbohydrate regimes (low carb diet, the cyclical ketogenic diet, intermittent fasting) and their impact on cardiorespiratory fitness, body composition, muscular strength, sports performance and muscle cells resistance against exercise.

PhDr. Pavel Kysel, DiS.

2023

**Doktorské studijní programy v biomedicině**  
*Univerzita Karlova a Akademie věd České republiky*

Obor: Fyziologie a patofyziologie člověka  
Předseda oborové rady: prof. MUDr. Otomar Kittnar, CSc., MBA  
Školící pracoviště: Ústav tělovýchovného lékařství 1. LF UK a VFN  
Školitel: doc. MUDr. Zdeněk Vilikus, CSc.  
Konzultant: prof. MUDr. Martin Haluzík, DrSc.

Disertační práce bude nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněna k nahlížení veřejnosti v tištěné podobě na Oddělení pro vědeckou činnost a zahraniční styky Děkanátu 1. lékařské fakulty.

# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>HYPOTÉZY A CÍLE PRÁCE .....</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>MATERIÁL A METODIKA .....</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>VÝSLEDKY.....</b>	<b>13</b>
	<i>4.1 Vliv cyklické ketogenní redukční diety vs. nutričně vyvážené redukční diety na tělesné složení, sílu a vytrvalostní výkon u zdravých mladých mužů: randomizovaná kontrolovaná studie .....</i>	<i>13</i>
	<i>4.2 Různé účinky cyklické ketogenní vs. nutričně vyvážené redukční diety na sérové koncentrace myokinů u zdravých mladých mužů podstupujících kombinaci odporového/aerobního tréninku.....</i>	<i>13</i>
	<i>4.3 Nízkosacharidové režimy a jejich vliv na sportovní výkon a tělesné složení .....</i>	<i>14</i>
	<i>4.4 Vliv triacylglycerolů o středně dlouhém řetězci (MCT) na vytrvalostní sportovní výkon.....</i>	<i>15</i>
<b>5</b>	<b>DISKUSE .....</b>	<b>16</b>
<b>6</b>	<b>ZÁVĚRY.....</b>	<b>21</b>
<b>7</b>	<b>POUŽITÁ LITERATURA.....</b>	<b>25</b>
<b>8</b>	<b>SEZNAM PUBLIKACÍ .....</b>	<b>29</b>

## **ABSTRAKT**

Nízkosacharidové diety jsou diskutovaným tématem v souvislosti se sportovními výkony, nadváhou a obezitou, ale i se zdravotním stavem jedince. Vliv na zdraví a kondici je stále nejednoznačný.

Cílem této práce bylo porovnat a zjistit vliv nízkosacharidové, v tomto případě ketogenní diety, na tělesné složení, sportovní výkon při různém zatížení a hladiny vybraných cirkulujících cytokinů.

Naše studie se zaměřila na zkoumání účinků cyklické ketogenní redukční diety (CKD) vs. nutričně vyvážené redukční diety (RD) kombinované s pravidelným odporovým/aerobním tréninkem u zdravých mladých mužů po dobu 8 týdnů.

Účastníci v obou skupinách CKD a RD snížili svou tělesnou hmotnost, množství tělesného tuku a hodnotu indexu tělesné hmotnosti (BMI). Ve skupině CKD se snížil objem beztukové hmoty (čisté tělesné hmotnosti) a množství vody v těle. Ve skupině RD se však objem těchto parametrů významně nezměnil. Parametry svalové síly nebyly u skupiny CKD ovlivněny, zatímco maximální silové výkony při stahování kladky na prsa a tlaku dolních končetin se u skupiny RD zvýšily. Podobně nebyly ovlivněny vytrvalostní výkony ve skupině CKD, naproti tomu maximální výkon a maximální spotřeba kyslíku se ve skupině RD zvýšily. Naše zjištění naznačují, že u zdravých mladých mužů podstupujících odporový a aerobní trénink s použitím různých výživových režimů, konkrétně CKD a RD, bylo dosaženo ekvivalentního poklesu hmotnosti. Skupina CKD také mírně redukovala beztukovou tělesnou hmotnost. Výsledky studie dále ukazují, že zatímco CKD je účinná při snižování tělesné hmotnosti, není účinnou metodou ke zlepšení anaerobního nebo aerobního výkonu u zdravých mladých mužů. Dále naše výsledky naznačují, že změny hladin osteonektinu a musclinu by mohly přispět ke zlepšení svalové síly a vytrvalostního výkonu a částečně vysvětlit rozdílné účinky CKD a RD na fyzickou zdatnost.

Závěrem lze konstatovat, že diety, které omezují sacharidy ve stravě, zlepšují složení těla, ale sportovní výkonnost se po 3–4 týdnech výrazně snižuje. Zvýšená hladina musclinu a nižší hladina osteonektinu u zdravých mladých mužů, kteří během RD provádějí odporové a aerobní cvičení, by mohly přispět k objasnění změn zvýšení svalové síly a vytrvalostního výkonu a vysvětlit rozdíly ve fyzické zdatnosti mezi CKD a RD.

### **KLÍČOVÁ SLOVA:**

nízkosacharidové diety, ketogenní dieta, redukční dieta, složení těla, sportovní výkon

## **ABSTRACT (EN)**

Low-carbohydrate diets are a debated topic in relation to athletic performance, overweight and obesity, but also to the health status of the individual. The impact on health and fitness is still ambiguous.

The aim of this study was to compare and investigate the effect of a low carbohydrate, in this case ketogenic, diet on body composition, sports performance at different exercise loads and levels of selected circulating cytokines.

Our study aimed to investigate the effects of a cyclic ketogenic reduction diet (CKD) vs. a nutritionally balanced reduction diet (RD) combined with regular resistance/aerobic training in healthy young men for 8 weeks.

Participants in both the CKD and RD groups reduced their body weight, body fat, and body mass index (BMI) values. In the CKD group, the amount of fat-free mass (net body weight) and the amount of water in the body decreased. In the RD group, however, the volume of these parameters did not change significantly. Muscle strength parameters were not affected in the CKD group, while maximal strength performances in chest pulldown and lower limb press increased in the RD group. Similarly, endurance performances were not affected in the CKD group, whereas maximal power output and maximal oxygen consumption increased in the RD group. Our findings suggest that equivalent weight loss was achieved in healthy young men undergoing resistance and aerobic training using different nutritional regimens, specifically CKD and RD. The CKD group also slightly reduced fat-free body weight. The results of the study further indicate that while CKD is effective in reducing body weight, it is not an effective method to improve anaerobic or aerobic performance in healthy young men. Furthermore, our results suggest that changes in osteonectin and musclin levels could contribute to improvements in muscle strength and endurance performance and partially explain the differential effects of CKD and RD on physical fitness.

In conclusion, diets that restrict dietary carbohydrates improve body composition, but athletic performance decreases significantly after 3-4 weeks. Increased musclin and lower osteonectin levels in healthy young men who perform resistance and aerobic exercise during RD could help to elucidate changes in increases in muscle strength and endurance performance and explain differences in physical fitness between CKD and RD.

### **KEYWORDS:**

low-carbohydrate diets, ketogenic diet, reduction diet, body composition, sports performance

# 1 ÚVOD

Dle Světové zdravotnické organizace se od roku 1975 zvýšil počet lidí s nadváhou až 3×. Bezmála 40 % dospělých trpí nadváhou a 13 % již obezitou. Většina světové populace žije v zemích, kde nadváha a obezita zabíjí více populace než podváha. Konzumace vysokoenergetických potravin a pohybová inaktivita jsou základními předpoklady pandemie obezity. Důvody změn v našem stravování a s tím i pokles zájmu o pohyb jako takový jsou výsledkem společenských změn spojených s nedostatkem podpůrných a preventivních opatření v rámci např. zemědělství, dopravy, životního prostředí, zpracování potravin, distribuce, marketingu, ale především nedostatečného programu ve vzdělávání. Obezitě se totiž dá předcházet (WHO, 2021).

Prevalence obezity stále roste navzdory doporučením založeným na vědeckých důkazech. Lze evidovat nárůst neinfekčních onemocnění, jako jsou např. nadváha, obezita a s tím spojené komplikace kardiovaskulární či diabetes mellitus II. typu a rakovina. Je jistě zajímavé, že původně byly tyto „komplikace“ spojovány převážně s vysoce příjmovými zeměmi, nyní se však dramaticky rozvíjí i v rozvojových státech (WHO, 2021). Zdravý životní styl je v rámci prevence svým způsobem jedním z řešení této celosvětové epidemie stále důležitější.

Omezení kalorického příjmu nebo pravidelná pohybová aktivita či ideálně jejich kombinace jsou přijímány jako účinná strategie v prevenci nebo léčby obezity. Benefity, které přináší pravidelný pohyb, jsou připisovány nejen snížené adipozitě nebo sníženým hladinám cirkulujících lipidů, ale také proteinům, peptidům, enzymům a metabolitům, které se uvolňují z kontrahujících se kosterních svalů či jiných orgánů. Exkrece cytokinů v reakci na pohybovou aktivitu vyvolává hnědnutí bílé tukové tkáně zvýšením exprese genů specifických pro hnědé adipocyty v bílé tukové tkáni, což naznačuje, že cytokiny indukované cvičením mohou hrát významnou roli v prevenci obezity (Jeremic et al., 2017). Zde předkládáme výzkum podložený důkazy podporujícími účinky aerobního i anaerobního zatížení a různými dietními intervencemi na změnu tělesného složení, redukci tělesné hmotnosti a sportovní výkon. Mezi takovou tkání a cytokiny vylučovanými kosterním svalstvem a dalšími orgány je velmi pravděpodobně příčinný vztah. O cytokinech je známo, že ovlivňují metabolismus (mimo jiné) i tukové tkáně.

Cytokiny vylučované z kosterního svalstva či tukové tkáně jsou na základě studií slibným terapeutickým cílem pro metabolická onemocnění. Studie potvrzují, že některé z těchto molekul uvolněných v reakci např. na svalovou kontrakci zprostředkovávají pozitivní

efekty cílené pohybové činnosti v jiných, metabolicky aktivních tkáních a orgánech, jako jsou játra či tuková tkáň, kde podporují hnědnutí bílé tukové tkáně, zvýšení termogeneze a energetického výdeje (Atakan et al., 2021). Svalový sekretom se skládá z několik stovek vylučovaných peptidů. Studie pak poukazují na zcela nové pojetí komunikace svalové tkáně s dalšími orgány (tuková tkáň, játra, slinivka břišní, ale i samotný mozek). Parakrinní funkce cytokinů ovlivňuje samotnou svalovou tkáň. Například myostatin, IL-6 či IL-7 jsou zodpovědné za svalovou hypertrofii, BDNF a IL-6 jsou mimo jiné zodpovědné za oxidaci tuků. Některé další myokiny, např. IGF-1 (insulin like growth factor- 1, FGF-21), zlepšují endoteliální funkce cévního systému. Irisin je přímo zodpovědný za hnědnutí tuku. Vzhledem k tomu, že výše uvedené vybrané cytokiny jsou přímo odvislé od svalové kontrakce, způsobuje fyzická inaktivita omezení sekrece cytokinů. Sedavý způsob bez cílené pohybové aktivity je poté v přímé úměře s rozvojem mnoha chronických onemocnění (Pedersen & Febbraio, 2012).

Poslední desetiletí je především ve sportovní výživě charakteristické hledáním alternativních cest k dosažení optimálního tělesného složení, ideálně současně se zachováním, či ještě lépe zlepšením sportovního výkonu. Současné trendy ve sportovní výživě sahají stále častěji k minimalizaci sacharidové složky (i do 30 g denně), naopak k maximalizaci složky tukové, jejímž hlavním energetickým substrátem pro lidské tělo není glukóza, ale ketolátky (aceton, acetacetát, beta-hydroxybutyrát) (Kysel et al., 2019).

Dalším rizikem je nevhodné pochopení diety a její aplikace běžnou populací, která neřeší zdroje a kvalitu jednotlivých makroživin. Dieta s vysokým obsahem tuků obsahující nižší množství sacharidů je obezitogenní i diabetogenní, zatímco strava s velmi vysokým obsahem tuků a bez sacharidů takovéto riziko nemá, ale může vést k inzulínové rezistenci a vyššímu riziku kardiovaskulárních chorob. Tento fakt může znamenat, že diety s vysokým obsahem tuků mohou snadno vést k aplikaci (praktikování) nezdravé stravy zejména v kombinaci se sacharidy. Kombinace makronutrientů zde nabývá většího významu než samotný energetický obsah stravy (Guldstrand & Simberg, 2007).

Interakce mezi dietou a fyzickou aktivitou hrají významnou roli v dlouhodobé regulaci tělesné hmotnosti a fyzické zdatnosti. Endokrinní faktory v podobě klasických hormonů, ale také v podobě hormonálně aktivních regulátorů jako adipokinů, cytokinů a myokinů se jeví jako velmi aktivní hráči v tomto procesu (Severinsen & Pedersen, 2020; Lee & Jun, 2019; Eckel, 2019)

## 2 HYPOTÉZY A CÍLE PRÁCE

Cílem naší studie bylo určit a porovnat vliv cyklické ketogenní diety a redukční diety na:

- svalovou sílu,
- kardiorepirační zdatnost,
- tělesné složení,
- hladinu vybraných cytokinů.

Především bylo potřeba posoudit (nejen) fyziologické aspekty v několika liniích:

- I. Zjistit jaké jsou efekty nízkosacharidových, a především ketogenních diet na tělesné složení.
  - II. Zjistit, jak tento konkrétní dietní systém ovlivňuje sportovní výkony odlišného zatížení.
  - III. Ověřit, zda změny v hladinách vybraných cirkulujících cytokinů mohou být prediktorem hmotnostních úbytků a změn tělesného složení, potažmo vybraného fyzického výkonu.
  - IV. Určit, zda je strategicky významnější aplikace redukční či nízkosacharidové diety z krátko a dlouhodobého hlediska.
- H1: Předpokládáme, že tréninkový plán aplikovaný u probandů dodržujících cyklickou ketogenní dietu (dále jen CKD) **sníží procento tělesného tuku** více než u probandů dodržujících redukční dietu (dále jen RD).

V rámci diagnostiky a analýzy složení lidského těla budou u jednotlivých probandů prostřednictvím bioimpedanční váhy (přístroj InBody 230) zjišťovány dílčí hodnoty (hmotnost, tuková tkáň, svalová hmota, tukuprostá tkáň, voda). Měření budou probíhat před započítáním intervence a bezprostředně po jejím ukončení.

- H2: Předpokládáme, že tréninkový plán aplikovaný u probandů dodržujících CKD **zlepší kardiorepirační zdatnost více** než u probandů dodržujících RD.

Kardiorepirační zdatnost bude ověřena v rámci spiroergometrického měření na bicyklovém ergometru před intervencí a po ní. Obě skupiny mužů ve věku 18–30 let budou absolvovat vytrvalostní trénink 3× týdně 30 minut s tepovou frekvencí v rozmezí 130–140 tepů/min po dobu 8 týdnů a současně budou dodržovat CKD, respektive RD.

- H3: Předpokládáme, že tréninkový plán aplikovaný u probandů dodržujících CKD **zachová více svalové hmoty** v porovnání se skupinou dodržující RD.



Prostřednictvím antropometrického měření na bioimpedanční váze (přístroj InBody 230) budou zjišťovány dílčí hodnoty (hmotnost, tuková tkáň, svalová tkáň/tukuprostá tkáň, voda). Měření budou probíhat před započítím intervence a bezprostředně po jejím ukončení.

- H4: Předpokládáme, že tréninkový plán aplikovaný u probandů dodržujících CKD **zvýší maximální silové výkony** u skupiny s CKD více než u skupiny dodržující RD.

Svalová síla a vzpěračský výkon budou měřeny přesně stanovenou baterií silových testů aplikovaných na svaly celého těla. Obě skupiny mužů ve věku 18–30 let budou absolvovat silový trénink 3× týdně 1,5 hodiny po dobu 8 týdnů a současně budou držet CKD, respektive RD. V obou skupinách budou probandi s předchozí alespoň jednoletou zkušeností se silovým tréninkem.

- H5: Předpokládáme, že tréninkový plán aplikovaný u probandů dodržujících CKD **změní hladiny některých vybraných cytokinů** příznivěji než u skupiny dodržující RD a že některé cytokiny tak mohou být prediktorem změn tělesného složení a/nebo silového či vytrvalostního sportovního výkonu.

Myokiny jsou peptidy produkované a uvolňované myocyty svalových vláken, které ovlivňují fyziologii svalů a dalších orgánů a tkání. Jde o velké množství peptidů s autokrinním, parakrinním a endokrinním účinkem. Tyto proteiny a peptidy, pokud se uvolní do krevního oběhu, podstatně ovlivňují metabolismus vzdálených orgánů. Ovlivňují také růst svalových vláken a jejich regeneraci, stimulují angiogenezi, podílejí se na regulaci metabolismu glukózy a prokazatelně působí na hladinu cirkulujících lipidů. Vzhledem ke své různorodé funkci představují myokiny perspektivní terapeutický cíl v léčbě poruch svalového růstu a regenerace a také obezity.

### 3 MATERIÁL A METODIKA

#### Antropometrická, biochemická a hormonální vyšetření

Na počátku byli všichni probandi zváženi a byl vypočítán jejich BMI (body mass index).

Tělesné složení bylo měřeno pomocí InBody Body Composition Analyzers (InBody230, InBody Co., Ltd., Korea). Tělesná hmotnost a další parametry tělesného složení (beztuková tělesná hmotnost, hmotnost tělesného tuku, obsah vody a procento tělesného tuku) byly měřeny s minimálním oblečením a bez bot s přesností na 0,5 kg.

Vzorky krve pro biochemická měření byly odebrány před zahájením a na konci studie po 8 týdnech diety. Sérum bylo získáno centrifugací a vzorky byly následně skladovány v alikvotech při  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  až do další analýzy. Maximální doba skladování byla 8 měsíců.

Biochemické parametry byly měřeny spektrofotometrickými metodami na zařízení ARCHITECT c Systems (Abbott Park, IL, USA) v oddělení biochemie Institutu klinické a experimentální medicíny v Praze.

#### Měření silového a vytrvalostního výkonu

Měření silového a vytrvalostního výkonu bylo prováděno v průběhu 5 dnů. Každý z probandů se přihlašoval na hodinový blok k účasti na jednotlivé testování. Každý blok byl vyhrazen pro maximálně 5 probandů v tělocvičně a v rámci spiroergometrie byla každému jednotlivě rezervována hodina. Probandi byli instruováni, aby se dostavili do tělocvičny 30 minut před testováním a zároveň byli poučeni, aby se po dobu minimálně 24 hodin před testováním neúčastnili žádných pohybových aktivit.

##### *Testování silových schopností*

V úvodu byli všichni testovaní probandí instruováni s ohledem na organizaci testů a zároveň jim byla baterie testovaných cvičení předvedena. Zároveň s tím bylo poukázáno na nejčastější pochybení. Poté se všichni probandí rozcvičili a připravili k testování. Všichni byli náhodně (losem) rozřazeni do jednotlivých skupin (CKD vs. RD) a toto rozřazení nebylo obecně známo. Každý proband se účastnil bench-pressu, stahování kladky k hrudníku a leg-pressu, aby zhodnotil svůj maximální výkon.

Testování silového výkonu na výkon ve třech cvicích – bench-press, stahování kladky k hrudníku, leg-press bylo provedeno následovně: Subjekty prošly adekvátním zahřátím. Po dvou až čtyřech minutách odpočinku subjekty provedly maximální pokus každého cviku s jedním opakováním se správnou technikou. Pokud bylo zvedání/stlačování úspěšné, po

dalších dvou až čtyřech minutách odpočinku se zátěž zvýšila o 5–10 % a byl proveden pokus o další zvedání/stahování. Pokud subjekt neprovedl tah/tlak, po dvou až čtyřech minutách odpočinku se pokusil o tah/tlak s hmotností sníženou o 2,5–5 %. Nejlepší korektní výkon byl poté zaznamenán.

#### *Testování aerobního výkonu*

Testování aerobního výkonu bylo provedeno v rámci spiroergometrie na kole za použití analyzátoru dýchacích plynů (Quark CPET, Cosmed, USA). Tento analyzátor měří vydechovaný průtok vzduchu pomocí pneumotachu připojeného k náústku. Pneumotach vytváří pokles tlaku, který je přímo úměrný rychlosti vzduchu. Je připojen ke vzduchové trubici, která umožňuje probandovi volně dýchat. Jak se vzduch pohybuje dovnitř a ven z plic pacienta, proudění vzduchu vytváří malý pokles tlaku na obrazovce pneumotachu.

K pneumotachu je připojeno vzorkovací vedení, ze kterého je nepřetržitě čerpán vzduch do analyzátorů plynů O<sub>2</sub> a CO<sub>2</sub>. Před testováním byl pneumotach kalibrován šesti vzorky z 3litrové kalibrační pumpy. Analyzátoři plynu byly také před každým testem kalibrovány na pokojový vzduch a kalibrační plyny (15,21 % O<sub>2</sub> a 5,52 % CO<sub>2</sub>). Srdeční frekvence (HR) byla průběžně zaznamenávána během zátěže elektrokardiografií (Fukuda Denshi FX-8322 Cardimax ECG, Kalifornie, USA).

Před cvičením byli probandi instruováni, aby během cvičení udržovali kadenci pedálů mezi 70 a 90 otáčkami za minutu a aby udrželi výkon až do maximální únavy. Použili jsme modifikovaný cvičební krokový protokol 0,33 W.min<sup>-1</sup>, jak popsal (Gordon et al., 2012). Test byl ukončen, když proband nebyl schopen udržet kadenci šlapání 40 otáček/min.

Maximální spotřeba kyslíku byla hodnocena na základě dosažení následujících kritérií pro dosažení vita maxima: (1) plató ( $\Delta VO_2 < 50$  ml/min při  $VO_{2max}$  a nejbližším datovém bodě) ve  $VO_2$  při zvýšení externí práce, (2) poměr respirační výměny (RER), tj. poměr vyloučeného oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>) a přijatého kyslíku (O<sub>2</sub>) > 1,10 a (3) maximální tepová frekvence do 10 tepů/min odečteného od věkově predikovaného maxima (210 – věk). Všechny subjekty splnily první dvě kritéria.

Údaje o výměně plynů dech po dechu ze všech testů byly přeneseny do tabulkového procesoru (MS Excel 365) pro další analýzu. Kromě toho byly údaje z testů  $VO_{2max}$  časově zprůměrovány pomocí 10s intervalů, aby se zjistil výskyt kyslíkového plató.

#### **Dietní protokoly**

Probandi byli náhodně rozděleni elektronickým randomizačním systémem do skupiny s CKD nebo RD po dobu 8 týdnů. Subjekty absolvovaly před začátkem studie povinnou

dietetickou konzultaci s odborníkem na výživu, která poskytla podrobné pokyny k přesnému vedení záznamů o příjmu stravy. Všechna data záznamu potravin byla zadána a analyzována pomocí aplikace DietSystem (DietSystem App, DietSystem App, s.r.o., Česká republika).

### **Nízkosacharidová dieta – Cyklická ketogenní dieta**

Celkový příjem energie byl každému účastníkovi přidělen na základě jeho životního stylu (individuálně vypočítaný podle somatotypu, fyzické aktivity, druhu práce atd.) a byl snížen o 500 kcal za den. Jednotlivé fáze se skládaly z:

- 5denní nízkosacharidové fáze – poměr živin (sacharidy do 30 g; bílkoviny max 1,6 g/kg; tuky byly dopočteny v rámci celkového energetického příjmu) za účelem navození a udržení stavu nutriční ketózy;
- 2denní sacharidové fáze (víkendy): poměr živin (sacharidy 8–10 g/1 kg netukové tkáně, příjem 70 %; bílkoviny 15 %; tuky 15 %).

### **Redukční dieta**

Redukční dieta musela splňovat zásady racionální výživy. Poměr živin (sacharidy 55 %, tuky 30 %, bílkoviny 15 % z celkového energetického příjmu). Celkový kalorický příjem (individuálně vypočítaný podle somatotypu, fyzické aktivity, druhu práce atd.) byl snížen o 500 kcal za den.

Obě skupiny dostaly podrobné instrukce o přijatelných potravinách pro oba typy diet. Každý ze subjektů obdržel instrukce a 8týdenní jídelníček dle zásad konkrétní diety.

### **Pohybová aktivita**

#### *Rozvoj silových schopností*

Plán byl navržen tak, aby subjekt vyvinul maximální sílu v testovaném cviku a zapojených svazech. Týdně probíhaly vždy 3 odlišně zaměřené tréninky:

- Zaměřený na prsní svaly – bench-press;
- Zaměřený na svaly dolních končetin – leg-press;
- Zaměřený na zádové svaly – stahování kladky k hrudníku.

Jedna tréninková jednotka trvala přibližně 60 min. U každé tréninkové jednotky byla striktní pozornost věnována technice provedení a času pod napětím (TUT – time under tension). Každá tréninková jednotka byla prováděna s maximálním možným úsilím k dosažení maximálních výsledků. Předepsaná intenzita v podobě zátěže byla individualizována na základě vstupních měření. Technické provedení, doba pod napětím

a maximální úsilí musely být u všech probandů obdobné (maximální úsilí = maximální možná intenzita při dodržení technických parametrů a počtu opakování).

#### *Rozvoj vytrvalostních schopností*

Plán sestával z 30minutového běhu při konstantní tepové frekvenci (přibližně 70 % maximální TF nebo přibližně 130–140 tepů/minutu). Běh byl stejně jako silový trénink opakován 3× týdně.

#### *Dohled nad dodržováním tréninkových a dietních protokolů*

Celkové dodržování diety bylo jednou týdně kontrolováno odborníkem na výživu. Kromě toho byla adherence k CKD hodnocena měřeními ketonů v moči dvakrát denně (ráno po probuzení a večer před spaním s odstupem alespoň 2 hodin od posledního jídla) a měřeními krevního  $\beta$ -hydroxybutyrátu na konci studie.

Dodržování tréninku bylo sledováno prostřednictvím povinných kontrolních procedur v tělocvičně a také sport-testerem pro aerobní výkon (TomTom Runner Cardio, TomTom, Nizozemsko).

#### *Post-intervenční testování*

Postupy sběru závěrečných dat byly stejné jako postupy základního testování. Aby byla zajištěna spolehlivost, testování výkonu provedl stejný výzkumník jako na začátku. Kromě toho subjekty prováděly závěrečné testování ve stejnou dobu. Výsledky všech testů byly porovnány se základními hodnotami jednotlivce a poskytnuty subjektům po analýze dat.

### **Statistická analýza dat**

Statistická analýza byla provedena pomocí softwaru Sigma Stat (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Grafy byly nakresleny pomocí softwaru SigmaPlot 13.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Výsledky jsou vyjádřeny jako průměr  $\pm$  standardní odchylka (SD). K porovnání rozdílů tělesného složení (% tělesného tuku, hmotnost, BMI, tukuprostá tkáň a tuková hmota), biochemických a silových nebo aerobních výkonnostních parametrů mezi CKD a RD byla použita jednocestná analýza rozptylu (One-way ANOVA), ANOVA on Ranks, nepárový *t*-test nebo Mann-Whitney neparametrický test. K porovnání výsledků jednotlivých skupin po určených intervencích byl použit párový *t*-test nebo Wilcoxonův test, následované Holm-Sidakovým testem nebo Dunnovou metodou. Za statisticky významné byly považovány rozdíly, korelace a regresní analýzy s *p* menším než 0,05.

## 4 VÝSLEDKY

### 4.1 Vliv cyklické ketogenní redukční diety vs. nutričně vyvážené redukční diety na tělesné složení, sílu a vytrvalostní výkon u zdravých mladých mužů: randomizovaná kontrolovaná studie

Kysel, P., Haluzíková, D., Doležalová, R. P., Laňková, I., Lacinová, Z., Kasperová, B. J., Trnovská, J., Hrádková, V., Mráz, M., Vilius, Z., & Haluzík, M. (2020). *The Influence of Cyclical Ketogenic Reduction Diet vs. Nutritionally Balanced Reduction Diet on Body Composition, Strength, and Endurance Performance in Healthy Young Males: A Randomized Controlled Trial*. *Nutrients*, 12(9), 2832. <https://doi.org/10.3390/nu12092832>

**Souhrn:** (1) Úvod: Vliv ketogenní stravy na fyzickou zdatnost zůstává kontroverzní. Provedli jsme randomizovanou kontrolovanou studii, abychom porovnali účinek cyklické ketogenní redukční diety (CKD) s nutričně vyváženou redukční dietou (RD) na složení těla, svalovou sílu a vytrvalostní výkon. (2) Metody: 25 zdravých mladých mužů podstupujících pravidelný silový trénink kombinovaný s aerobním tréninkem bylo randomizováno do skupiny CKD (n = 13), nebo do skupiny RD (n = 12).

Složení těla, svalová síla a spiroergometrické parametry byly měřeny na začátku experimentu a po osmi týdnech intervence. (3) Výsledky: Jak CKD, tak RD snížily tělesnou hmotnost, tělesný tuk, tak i BMI. Tělesná hmotnost a obsah tělesné vody u CKD se významně snížily, u skupiny RD se tyto ukazatele nezměnily. Parametry svalové síly nebyly ovlivněny u CKD, zatímco v RD skupině se zvýšil výkon ve stahování kladky k hrudníku a leg-pressu. Podobně se ve skupině CKD nezměnil vytrvalostní výkon, zatímco ve skupině RD se maximální výkon a maximální spotřeba kyslíku zvýšily. (4) Závěry: Naše výsledky ukazují, že u zdravých mladých mužů podstupujících odporový a aerobní trénink došlo ke srovnatelnému poklesu hmotnosti u CKD i RD. Ve skupině RD se zlepšila jak svalová síla, tak byl i zaznamenán zlepšený vytrvalostní výkon v porovnání k nesignifikantnímu účinku u skupiny CKD. U skupiny CKD došlo rovněž k poklesu tukuprosté tělesné hmoty, zatímco u RD nikoli.

### 4.2 Různé účinky cyklické ketogenní vs. nutričně vyvážené redukční diety na sérové koncentrace myokinů u zdravých mladých mužů podstupujících kombinaci odporového/aerobního tréninku

Kysel, P., Haluzíková, D., Pleyerová, I., Řezníčková, K., Laňková, I., Lacinová, Z., Havrlantová, T., Mráz, M., Kasperová, B. J., Kovářová, V., Thieme, L., Trnovská, J., Svoboda, P., Hubáčková, S. Š., Vilius, Z., & Haluzík, M. (2023). *Different Effects of Cyclical Ketogenic vs. Nutritionally Balanced Reduction Diet on Serum Concentrations of Myokines in Healthy Young Males Undergoing Combined Resistance/Aerobic Training*. *Nutrients*, 15(7), 1720. <https://doi.org/10.3390/nu15071720>

**Souhrn:** Myokiny představují důležité regulátory svalového metabolismu. Naše studie se zaměřila na zkoumání účinků cyklické ketogenní redukční diety (CKD) vs. nutričně vyvážené redukční diety (RD) kombinované s pravidelným odporovým/aerobním tréninkem u zdravých mladých mužů na sérovou koncentraci myokinů a jejich potenciální roli ve změnách fyzické zdatnosti. Dvacet pět subjektů podstupujících pravidelný odporový/aerobní trénink bylo randomizováno do skupin s CKD (n = 13) nebo RD (n = 12). Antropometrické a spiroergometrické parametry, svalová síla, biochemické a sérové koncentrace myokinů a cytokinů byly hodnoceny na začátku a po 8 týdnů intervence. Obě diety snižovaly tělesnou hmotnost, tělesný tuk a BMI. Svalová síla a vytrvalostní výkon byl zlepšen pouze RD. Zvýšení musclinu (32,9 pg/ml vs. 74,5 pg/ml, p = 0,028) a snížené hladiny osteonektinu (562 pg/ml vs. 511 pg/ml, p = 0,023) byly pozorovány u RD, ale ne ve skupině CKD. Naproti tomu snížené hladiny FGF21 (181 pg/ml vs. 86,4 pg/ml, p = 0,003) byly zjištěny pouze ve skupině s CKD. Ostatní testované myokiny a cytokiny nebyly významně ovlivněny intervencí. Naše data naznačují, že změny systémového osteonektinu a hladiny musclinu by mohly přispět ke zlepšení svalové síly a vytrvalostního výkonu a částečně vysvětlit rozdílné účinky CKD a RD na fyzickou zdatnost.

### 4.3 Nízkosacharidové režimy a jejich vliv na sportovní výkon a tělesné složení

*Kysel, P., Vilikus, Z., & Daďová, K. (2019). Nízkosacharidové režimy a jejich vliv na sportovní výkon a tělesné složení. Diagnostika a poradenství v pomáhajících profesích, 19, 5-17. ISSN 2570-7612.*

**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 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 highfat 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

#### **4.4 Vliv triacylglycerolů o středně dlouhém řetězci (MCT) na vytrvalostní sportovní výkon**

*Vilikus, Z., Majorová, S., Kysel, P., & Švimberský, J. (2018). Vliv triacylglycerolů o středně dlouhém řetězci (MCT) na vytrvalostní sportovní výkon. Diagnostika a poradenství v pomáhajících profesích, 2(1), 43-50. ISSN 2570-7612.*

**Úvod:** Triglyceridům o středně dlouhém řetězci (Medium-chain triglycerides, dále jen MCT) jsou připisovány příznivé účinky na lidský organizmus: zlepšení lipidového spektra zvýšením HDL- a poklesem LDL-cholesterolu, prevence kardiovaskulárních onemocnění, zvýšení odolnosti proti infekčním nemocem, urychlení bazálního metabolismu, zlepšení trávení u chronických střevních zánětů, neuroprotektivní působení u chronických neurodegenerativních onemocnění, antikancerogenní účinek, úbytek tělesného tuku, zlepšení vytrvalostního sportovního výkonu a mnohé další.

**Cíl:** Cílem našeho přehledového článku bylo shrnout a objektivně zhodnotit vliv suplementace MCT na sportovní výkon vytrvalostního charakteru na základě nejnovějších poznatků odborné literatury.

**Metoda:** Použili jsme vyhledavače odborných prací Google Scholar, Web of Science a Scopus. Na základě klíčových slov jsme vyhledávali práce od roku 1990 do současnosti. Vybírali jsme jen dvojitě zaslepené studie s kontrolní skupinou a placebem.

**Výsledky:** Nalezli jsme celkem 14 prací požadované kvality a 1 přehledový článek typu review. Do dnešního dne pouze 1 studie ze 14 uvádí zlepšení vytrvalostního výkonu ve smyslu delšího času do vyčerpání. Autoři 4 studií naopak zjistili zhoršení vytrvalostního výkonu po aplikaci MCT.

**Závěry:** Žádná z dostupných vědeckých studií neprokázala po aplikaci MCT zlepšení vytrvalostního sportovního výkonu. Pokud MCT vede k pocitu zlepšení výkonu, pak jde pouze o placebo efekt.



## 5 DISKUSE

Naše výsledky ukazují, že u zdravých mladých mužů podstupujících rezistenční a aerobní trénink lze dosáhnout cyklickou ketogenní dietou a redukční dietou srovnatelné redukce hmotnosti. Ve skupině RD byla zaznamenána zlepšená svalová síla a vytrvalostní výkon ve srovnání s neutrálním vlivem CKD na tyto parametry. Kromě toho CKD mírně snížila tukuprostou tělesnou hmotu. Naše studie ukazuje, že cyklická ketogenní dieta účinně redukuje hmotnost organismu, ale není účinnou strategií pro zvýšení aerobního nebo silového výkonu u zdravých mladých mužů. Na rozdíl od osob na CKD, u nichž nebylo zjištěno žádné zlepšení svalové síly a vytrvalostního výkonu, mohou změny systémových hladin osteonektinu a musclinu pomoci vysvětlit zlepšení svalové síly a vytrvalostního výkonu u zdravých mladých mužů na RD, kteří se pravidelně věnují silovému a aerobnímu tréninku.

- H1: Předpokládáme, že tréninkový plán aplikovaný u probandů dodržujících cyklickou ketogenní dietu (dále jen CKD) **sníží procento tělesného tuku** více než u probandů dodržujících redukční dietu (dále jen RD).

Tabulka 1 *Antropometrické ukazatele testovaných osob s CKD nebo RD před intervencí (V1) a po 8 týdnech diety a cvičebního programu (V2).*

Parametry	CKD		RD		ANOVA
	V1 – před	V2 – po	V1 – před	V2 – po	
Počet (n)	13	13	12	12	NS
Věk (roky)	23 ± 5	NA	24 ± 4	NA	NS
Výška (cm)	181 ± 6	NA	186 ± 10	NA	NS
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	26,1 ± 3,7	24,6 ± 3,3*	26,9 ± 4,3	25,5 ± 4,2*	NS
Hmotnost (kg)	85,6 ± 13,4	81,0 ± 12,0*	93,0 ± 17,5	88,5 ± 17,4*	NS
Svaly (kg)	41,8 ± 4,5	40,0 ± 4,6*	43,5 ± 5,3	43,1 ± 5,3	NS
Tuk (kg)	12,9 ± 6,9	11,0 ± 5,8*	17,6 ± 9,8	13,6 ± 9,0*	NS
<b>Tuk (%)</b>	<b>14,5 ± 5,5</b>	<b>13,0 ± 5,1*</b>	<b>17,9 ± 6,9</b>	<b>14,2 ± 6,9*</b>	<b>NS</b>
CTV (kg)	53,2 ± 5,6	51,0 ± 5,6*	55,1 ± 6,4	54,8 ± 6,5	NS
CK (μkat/l)	4,40 ± 2,81	2,81 ± 1,21	3,80 ± 2,03	3,03 ± 2,03	NS
LDH (μkat/l)	2,68 ± 0,60	2,47 ± 0,42	2,74 ± 0,44	2,55 ± 0,33	NS
β -OH-butyryát (mmol/l)	0,2 ± 0,07	0,38 ± 0,25*	0,24 ± 0,12	0,12 ± 0,04	NS

Data jsou průměry ± SD. Statistická významnost je z jednosměrné analýzy rozptylu (ANOVA) a párového t-testu (V1 – výchozí hodnoty vs. V2 – hodnoty po 8 týdnech diety, \* p < 0,05 V2 vs. V1); BMI: index tělesné hmotnosti; CTV: celotělová voda; CK: kreatinkináza; LDH: laktát dehydrogenáza; β-OH-butyryát: β-hydroxy-butyryát; NS: není významné. NA - není k dispozici.

Jak CKD, tak RD snížily tělesnou hmotnost. Srovnatelné výsledky obou dietních strategií nacházíme u množství tuku a jeho procentuálního vyjádření. Stejně tak index tělesné hmotnosti poklesl shodně v rámci obou dietních přístupů (Tabulka 1).

Tréninkový plán aplikovaný u probandů dodržujících CKD tedy **nesnižuje procento tělesného tuku více** než u probandů dodržujících RD. Hypotéza byla **vyvrácena**.

Přes srovnatelný vliv obou diet na tělesnou hmotnost jsme zaznamenali rozdíly dietních protokolů v jejich vlivu na složení těla. Ve skupině CKD byl pokles tělesné hmotnosti způsoben kombinací snížení tělesného tuku, tělesné vody a mírného, ale významného poklesu svalové hmoty. Naopak u probandů s RD nebyly významně ovlivněny ani tělesná voda, ani aktivní tělesná hmota a snížení hmotnosti bylo způsobeno ztrátou tělesného tuku. Dosáhnout optimalizace tělesného složení, případně řešení nadváhy, potažmo obezity lze především odlišným kalorickým objemem či změnou kompozice makronutrientů.

- H2: Předpokládáme, že tréninkový plán aplikovaný u probandů dodržujících CKD **zlepší kardiorespirační zdatnost více** než u probandů dodržujících RD.

*Tabulka 2 Účinek cyklické ketogenní diety CKD a energeticky vyvážené redukční diety RD na ukazatele aerobního výkonu*

Parametry	CKD		RD		ANOVA
	V1 – před	V2 – po	V1 – před	V2 – po	
TF <sub>max</sub> (tep/min)	180,9 ± 10,2	178,0 ± 11,3	178,9 ± 11,8	179,0 ± 10,2	NS
RER <sub>max</sub>	1,27 ± 0,08	1,2 ± 0,12*	1,21 ± 0,04	1,16 ± 0,10	0,04
W <sub>max</sub> (W)	297,0 ± 48,5	298,0 ± 54,3	282,1 ± 34,3	296,0 ± 35,9*	NS
VE <sub>max</sub> (l/min)	121,0 ± 28,5	136,0 ± 30,0	113,2 ± 20,3	124,0 ± 21,3	NS
VO <sub>2max</sub> /kg (ml/min)	40,2 ± 4,1	43,0 ± 5,4	35,2 ± 6,0•	38,2 ± 6,3*	0,007
VO <sub>2max</sub> /TF (ml/min)	19,0 ± 3,3	20,0 ± 3,4	18,0 ± 1,9	18,9 ± 1,6	NS
W <sub>max</sub> /kg (W)	3,53 ± 0,42	3,6 ± 0,39	3,13 ± 0,52	3,36 ± 0,59*	NS
W <sub>170</sub> /kg (W)	3,27 ± 0,65	3,4 ± 0,37	2,8 ± 0,74	3,06 ± 0,83*	NS

Data jsou průměry ± SD. Statistická významnost je z jednosměrné analýzy rozptylu (ANOVA) a párového t-testu (V1 – výchozí hodnoty vs. V2 – hodnoty po 8 týdnech diety, \* p < 0,05 V2 vs. V1); TF<sub>max</sub>: maximální tepová frekvence; R<sub>max</sub>: poměr respirační výměny plynů; W<sub>max</sub>: maximální výkon; VE<sub>max</sub>: maximální plicní ventilace; VO<sub>2max</sub>/kg: maximální spotřeba kyslíku; VO<sub>2max</sub>/TF: maximální tepový kyslík; W<sub>max</sub>/kg: maximální výkon na 1 kg tělesné hmotnosti; W<sub>170</sub>/kg: výkon při 170 tepech/min; NS: není významné. NA – není k dispozici.

Respirační kvocient se snížil u subjektů s CKD, zatímco u subjektů s RD se nezměnil. Žádný z dalších spiroergometrických parametrů nebyl ve skupině s CKD významně ovlivněn. Tréninkový plán aplikovaný u probandů dodržujících CKD **nezlepšuje kardiorespirační zdatnost více** než u probandů dodržujících RD. Hypotéza byla **vyvrácena**.

Naproti tomu ve skupině s RD se po 8 týdnech intervence zvýšil maximální dosažený výkon, maximální spotřeba kyslíku vztažená na hmotnost jedince, maximální dosažený výkon vztažený na hmotnost jedince a fyzická pracovní kapacita při tepové frekvenci 170/min (Tabulka 2).

- H3: Předpokládáme, že tréninkový plán aplikovaný u probandů dodržujících CKD **zachová více svalové hmoty** v porovnání se skupinou dodržující RD.

Tabulka 3 *Antropometrické ukazatele testovaných osob s CKD nebo RD před intervencí (V1) a po 8 týdnech diety a cvičebního programu (V2).*

Parametry	CKD		RD		ANOVA
	V1 – před	V2 – po	V1 – před	V2 – po	
Počet (n)	13	13	12	12	NS
Věk (roky)	23 ± 5	NA	24 ± 4	NA	NS
Výška (cm)	181 ± 6	NA	186 ± 10	NA	NS
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	26,1 ± 3,7	24,6 ± 3,3*	26,9 ± 4,3	25,5 ± 4,2*	NS
Hmotnost (kg)	85,6 ± 13,4	81,0 ± 12,0*	93,0 ± 17,5	88,5 ± 17,4*	NS
<b>Svaly (kg)</b>	<b>41,8 ± 4,5</b>	<b>40,0 ± 4,6*</b>	<b>43,5 ± 5,3</b>	<b>43,1 ± 5,3</b>	<b>NS</b>
Tuk (kg)	12,9 ± 6,9	11,0 ± 5,8*	17,6 ± 9,8	13,6 ± 9,0*	NS
Tuku (%)	14,5 ± 5,5	13,0 ± 5,1*	17,9 ± 6,9	14,2 ± 6,9*	NS
CTV (kg)	53,2 ± 5,6	51,0 ± 5,6*	55,1 ± 6,4	54,8 ± 6,5	NS
CK (μkat/l)	4,40 ± 2,81	2,81 ± 1,21	3,80 ± 2,03	3,03 ± 2,03	NS
LDH (μkat/l)	2,68 ± 0,60	2,47 ± 0,42	2,74 ± 0,44	2,55 ± 0,33	NS
β -OH-butyryát (mmol/l)	0,2 ± 0,07	0,38 ± 0,25*	0,24 ± 0,12	0,12 ± 0,04	NS

Data jsou průměry ± SD. Statistická významnost je z jednosměrné analýzy rozptylu (ANOVA) a párového t-testu (V1 – výchozí hodnoty vs. V2 – hodnoty po 8 týdnech diety, \* p < 0,05 V2 vs. V1); BMI: index tělesné hmotnosti; CTV: celotělová voda; CK: kreatinínáza; LDH: laktát dehydrogenáza; β-OH-butyryát: β-hydroxy-butyryát; NS: není významné. NA – není k dispozici.

Objem svalové tkáně a objem tělesné vody byly významně sníženy CKD, zatímco RD nebyly ovlivněny (Tabulka 3). Tréninkový plán aplikovaný u probandů dodržujících CKD **nezachovává více svalové hmoty** v porovnání se skupinou dodržující RD. Hypotéza byla **vyvrácena**.

- H4: Předpokládáme, že tréninkový plán aplikovaný u probandů dodržujících CKD **zvýší maximální silové výkony** u skupiny s CKD více než u skupiny dodržující RD.

Tabulka 4 Účinek cyklické ketogenní diety CKD a energeticky vyvážené redukční diety RD na silové ukazatele

Silové ukazatele	CKD		RD		ANOVA
	V1 – před	V2 – po	V1 – před	V2 – po	
Bench-press	90,0 ± 24,2	90,0 ± 23,7	84,2 ± 21,8	87,7 ± 20,1	NS
Stahování kladky	74,2 ± 15,7	76,0 ± 15,0	70,4 ± 14,8	75,2 ± 17,1*	NS
Leg-press	138 ± 21,1	142 ± 16,3	127,8 ± 22,0	140 ± 22,8*	NS

Data jsou průměry ± SD. Statistická významnost je z jednosměrné analýzy rozptylu (ANOVA) a párového t-testu (V1 – výchozí hodnoty vs. V2 – hodnoty po 8 týdnech diety, \* p < 0,05 V2 vs. V1); NS: není významné. NA – není k dispozici.

Parametry svalové síly prsních svalů, svalů zad a svalů dolních končetin byly hodnoceny jako maximální váha zvednutá během bench-pressu, stahování kladky a leg-pressu. CKD neovlivnilo žádný z těchto parametrů. Naopak u probandů na RD výkony stahování kladky a leg-press významně vzrostly (Tabulka 4).

Tréninkový plán aplikovaný u probandů dodržujících CKD **nezvyšuje maximální silové výkony** u skupiny s CKD více než u skupiny dodržující RD. Hypotéza byla **vyvrácena**.

U sportů, kde je energetická potřeba pokryta makroergními fosfáty či oxidací glukózy (silový sport, sprint), je význam zvýšené oxidace tuku jakožto primárního energetického paliva neopodstatněný.

- H5: Předpokládáme, že tréninkový plán aplikovaný u probandů dodržujících CKD **změní hladiny některých vybraných cytokinů** příznivěji než u skupiny dodržující RD a že některé cytokiny se tak mohou být prediktorem změn tělesného složení a/nebo silového či vytrvalostního sportovního výkonu.

Tabulka 5 Změny sérových myokinů, adipokinů a cytokinů u skupiny CKD vs. RD při výchozích hodnotách (V1) a po 8 týdnech diety a pohybového režimu (V2).

Parametry	CKD		RD	
	V1 – před	V2 – po	V1 – před	V2 – po
Oncostatin M (pg/ml)	8,26 (5,16–10,6)	8,75 (5,75–11,2)	10,5 (8,63–12,5)	10,9 (9,35–17,9)
Musclin (pg/ml)	48,6 (26,8–80)	55,8 (36,5–83,2)	32,9 (12,2–85,8)	74,5 (34,7–95,4)*
Osteonectin (pg/ml)	630 (489–701)	596 (529–803)	562 (490–665)	511 (484–568)* <sup>Δ</sup>
BDNF (ng/ml)	11,9 (10,9–13,3)	12,9 (10,5–13,5)	11,6 (10,1–13,5)	11,9 (11,2–13)
FABP3 (ng/ml)	1,01 (0,87–1,34)	1,06 (0,87–1,55)	1,27 (0,79–1,98)	1,17 (0,88–1,97)
FSTL1 (ng/ml)	2,75 (1,1–4,89)	2,95 (2,07–4,84)	3,64 (1,58–7,09)	3,79 (1,63–7,29)
FGF19 (pg/ml)	194 (134–327)	207 (119–292)	165 (120–210)	133 (120–222)
CRP (mg/l)	1,02 (0,3–2,5)	0,85 (0,19–2,34)	0,69 (0,28–1,6)	0,71 (0,16–1,29)
FGF21 (pg/ml)	181 (112–709)	86,4 (45,1–571)*	272 (176–1138)	193 (144–1142)
Fractalkin (pg/ml)	241 (213–315)	208 (183–316)	211 (191–247)	222 (202–300)
IFN $\gamma$ (pg/ml)	17,6 $\pm$ 8,2	16,5 $\pm$ 8,0	16,3 $\pm$ 5,1	17,5 $\pm$ 5,1
IL10 (pg/ml)	11,5 $\pm$ 6,1	10,5 $\pm$ 6,5	12,1 $\pm$ 8,4	11,6 $\pm$ 7,2
IL23 (pg/ml)	265 $\pm$ 134	246 $\pm$ 126	272 $\pm$ 107	284 $\pm$ 122
IL6 (pg/ml)	3,46 (1,16–5,82)	2,72 (1,02–4,13)	2,13 (1,01–4,24)	2,68 (1,44–5,52)
IL8 (pg/ml)	9,8 (8–20,6)	11,4 (7,5–18,4)	9,7 (7,4–11,1)	11,2 (8,3–22,3)
TNF $\alpha$ (pg/ml)	8,85 (6,93–12,19)	9,14 (7,32–12,74)	9,07 (7,46–10,41)	11,4 (6,9–16,6)

Normálně distribuovaná data jsou uvedena jako průměr  $\pm$  SD; neparametrické údaje jsou vyjádřeny jako medián (mezikvartilní rozmezí). Statistická významnost vnitroskupinových rozdílů \*  $p < 0,05$  V1 vs. V2; je z t-testu párových vzorků nebo Wilcoxonova znaménkového rank testu (V1 – výchozí testování vs. V2 – testování po 8 týdnech intervence). Statistická významnost pro rozdíly mezi skupinami je významnost <sup>Δ</sup>  $p < 0,05$  V2 CKD vs. V2 RD z dvoucestného opakovaného měření ANOVA se Sidakovým post hoc testem. BDNF: neurotrofín faktor odvozený z mozku; FABP3: protein vázící mastné kyseliny 3; FSTL1: Follistatinu příbuzný protein 1; FGF19: fibroblastový růstový faktor 19; CRP: c-reaktivní protein; FGF21: fibroblastový růstový faktor 21; IFN $\gamma$ : interferon gama; IL10/23/6/8: interleukin 10/23/6/8; TNF $\alpha$ : tumor nekrotizující faktor  $\alpha$ .

Před dietní a pohybovou intervencí (V1) nebyly nalezeny žádné rozdíly v sérových koncentracích myokinů mezi skupinami CKD a RD. Po dokončení intervence (V2) byly hladiny osteonektinu v séru významně nižší ve skupině RD než ve skupině CKD. Naopak zvýšené hladiny musclinu byly po intervenci (V2) zjištěny u subjektů ze skupiny RD ve srovnání s výchozím stavem (V1), zatímco ve skupině CKD se neprojevily žádné podobné změny. Na rozdíl od toho se hladina FGF21 významně snížila po intervenci (V2) ve skupině CKD, zatímco zůstala neměnná ve skupině RD. Ostatní parametry nevykázaly žádné významné změny (Tabulka 5).

Tréninkový plán a vybraný dietní plán CKD nezvyšuje příznivěji hladiny vybraných cytokinů. Tím podpoří zhoršený pohybový výkon ve skupině CKD. Hypotéza byla vyvrácena.

## 6 ZÁVĚRY

Výzkumy v oblasti aplikace nízkosacharidových diet (Burke et al., 2017; Mujika 2019; Sherrier & Li, 2019; Kysel et al., 2020), ať už ve formě krátkého období před výkonem, či ve formě dlouhodobé stravovací strategie, nevedou ve většině případů ke zlepšení vytrvalostního výkonu ani ke snížení spotřeby svalového glykogenu. Na druhou stranu jako strategie mající za cíl redukci tuku jsou nízkosacharidové diety účinné především v prvních 4 týdnech (Naude et al., 2014; Noakes & Windt, 2017; Anton, 2017). A konečně, je-li ketogenní dieta nastavena dle chuti sportovce a ten není omezen energetickou hodnotou stravy, pak přestože se celková tělesná hmotnost a objem svalové hmoty snižuje, nedochází u vzpěračů a v powerliftingu ke snížení výkonnosti (Greene et al., 2018). Na základě našeho měření jsme zjistili:

- I. Parametry svalové síly nebyly ovlivněny u CKD, zatímco v RD skupině se zvýšil vzpěračský výkon ve stahování kladky k hrudníku a leg-pressu. **Zlepšený silový výkon** může být způsoben snížením tělesné hmotnosti a/nebo zlepšením tělesného složení ve prospěch tukuprosté tkáně (Greene et al., 2018). **Zhoršený či indiferentní silový výkon** může být způsoben nedostatkem příjmu sacharidů a je spojen spíše s tréninkovým protokolem s tréninkovým objemem 8–12 opakování (Wilson et al., 2017; Kephart et al., 2018).
- II. Ve skupině CKD se nezměnil vytrvalostní výkon, zatímco ve skupině RD se maximální výkon a maximální spotřeba kyslíku zvýšily. Ve skupině RD se zlepšil vytrvalostní výkon v porovnání s nesignifikantním účinkem u skupiny CKD. Diety s omezeným přísunem sacharidů a naopak s vysokým příjmem tuků **nevedly ke zlepšení vytrvalostního výkonu** (Zinn et al., 2017). **Zlepšený vytrvalostní výkon** se projevuje spíše u vytrvalostních závodníků s velmi dlouhým trváním výkonu, kde se ukazuje vyšší efektivita utilizace mastných kyselin v rámci aerobního metabolismu (McSwiney et al., 2018).
- III. Jak CKD, tak RD snížily tělesnou hmotnost, tělesný tuk i BMI. Tělesná hmotnost a obsah tělesné vody se u CKD významně snížily, u skupiny RD se tyto ukazatele nezměnily. U skupiny CKD došlo rovněž k poklesu tukuprosté tělesné hmoty, zatímco u RD nikoli. Diety s omezeným přísunem sacharidů, ale naopak s vysokým příjmem tuků **vedly k poklesu tělesné hmotnosti a k poklesu % tělesného tuku**, pokud intervence trvala déle než 3–4 týdny. V případě, že

intervence trvala déle než 6 měsíců, byly výsledky srovnatelné s konvenční redukční dietou (Foster et al., 2003; Samaha et al., 2003; Anton, 2017).

- IV. Naše výsledky naznačují, že změny systémových hladin osteonektinu a musclinu mohly přispět ke zlepšení svalové síly a vytrvalostního výkonu u zdravých mladých mužů na RD podstupujících pravidelný silový a aerobní trénink ve srovnání se subjekty užívajícími CKD, u nichž nebylo zjištěno žádné zlepšení svalové síly ani vytrvalostního výkonu. Částečně by tak mohly vysvětlit rozdílné účinky CKD a RD na fyzickou zdatnost. Ostatní testované myokiny a cytokiny nebyly naší intervencí významně ovlivněny.

Význam této práce spatřujeme především v potvrzení skutečnosti, že ketogenní dieta nepřispívá ke zlepšení silového ani vytrvalostního výkonu. Shrňme-li dosud publikované studie, které se vlivem omezení sacharidů ve stravě u sportovců zabývají, lze obecně říci, že:

- I. Strategie přiměřeného příjmu sacharidů je v určitém sportu a zatížení obvykle výhodnější než významné omezení sacharidů. U studií uvádějících zlepšení výkonu u sportovců s ketodietou bylo většinou příčinou dodatečné dodání sacharidů, takže KD posloužila spíše jako první fáze sacharidové superkompenzace. Dokonalou přípravou na soutěž pro vytrvalostního nebo ultravytrvalostního sportovce (Burke & Kiens, 2006) se zdá být kombinace dietních strategií formou zvýšení dostupnosti sacharidů po ketodietě s následným obnovením obsahu svalového glykogenu, s jedním dnem odpočinku a vysokým příjmem sacharidů, neboť současně maximalizuje kapacitu pro oxidaci tuků během submaximální zátěže a obnovuje zásoby sacharidů pro intermitentní sprinty.
- II. Současná dostupná data ukazují, že nízkosacharidové diety a ketodiety výrazně nezlepšují ani nezhoršují vytrvalostní nebo silový výkon. Je zde však trend ke zlepšení tělesného složení (relativně vyšší procento svalové hmoty), jež by mohlo být přínosem pro sporty, v nichž je poměr síly a hmotnosti sportovce významným určujícím faktorem výsledku (Kaspar et al., 2019; Paoli et al., 2012; Zinn et al., 2017; Heatherly et al., 2018; Greene et al., 2018). Nízkosacharidové diety a ketodiety tak mohou být prospěšné především ve sportech s váhovými kategoriemi a nutností dodržení váhových limitů (bojové sporty, gymnastika, vzpírání, silový trojboj aj.).
- III. Napříč studii se ukazuje, že KD bez kalorického omezení, ať už ve formě krátkého období před výkonem, či ve formě dlouhodobé stravovací strategie, nemá pozitivní vliv na vytrvalostní výkon, její vliv na výkon není buď žádný, nebo může

být i negativní ve srovnání s běžnou dietou. Výjimkou může být vytrvalostní výkon s ultradlouhým trváním, kde se zřejmě uplatní vyšší efektivita utilizace mastných kyselin a ketolátek v rámci submaximálního aerobního metabolismu. Zhorší se ale sprinterská schopnost zařazená během vytrvalostního závodu (cyklistické prémie apod.) nebo v závěrečném spurtu, a to kvůli omezené dostupnosti sacharidů. Tuto skutečnost podporuje studie Havemanna et al. (2006), kteří zjistili, že celkový výkon v časovce na 100 km se mezi dietami nelišil; avšak u KD skupiny ve srovnání s vysokosacharidovou skupinou došlo k poklesu výkonů v simulovaném závodu v několika zařazených sprintech na 1 km (s intenzitou 90 %  $VO_{2max}$ ). Strategie KD zvýšila oxidaci tuků, ale snížila výkonnost ve sprintu s vysokou intenzitou, pravděpodobně zvýšenou aktivací sympatiku nebo změněnou kontraktilitou jako následkem metabolické acidózy.

- IV. Cleggová (2010) ve své review o účincích MCT (Medium-Chain Triglycerides) dospěla k závěru, že MCT používané za účelem vyvolání ergogenního účinku ketózy nemají žádný pozitivní vliv na sportovní výkon, ale mohou mít příznivý vliv na tělesné složení.
- V. U vytrvalců se přibližně 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 však potvrdila, že zvýšená tuková oxidace nepokryje u vytrvalců ani u silových sportovců energetickou potřebu a vlivem nedostatečné konzumace sacharidů dojde k poklesu výkonnosti (Helge et al., 1996; Webster et al., 2018; Havemann et al., 2006).
- VI. Při poklesu sportovního výkonu vlivem vysokotukových diet hraje negativní roli (kromě nízké glykémie) také pokles anabolického efektu inzulínu, nedostatečný příjem bílkovin a často i zažívací potíže z intolerance nadměry tuku (Jeukendrup et al., 1996).
- VII. Existují důkazy o potenciálně pozitivním přínosu ketodiet na zdraví člověka. Kromě redukce tělesné hmotnosti (Samaha et al., 2003), zlepšení metabolických poruch (diabetes 2. typu) (Goday et al., 2016), snížení rizikových faktorů kardiovaskulárních chorob (Nordmann et al., 2006), příznivého ovlivnění některých neurologických poruch (Vanitallie et al., 2005) nebo i některých typů



rakoviny (Ho et al., 2011) může KD příznivě ovlivnit mitochondriální biogenezi a mitochondriální DNA (Garcia-Roves et al., 2007).

- VIII. Potenciálně však při KD hrozí i některá zdravotní rizika: vznik jaterní steatózy (Browning et al., 2011), porucha metabolismu sacharidů (de Koning et al., 2011), dyslipidémie (Dashti et al., 2006), deficit mikroživin (Calton et al., 2010), poruchy metabolismu kostních minerálů (Wu et al., 2017) či mitochondriální dysfunkce navzdory podpoře mitochondriální biogeneze (Lauritzen et al., 2016).

## 7 POUŽITÁ LITERATURA

1. Anton, S., Hida, A., Heekin, K., et al. (2017). Effects of Popular Diets without Specific Calorie Targets on Weight Loss Outcomes: Systematic Review of Findings from Clinical Trials. *Nutrients*, 9(8). <https://doi.org/10.3390/nu9080822>
2. Atakan, M. M., Koşar, Ş. N., Güzel, Y., Tin, H. T., & Yan, X. (2021). The Role of Exercise, Diet, and Cytokines in Preventing Obesity and Improving Adipose Tissue. *Nutrients*, 13(5). <https://doi.org/10.3390/nu13051459>
3. Browning, J. D., Baker, J. A., Rogers, T., Davis, J., Satapati, S., & Burgess, S. C. (2011). Short-term weight loss and hepatic triglyceride reduction: evidence of a metabolic advantage with dietary carbohydrate restriction. *The American journal of clinical nutrition*, 93(5), 1048–1052. <https://doi.org/10.3945/ajcn.110.007674>
4. Burke, L. M., Ross, M. L., Garvican-Lewis, L. A., et al. (2017). Low carbohydrate, high fat diet impairs exercise economy and negates the performance benefit from intensified training in elite race walkers. *The Journal of Physiology*, 595(9), 2785-2807. <https://doi.org/10.1113/JP273230>
5. Burke, L. M., & Kiens, B. (2006). "Fat adaptation" for athletic performance: the nail in the coffin?. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.:1985)*, 100(1), 7–8. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01238.2005>
6. Calton J. B. (2010). Prevalence of micronutrient deficiency in popular diet plans. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 7, 24. <https://doi.org/10.1186/1550-2783-7-24>
7. Clegg M. E. (2010). Medium-chain triglycerides are advantageous in promoting weight loss although not beneficial to exercise performance. *International journal of food sciences and nutrition*, 61(7), 653–679. <https://doi.org/10.3109/09637481003702114>
8. Dashti, H. M., Al-Zaid, N. S., Mathew, T. C., Al-Mousawi, M., Talib, H., Asfar, S. K., & Behbahani, A. I. (2006). Long term effects of ketogenic diet in obese subjects with high cholesterol level. *Molecular and cellular biochemistry*, 286(1-2), 1–9. <https://doi.org/10.1007/s11010-005-9001-x>
9. de Koning, L., Fung, T. T., Liao, X., Chiuve, S. E., Rimm, E. B., Willett, W. C., Spiegelman, D., & Hu, F. B. (2011). Low-carbohydrate diet scores and risk of type 2 diabetes in men. *The American journal of clinical nutrition*, 93(4), 844–850. <https://doi.org/10.3945/ajcn.110.004333>
10. Egan, B., & Zierath, J. R. (2013). Exercise Metabolism and the Molecular Regulation of Skeletal Muscle Adaptation. *Cell Metabolism*, 17(2), 162-184. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2012.12.012>
11. Evans, M., Cogan, K. E., & Egan, B. (2017). Metabolism of ketone bodies during exercise and training: physiological basis for exogenous supplementation. *The Journal of Physiology*, 595(9), 2857-2871. <https://doi.org/10.1113/JP273185>
12. Foster, G. D., Wyatt, H. R., Hill, J. O., et al. (2003). A Randomized Trial of a Low-Carbohydrate Diet for Obesity. *New England Journal of Medicine*, 348(21), 2082-2090. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa022207>
13. Garcia-Roves, P., Huss, J. M., Han, D. H., Hancock, C. R., Iglesias-Gutierrez, E., Chen, M., & Holloszy, J. O. (2007). Raising plasma fatty acid concentration induces increased biogenesis of mitochondria in skeletal muscle. *Proceedings of the National Academy of*

*Sciences of the United States of America*, 104(25), 10709–10713. <https://doi.org/10.1073/pnas.0704024104>

14. Goday, A., Bellido, D., Sajoux, I., Crujeiras, A. B., Burguera, B., García-Luna, P. P., Oleaga, A., Moreno, B., & Casanueva, F. F. (2016). Short-term safety, tolerability and efficacy of a very low-calorie-ketogenic diet interventional weight loss program versus hypocaloric diet in patients with type 2 diabetes mellitus. *Nutrition & diabetes*, 6(9), e230. <https://doi.org/10.1038/nutd.2016.36>
15. Gordon, D., Schaitel, K., Pennefather, A., Gernigon, M., Keiller, D., & Barnes, R. (2012). The incidence of plateau at VO<sub>2</sub>(max) is affected by a bout of prior-priming exercise. *Clin. Physiol. Funct. Imaging*, 32, 39-44.
16. Greene, D. A., Varley, B. J., Hartwig, T. B., Chapman, P., & Rigney, M. (2018). A Low-Carbohydrate Ketogenic Diet Reduces Body Mass Without Compromising Performance in Powerlifting and Olympic Weightlifting Athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(12), 3373-3382. <https://doi:10.1519/JSC.0000000000002904>
17. Guldstrand, M. C., & Simberg, C. L. (2007). High-fat diets: healthy or unhealthy? *Clinical Science*, 113(10), 397-399. <https://doi:10.1042/CS20070263>
18. Havemann, L., West, S. J., Goedecke, J. H., Macdonald, I. A., St Clair Gibson, A., Noakes, T. D., & Lambert, E. V. (2006). Fat adaptation followed by carbohydrate loading compromises high-intensity sprint performance. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 100(1), 194–202. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00813.2005>
19. Heatherly, A. J., Killen, L. G., Smith, A. F., Waldman, H. S., Seltsmann, C. L., Hollingsworth, A., & O'Neal, E. K. (2018). Effects of Ad libitum Low-Carbohydrate High-Fat Dieting in Middle-Age Male Runners. *Medicine and science in sports and exercise*, 50(3), 570–579. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001477>
20. Helge, J. W., Richter, E. A., & Kiens, B. (1996). Interaction of training and diet on metabolism and endurance during exercise in man. *The Journal of physiology*, 492 ( Pt 1)(Pt 1), 293–306. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1996.sp021309>
21. Ho, V. W., Leung, K., Hsu, A., Luk, B., Lai, J., Shen, S. Y., Minchinton, A. I., Waterhouse, D., Bally, M. B., Lin, W., Nelson, B. H., Sly, L. M., & Krystal, G. (2011). A low carbohydrate, high protein diet slows tumor growth and prevents cancer initiation. *Cancer research*, 71(13), 4484–4493. <https://doi.org/10.1158/0008-5472.CAN-10-3973>
22. Jensen, M. D., Ryan, D. H., Apovian, C. M., et al. (2014). 2013 AHA/ACC/TOS Guideline for the Management of Overweight and Obesity in Adults. *Circulation*, 129(25 suppl 2), S102-S138. <https://doi:10.1161/01.cir.0000437739.71477.ee>
23. Jeukendrup, A. E., Saris, W. H., Brouns, F., Halliday, D., & Wagenmakers, J. M. (1996). Effects of carbohydrate (CHO) and fat supplementation on CHO metabolism during prolonged exercise. *Metabolism: clinical and experimental*, 45(7), 915–921. [https://doi.org/10.1016/s0026-0495\(96\)90169-9](https://doi.org/10.1016/s0026-0495(96)90169-9)
24. Kaspar, M. B., Austin, K., Huecker, M., & Sarav, M. (2019). Ketogenic Diet: from the Historical Records to Use in Elite Athletes. *Current Nutrition Reports*, 8(4), 340-346. <https://doi:10.1007/s13668-019-00294-0>
25. Kephart, W., Pledge, C., Roberson, P., et al. (2018). The Three-Month Effects of a Ketogenic Diet on Body Composition, Blood Parameters, and Performance Metrics in CrossFit Trainees: A Pilot Study. *Sports*, 6(1). <https://doi:10.3390/sports6010001>

26. Kysel, P., Vilikus, Z., & Daďová, K. (2019). Nízkosacharidové režimy a jejich vliv na sportovní výkon a tělesné složení. Diagnostika a poradenství v pomáhajících profesích, 19, 5-17. ISSN 2570-7612.
27. Kysel, P., Haluzíková, D., Petráková Doležalová, R., et al. (2020). The Influence of Cyclical Ketogenic Reduction Diet vs. Nutritionally Balanced Reduction Diet on Body Composition, Strength, and Endurance Performance in Healthy Young Males: A Randomized Controlled Trial. *Nutrients*, 12(9). <https://doi:10.3390/nu12092832>
28. Kysel, P., Haluzíková, D., Pleyerová, I., et al. (2023). Different Effects of Cyclical Ketogenic vs. Nutritionally Balanced Reduction Diet on Serum Concentrations of Myokines in Healthy Young Males Undergoing Combined Resistance/Aerobic Training. *Nutrients*, 15(7), 1720. <https://doi.org/10.3390/nu15071720>.
29. Lauritzen, K. H., Hasan-Olive, M. M., Regnell, C. E., Kleppa, L., Scheibye-Knudsen, M., Gjedde, A., Klungland, A., Bohr, V. A., Storm-Mathisen, J., & Bergersen, L. H. (2016). A ketogenic diet accelerates neurodegeneration in mice with induced mitochondrial DNA toxicity in the forebrain. *Neurobiology of aging*, 48, 34–47. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2016.08.005>
30. McSwiney, F. T., Wardrop, B., Hyde, P. N., Lafountain, R. A., Volek, J. S., & Doyle, L. (2018). Keto-adaptation enhances exercise performance and body composition responses to training in endurance athletes. *Metabolism*, 81, 25-34. <https://doi:10.1016/j.metabol.2017.10.010>
31. Mujika, I. (2019). Case Study: Long-Term Low-Carbohydrate, High-Fat Diet Impairs Performance and Subjective Well-Being in a World-Class Vegetarian Long-Distance Triathlete. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 29(3), 339-344. <https://doi:10.1123/ijsnem.2018-0124>
32. Mozaffarian, D. (2016). Dietary and Policy Priorities for Cardiovascular Disease, Diabetes, and Obesity. *Circulation*, 133(2), 187-225. <https://doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.115.018585>
33. Naude, C. E., Schoonees, A., Senekal, M., Young, T., Garner, P., Volmink, J., & Cameron, D. W. (2014). Low carbohydrate versus isoenergetic balanced diets for reducing weight and cardiovascular risk: A systematic review and meta-analysis. *PLoS ONE*, 9(7). <https://doi:10.1371/journal.pone.0100652>
34. Noakes, T. D., & Windt, J. (2017). Evidence that supports the prescription of low-carbohydrate high-fat diets: A narrative review. *British Journal of Sports Medicine*, 51(2), 133-139. <https://doi:10.1136/bjsports-2016-096491>
35. Nordmann, A. J., Nordmann, A., Briel, M., Keller, U., Yancy, W. S., Jr, Brehm, B. J., & Bucher, H. C. (2006). Effects of low-carbohydrate vs low-fat diets on weight loss and cardiovascular risk factors: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Archives of internal medicine*, 166(3), 285–293. <https://doi.org/10.1001/archinte.166.3.285>
36. Paoli, A., Grimaldi, K., D'Agostino, D., Cenci, L., Moro, T., Bianco, A., & Palma, A. (2012). Ketogenic diet does not affect strength performance in elite artistic gymnasts. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 9(1). <https://doi:10.1186/1550-2783-9-34>
37. Pedersen, B. K., & Febbraio, M. A. (2012). Muscles, exercise and obesity: skeletal muscle as a secretory organ. *Nature Reviews Endocrinology*, 8(8), 457-465. <https://doi:10.1038/nrendo.2012.49>

38. Samaha, F. F., Iqbal, N., Seshadri, P., Chicano, K. L., Daily, D. A., McGrory, J., Williams, T., Williams, M., Gracely, E. J., & Stern, L. (2003). A low-carbohydrate as compared with a low-fat diet in severe obesity. *The New England journal of medicine*, *348*(21), 2074–2081. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa022637>
39. Sherrier, M., & Li, H. (2019). The impact of keto-adaptation on exercise performance and the role of metabolic-regulating cytokines. *The American Journal of Clinical Nutrition*, *110*(3), 562-573. <https://doi:10.1093/ajcn/nqz145>
40. Vanitallie, T. B., Nonas, C., Di Rocco, A., Boyar, K., Hyams, K., & Heymsfield, S. B. (2005). Treatment of Parkinson disease with diet-induced hyperketonemia: a feasibility study. *Neurology*, *64*(4),728–730. <https://doi.org/10.1212/01.WNL.0000152046.11390.45>
41. Vilikus, Z., Majorová, S., Kysel, P., & Švimberský, J. (2018). Vliv triacylglycerolů o středně dlouhém řetězci (MCT) na vytrvalostní sportovní výkon. Diagnostika a poradenství v pomáhajících profesích, *2*(1), 43-50. ISSN 2570-7612.
42. Webster, C. C., Swart, J., Noakes, T. D., & Smith, J. A. (2018). A Carbohydrate Ingestion Intervention in an Elite Athlete Who Follows a Low-Carbohydrate High-Fat Diet. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *13*(7), 957-960. <https://doi:10.1123/ijsp.2017-0392>
43. Wilson, J. M., Lowery, R. P., Roberts, M. D., et al. (2017). The Effects of Ketogenic Dieting on Body Composition, Strength, Power, and Hormonal Profiles in Resistance Training Males. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *31*(12), 3463-3470. <https://doi:10.1519/JSC.0000000000001935>
44. World Health Organization. (2021). Obesity and overweight. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>
45. Wu, X., Huang, Z., Wang, X., Fu, Z., Liu, J., Huang, Z., Kong, G., Xu, X., Ding, J., & Zhu, Q. (2017). Ketogenic Diet Compromises Both Cancellous and Cortical Bone Mass in Mice. *Calcified tissue international*, *101*(4), 412–421. <https://doi.org/10.1007/s00223-017-0292-1>
46. Zinn, C., Wood, M., Williden, M., Chatterton, S., & Maunder, E. (2017). Ketogenic diet benefits body composition and well-being but not performance in a pilot case study of New Zealand endurance athletes. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, *14*(1), 22. <https://doi:10.1186/s12970-017-0180-0>

## 8 SEZNAM PUBLIKACÍ

Publikace *in extenso*, které jsou podkladem disertace

### a) s impact factorem

**Kysel, P.**, Haluzíková, D., Pleyerová, I., Řezníčková, K., Laňková, I., Lacinová, Z., Havrlantová, T., Mráz, M., Kasperová, B. J., Kovářová, V., Thieme, L., Trnovská, J., Svoboda, P., Hubáčková, S. Š., Vilikus, Z., & Haluzík, M. (2023). Different Effects of Cyclical Ketogenic vs. Nutritionally Balanced Reduction Diet on Serum Concentrations of Myokines in Healthy Young Males Undergoing Combined Resistance/Aerobic Training. *Nutrients*, 15(7), 1720. <https://doi.org/10.3390/nu15071720>. **IF (2023) 6.706.**

**Kysel, P.**, Haluzíková, D., Doležalová, R. P., Laňková, I., Lacinová, Z., Kasperová, B. J., Trnovská, J., Hrádková, V., Mráz, M., Vilikus, Z., & Haluzík, M. (2020). The Influence of Cyclical Ketogenic Reduction Diet vs. Nutritionally Balanced Reduction Diet on Body Composition, Strength, and Endurance Performance in Healthy Young Males: A Randomized Controlled Trial. *Nutrients*, 12(9), 2832. <https://doi.org/10.3390/nu12092832>. **IF (2020) 5.719.**

### b) bez IF

**Kysel, P.**, Vilikus, Z., & Haluzík, M. (2021). The influence of cyclical ketogenic reduction diet vs. Nutritionally balanced reduction diet on body composition, strength and endurance performance in healthy young males: a randomized controlled trial. *Acta Salus Vitae*, 9(2), 14-25. ISSN 1805-8787.

**Kysel, P.**, Vilikus, Z., & Daňová, K. (2019). Nízkosacharidové režimy a jejich vliv na sportovní výkon a tělesné složení. *Diagnostika a poradenství v pomáhajících profesích*, 19, 5-17. ISSN 2570-7612.

Vilikus, Z., Majorová, S., **Kysel, P.**, & Švimberský, J. (2018). Vliv triacylglycerolů o středně dlouhém řetězci (MCT) na vytrvalostní sportovní výkon. *Diagnostika a poradenství v pomáhajících profesích*, 2(1), 43-50. ISSN 2570-7612.

Publikace *in extenso* bez vztahu k tématu disertace

### b) bez IF

Kolísko, P., Martinča, J., & **Kysel, P.** (2020). *Integrace biomedicíny do wellness: Studijní opora k distančnímu vzdělávání*. Praha: Vysoká škola tělesné výchovy a sportu Palestra. ISBN 978-80-87723-77-7.

Vilikus, Z., Petráková-Doležalová, R., **Kysel, P.**, & Majorová, S. (2019). Potravní doplňky s přímým vlivem na sportovní výkon v současné světové literatuře, část 1: bikarbonát, beta-alanin. *Diagnostika a poradenství v pomáhajících profesích*, 19, 24-36. ISSN 2570-7612.

Martinča, J., & **Kysel, P.** (2018). *Základy výživy člověka (3. přepracované vydání)*. Praha: Vysoká škola tělesné výchovy a sportu Palestra, spol. s r.o. ISBN 978-80-87723-45-6.