

# Prednosti i nedostatci ketogene dijete kod profesionalnih sportaša

---

Zadro, Sara

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, School of Medicine / Sveučilište u Zagrebu, Medicinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:105:837235>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-26**



Repository / Repozitorij:

[Dr Med - University of Zagreb School of Medicine Digital Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
MEDICINSKI FAKULTET

Sara Zadro

**Prednosti i nedostaci ketogene dijetе kod profesionalnih sportaša**

Diplomski rad



Zagreb, 2022.

Ovaj diplomski rad izrađen je na Medicinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, Školi narodnog zdravlja „Andrija Štampar“ na Katedri za zdravstvenu ekologiju i medicinu rada pod vodstvom izv. prof. dr. sc. Milana Miloševića, dr. med. i predan je na ocjenu u akademskoj godini 2021./2022.

## **POPIS I OBJAŠNJENJE KRATICA:**

AC – anaerobni kapacitet, eng. *anaerobic capacity*

AF – anaerobni zamor, eng. *anaerobic fatigue*

ALS – amiotrofična lateralna skleroza

ATP – adenzin trifosfat, eng. *adenosine triphosphate*

BDNF – neurotrofični faktor izveden iz mozga, eng. *brain-derived neurotropic factor*

CLK – ciklus limunske kiseline

DXA – denzitometrija, eng. *dual-energy X-ray absorptiometry*

FADH<sub>2</sub> – flavin adenin dinukleotid vodik

GUK – glukoza u krvi

Hb – hemoglobin

HDL – lipoproteini visoke gustoće, eng. *high density lipoproteins*

HR – srčana frekvencija, eng. *heart rate*

IDL – lipoproteini srednje gustoće, eng. *intermediate density lipoproteins*

KD – ketogena dijeta

KVB – kardiovaskularne bolesti

LCHF – niskouglikohidratna visokomasna, eng. *low carbohydrate, high fat*

LDL – lipoproteini male gustoće, eng. *low density lipoproteins*

LP – lipoprotein lipaza

LP – najniža snaga, eng. *lowest power*

MV – minutni volumen

NADH – nikotinamid dinukleotid vodik

PDU – preporučeni dnevni unos

PK – fosfokreatin, eng. *phosphocreatine*

PP – vršna snaga, eng. *peak power*

PWR – omjer snage i težine, eng. *power to weight ratio*

RM – maksimalno ponavljanje, eng. *repetition maximum*

RPP – relativna vršna snaga, eng. *relative peak power*

SMK – slobodne masne kiseline

TAG – triacilglicerid

TNF-  $\alpha$  – tumorski faktor nekroze, eng. *tumor necrosis factor alpha*

TT – tjelesna težina

TTE – vrijeme do iscrpljenosti, eng. *time to exhaustion*

UH – ugljikohidrati

UV – udarni volumen

VLDL – lipoproteini vrlo male gustoće, eng. *very low density lipoproteins*

VO<sub>2 max</sub> – maksimalni primitak kisika, eng. *maximal oxygen uptake*

WanT – Wingate test

WD – zapadnjačka/miješana dijeta, eng. *western diet*

## SADRŽAJ:

SAŽETAK.....	VI
SUMMARY.....	VII
1. UVOD.....	1
1.1. POVIJEST KETOGENE DIJETE.....	1
1.2. MODERAN PRISTUP KETOGENOJ DIJETI.....	2
1.3. OSTALE PRIMJENE KETOGENE DIJETE U MEDICINI.....	3
2. METABOLIZAM LIPIDA.....	3
2.1. ADENOZIN TRIFOSFAT KAO ENERGIJSKI NOVAC.....	3
2.2. RAZGRADNJA I ISKORIŠTAVANJE MASTI.....	5
2.3. KETOZA.....	7
3. ENERGETSKI SUSTAVI U MIŠIĆU.....	8
4. AEROBNI KAPACITET.....	11
5. ANAEROBNI KAPACITET:.....	14
6. KETOGENA DIJETA I PROFESIONALNI SPORT.....	16
6.1. METODE.....	17
6.2. SPORTOVI IZDRŽLJIVOSTI.....	17
6.3. SPORTOVI SNAGE I EKSPLOZIVNOSTI.....	21
6.4. TJELESNA KOMPOZICIJA.....	25
6.5. PSIHOLOŠKI STATUS.....	27
7. ZAKLJUČAK.....	28
8. ZAHVALE.....	29
9. LITERATURA.....	30
10. ŽIVOTOPIS.....	36

## SAŽETAK

**Naslov:** Prednosti i nedostaci ketogene dijeta kod profesionalnih sportaša

**Autor:** Sara Zadro

Ketogena dijeta (KD) je prehrana s visokim udjelom masti (55 – 65%), umjerenim udjelom proteina (30 – 35%) i vrlo niskim udjelom ugljikohidrata (5 – 10%). Mehanizam djelovanja KD uvelike je sličan aktu gladovanja, ali uz mogućnost održavanja primjerenog unosa esencijalnih makronutrijenata i mikronutrijenata. Pozitivni učinci ovakvog načina prehrane isprva su opisivani u liječenju epilepsije u djece, a dobro je opisan i povoljan učinak KD na gubitak tjelesne težine. Masno tkivo naizgled je neiscrpan, ali spor izvor energije na koji se tijelo oslanja u nedostatku ugljikohidrata. Adenozin trifosfat (ATP) nazivamo „energijskim novcem“, a on se u tijelu namiruje aerobnim i anaerobnim procesima, ovisno o trajanju i intenzitetu aktivnosti. Aerobni kapacitet sposobnost je obavljanja rada na duži vremenski period, a mjeri se maksimalnim primitkom kisika ( $VO_{2max}$ ). Anaerobni kapacitet predstavlja maksimalnu količinu ATP-a koji se oslobodi u kratkotrajnim aktivnostima visokog intenziteta. Pregledom dostupne literature izvodi se zaključak kako je KD povoljna u profesionalnim sportovima izdržljivosti srednjeg ( $VO_{2max} = 45 - 64\%$ ), ali narušava performans visokog intenziteta ( $VO_{2max} = 65 - 89\%$ ), dok u profesionalnim sportovima snage i eksplozivnosti ne daje značajne rezultate. Rezultati učinka na psihološki status su anegdotalni. Zapažen je značajan gubitak masnog tkiva, no mehanizam ostaje nejasan. Dostupna literatura oskudna je i provođena na malim uzorcima ispitanika što onemogućuje donošenje jasnih zaključaka.

**Ključne riječi:** ketogena dijeta, primitak kisika, mast, snaga, izdržljivost

## **SUMMARY**

**Title:** Advantages and disadvantages of a ketogenic diet in professional athletes

**Author:** Sara Zadro

Ketogenic diet (KD) is a diet with a high fat content (50 – 65%), moderate protein content (30 – 35%) and a very low carbohydrate content (5 – 10%). The mechanism of action of KD is very similar to the act of starvation, but with the possibility of maintaining an adequate intake of essential macronutrients and micronutrients. The positive effects of this diet were initially described in the treatment of epilepsy in children, and the beneficial effect of KD on weight loss has been well described. Adipose tissue is a seemingly inexhaustible but slow source of energy that the body relies on in the absence of carbohydrates. Adenosine triphosphate (ATP) is called "energy money", and it is satisfied in the body by aerobic and anaerobic processes, depending on the duration and intensity of an activity. Aerobic capacity is the ability to perform work for a long period of time, and is measured by maximum oxygen uptake (VO<sub>2</sub>max). Anaerobic capacity represents the maximum amount of ATP released in short-term high-intensity activities. A review of the available literature suggests that KD is favorable in professional endurance sports of medium intensity, but impairs high intensity performance, while in professional strength and explosiveness sports it does not yield significant results. The results of the effect on psychological status remain anecdotal. Significant adipose tissue loss was observed, but the mechanism remains unclear. The available literature is scarce and conducted on small samples of participants, which makes it impossible to draw clear conclusions.



**Key words:** ketogenic diet, oxygen uptake, fat, strength, endurance

## 1. UVOD

### 1.1. POVIJEST KETOGENE DIJETE

Ketogena dijeta (KD) naziv je dobila po ketonskim tijelima koja nastaju metabolizmom masti. To je visokomasna, niskouglikohidratna dijeta. Metabolička osnova ketogene dijete leži u pojačanom iskorištavanju masti u nedostatku dostupnih izvora ugljikohidrata (UH) u tijelu. Veoma sličan mehanizam opisan je još u doba antičke Grčke (500 god. p.n.e.) prilikom akta gladovanja (1). Pozitivni učinci posta i gladovanja opisivani su u mnogim kulturama kroz povijest, a prakticiraju se i danas. U Hipokratovim je zapisima ostao opis liječenja osoba oboljelih od epilepsije različitim dijetetskim intervencijama, između ostalog i gladovanjem. Prvi moderan dokaz o terapijskom učinku gladovanja na oboljele od epilepsije daju pariški liječnici Gulep i Marie 1911. godine (1). Prateći njihov primjer, endokrinolog dr. Geyelin (1921.) prvi je detaljno dokumentirao poboljšanja u kliničkoj slici pacijenata oboljelih od epilepsije nakon tretmana gladovanjem (1). Nažalost, prestankom gladovanja prestala bi i poboljšanja. Ubrzo je otkriveno da se u krvi osoba hranjenih visokomasnom prehranom s izrazito niskim udjelom UH mogu naći ketonska tijela kao i u onih koji su gladovali. Nastojeći riješiti problem održivosti dosadašnjeg terapijskog pristupa, a bez gubitka njegovih pozitivnih učinaka, dr. Wilder (1921.) zagovarao je prehrambeni stil koji bi imitirao gladovanje – ketogenu dijetu. KD sastavni je dio svih važnih udžbenika o epilepsiji između 1941. i 1980 (1). Otkrićem difenilhidatoina 1938. terapijska se primjena KD u epilepsiji polako zaboravlja, a liječnici se više ne educiraju o njenoj primjeni. Početkom 21. stoljeća KD dobiva novi značaj u svijetu nutricionizma kao djelotvoran način mršavljenja, a ponovno dobiva svoju ulogu i u medicini (1). Unatoč rastućem broju antiepileptika, KD pokazuje rezultate i u izrazito otpornih oblika epilepsije, no njen mehanizam

djelovanja i dalje je nepoznat. KD danas je etablirani opik terapije za liječenje dječje epilepsije u preko 45 zemalja, a različiti oblici primjene u neprestanom su porastu (2).

## **1.2. MODERAN PRISTUP KETOGENOJ DIJETI**

KD sastoji se od visokog udjela masnoća (55-65% preporučenog dnevnog unosa (PDU), umjerenog udjela proteina (30-35% PDU) i vrlo niskog udjela UH (5-10%). Za standardni unos od 2000 kalorija (kcal) / dan, preporučeni unos UH je svega 20-50 g. Unos proteina preporučeno je niži (do 1.5 g/kg u treniranih pojedinaca) kako bi se spriječila endogena proizvodnja glukoze (glukoneogeneza) i omogućio proces ketogeneze (3).

Popularno je mišljenje krajem 20. stoljeća bilo kako povećan unos masti doprinosi nastanku kardiovaskularnih bolesti (KVB), dijabetesa i raka te da povećava rizik od pretilosti. Početkom 21. stoljeća mnijenje se javnosti mijenja zbog nedostatka valjanih dokaza za pretpostavljenu uzročno-posljedičnu povezanost (3). Kratkotrajne nuspojave KD dobro su opisane: mučnina, slabost, povraćanje, glavobolja, vrtoglavica, nesanica, opća slabost, konstipacija i pojačano mokrenje. Ovakav skup simptoma nerijetko se naziva i „keto gripa“(3). Simptomi nestaju unutar nekoliko dana, a njihovom olakšavanju doprinosi dostatan unos tekućine i elektrolita. Dugotrajne posljedice nedovoljno su istražene, ali se spominju hepatalna steatoza, hipoproteinemija, bubrežni kamenci i vitaminske deficijencije (3). Nužna je kontrola bubrežnih parametara prilikom prilagodbe na KD. Na posebnom oprezu trebaju biti osobe koje boluju od šećerne bolesti, osobe s pankreatitisom, zatajenjem jetre i metaboličkim bolestima. Preporučeno minimalno trajanje KD za dokaz pozitivnih učinaka je 2-3 tjedna, a najveći zapaženi pozitivan učinak je gubitak na tjelesnoj težini (TT) u pretilih osoba (3).

### **1.3. OSTALE PRIMJENE KETOGENE DIJETE U MEDICINI**

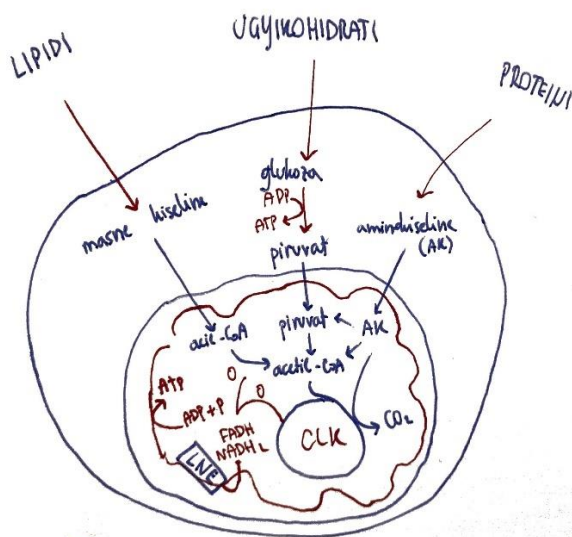
U zadnjih se 20 godina istražuje iskoristivost KD i u ostalim granama medicine. Nažalost, broj i opseg studija nedostatan je za donošenje uniformnih zaključaka. Nekoliko studija govori u prilog neuroprotektivnoj prirodi KD. Grupa autora iz 2001. godine pretpostavlja povezanost Parkinsonove bolesti i disfunkcije mitohondrijskog kompleksa 1 koji KD u svojim metaboličkim putevima zaobilazi (4). U jednoj je studiji iz 2005. godine izvedenoj na miševima opisano ketozom izazvano smanjenje ukupnog amiloida 40 i 42 povezanog uz nastanak Alzheimerove bolesti (5). In vitro podaci studije na miševima iz 2006. opisuju i poboljšanje kliničke slike transgenih miševa s amiotrofičnom lateralnom sklerozom (ALS)(6). Značajni su i prikazi slučajeva iz 1995. godine koji opisuju smanjenje veličine astrocitoma u 2 pacijenta na KD (7). Nekoliko studija pokazuje i pozitivan učinak kod oboljelih od depresije i autizma (8, 9). KD terapijska je preporuka ženama oboljelima od sindroma policističnih jajnika za koju postoji zapažen broj pozitivnih rezultata (8). Iako su preliminarne, neke studije daju obećavajuće rezultate za liječenje osoba oboljelih od šećerne bolesti tip 2 neovisne o inzulinu i osoba s hiperkolesterolemijom (9).

## **2. METABOLIZAM LIPIDA**

### **2.1. ADENOZIN TRIFOSFAT KAO ENERGIJSKI NOVAC**

**Adenozin trifosfat (ATP)** zovemo „energijski novac“. Stvaranje ATP-a u stanici posljednji je korak u proizvodnji energije iz energetske izvora: UH, masti i bjelancevine. Većina ATP-a stvara se u mitohondriju, no dijelom i u citoplazmi (12). UH se razgrađuju na glukozu, masti na masne kiseline, a proteini na aminokiseline. Nizom oksidativno-reduktivnih reakcija

mitochondriji razgrađuju masne kiseline, aminokiseline i piruvat (posljednji korak razgradnje glukoze u citoplazmi) na međuprodukte koji ulaze u ciklus limunske kiseline (CLK, Krebsov ciklus). Stvaraju se nosači NADH i FADH<sub>2</sub> koji ulaskom u respiratorni lanac koriste kisik za proizvodnju ATP u procesu oksidativne fosforilacije (10). (Slika 1) ATP daje energiju za sintezu važnih staničnih sastojaka, za mišićnu kontrakciju, aktivni prijenos tvari kroz membrane, lučenje iz žlijezda i za živčanu vodljivost. Količina energije koju pohranjuje 1 mol ATP-a je 30,5 kJ u standardnim, odnosno 50 kJ u fiziološkim uvjetima (13). Najobilnija zaliha energijom bogatih fosfatnih veza u stanici je **fosfokreatin (PK)** koji nazivamo i „puferskim sustavom za ATP“. On sadržava 35 kJ/mol u standardnim, odnosno 54 kJ/mol u fiziološkim uvjetima. Suvišak ATP-a u stanici koristi se za stvaranje ovog energijom bogatog spoja (11).



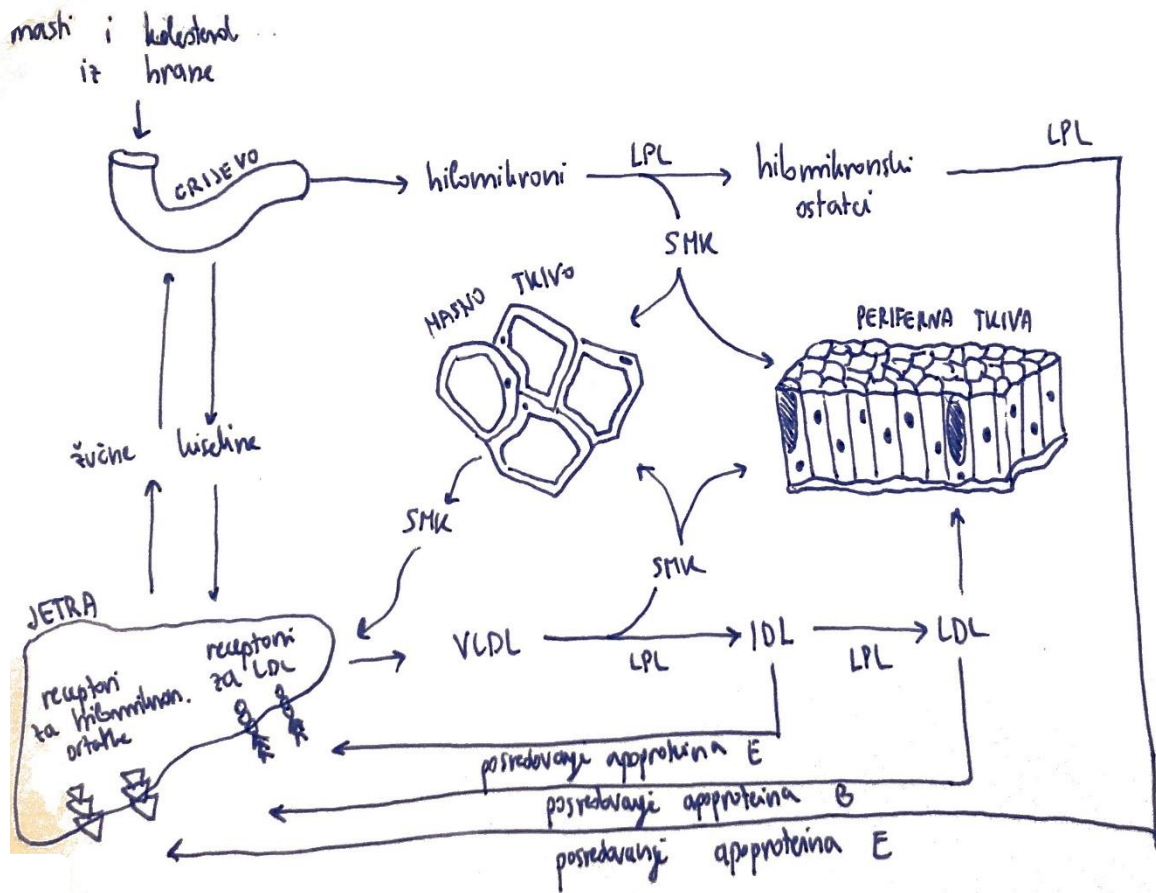
Slika 1. Stvaranje ATP-a u stanici. ADP = adenzin monofosfat, ATP = adenzin trifosfat, CLK = ciklus limunske kiseline, NADH = nikotinamid dinukleotid vodik, FADH<sub>2</sub> = flavin adenin dinukleotid vodik. Prilagođeno prema: El Bacha, Luz, Da Polan: Dynamic Adaptation of Nutrient Utilization in Humans (2010.) (10)

## 2.2. RAZGRADNJA I ISKORIŠTAVANJE MASTI

Lipidi su sastavni dio ljudske prehrane, ali i organizma. Među najvažnije lipide ubrajamo **triacilgliceride (TAG), fosfolipide, kolesterol** i druge. Najvažniji prehrambeni izvori lipida su masnoće životinjskog podrijetla (meso, jaja, mliječni proizvodi), biljnog (sjemenke, orašasti plodovi) te preradevine (ulja, masti) (13). TAG se probavom razgrađuju na sastavne dijelove: molekulu **glicerola** na koju su vezane **masne kiseline**. Gotovo sve masti apsorbiraju se u crijevnu limfu i dalje prenose česticama hilomikrona. Nakon limfe izlijevaju se u vensku krv (13). Najveći se dio hilomikrona razgrađuje putem lipoprotein-lipaze, enzima na površini stanica, poglavito masnog tkiva, skeletnog mišićja i srca. Nakon uklanjanja svih hilomikrona iz krvi, lipidi se u plazmi prenose lipoproteinima (13). Razlikujemo lipoproteine vrlo male gustoće (*very low density lipoproteins*, VLDL), male gustoće (*low density lipoproteins*, LDL), srednje gustoće (*intermediate density lipoproteins*, IDL) i visoke gustoće (*high density lipoproteins*, HDL). Klinički se HDL naziva i „dobrim“ lipoproteinom, a LDL „lošim“ jer HDL djeluje protektivno, a LDL pogoduje nastanku ateroskleroze (13). Stanice se masnim kiselinama koriste kao gorivom ili ih iskorištavaju za izgradnju novih TAG. Masne kiseline koje nastaju razgradnjom masnog tkiva prenose se krvlju kao slobodne masne kiseline (SMK) vezane za bjelančevine albumine. Gladovanje i nedostatak UH povećavaju obrtaj SMK. Masno tkivo i jetra glavna su skladišta masti (13). (*Slika 2*)

Prvi korak u iskorištavanju TAG za dobivanje energije u stanicama je hidroliza na masne kiseline i glicerol. Masne kiseline zatim ulaze u mitohondrije. Tamo se beta-oksidacijom razgrađuju do acetil-koenzima A (acetil CoA) (13). Molekule acetil-CoA ulaze u CLK gdje se u konačnici stvaraju velike količine ATP-a. Potpunom razgradnjom 1 molekule stearinske kiseline,

jedne od najčešćih masnih kiselina, dobije se neto-vrijednost od 146 molekula ATP-a. Za usporedbu, potpunom razgradnjom 1 molekule glukoze dobije se 38 molekula ATP-a (11).



Slika 2. Sažetak metabolizma masti u tijelu. SMK = slobodne masne kiseline, IDL = lipoproteini srednje gustoće, LDL = lipoproteini male gustoće, LP = lipoprotein lipaza, VLDL = lipoproteini vrlo male gustoće. Prilagođeno prema: Guyton i Hall: Medicinska fiziologija (2017.), str. 864. (11)

### 2.3. KETOZA

Jetra manjim dijelom koristi masti za vlastite energetske potrebe, a većina se koristi kao izvor energije za druga tkiva. Dvije molekule acetil-CoA spajaju se u **acetocetenu kiselinu** koja zatim difundira u krv. Acetocetena kiselina se dijelom razgrađuje u **beta-hidroksimaslačnu kiselinu**, a dijelom u **aceton**. Ova tri spoja nazivaju se **ketonskim tijelima** (13). Oni slobodno difundiraju iz jetrenih stanica i ulaze u stanice ostalih tkiva gdje se obrnutim reakcijama pretvaraju u acetil-CoA, oksidiraju i koriste kao izvor energije. Njihove su razine u krvi u fiziološkim uvjetima do 30 mg/L (13).

Koncentracije ketonskih tijela i do 120 puta povećavaju se u gladovanju, šećernoj bolesti i kod osoba na KD. Posljedica nedostatka UH jesu: povećan obrtaj MK i ketonskih tijela, jače lučenje glukokortikoida iz kore nadbubrežnih žlijezda, pojačano lučenje glukagona i smanjeno lučenje inzulina iz gušterače. Svi ovi procesi potiču razgradnju masti (13). Koncentracija ketonskih tijela raste zbog nedostatka UH-a jer se iz UH dobiva oksal-acetat nužan za spajanje s acetil-CoA u Krebsovom ciklusu. Zaključno, pri suvišku UH, za dobivanje energije koriste se prvenstveno UH. Suvišak UH i pojačano lučenje inzulina pogoduju skladištenju masti, a njihov nedostatak pogoduje hidrolizi masti (11). Važno za napomeniti jest kako, iako glukoza u krvi (GUK) pada na niže razine u KD, ona se i dalje zadržava u svom fiziološkom rasponu zahvaljujući procesu glukoneogeneze iz aminokiselina i glicerola. Ovakva se ketoza naziva „fiziološkom ketozom“, za razliku od patološke kod oboljelih od dijabetesa tip 1 (12). U fiziološkoj se ketozi ketonska tijela koriste kao primarni izvor energije za mozak i srce (13).



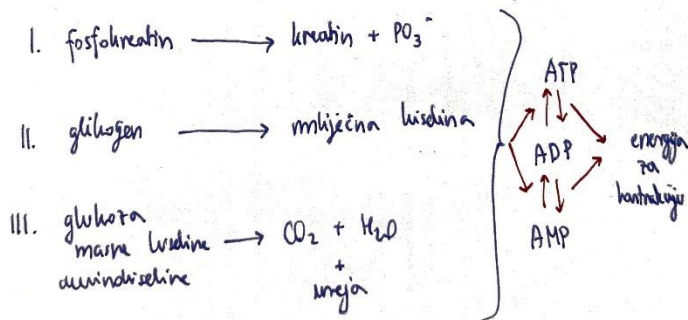
### 3. ENERGETSKI SUSTAVI U MIŠIĆU

**ATP sustav** je izvor koji se izravno koristi za kontrakciju mišića. Zalihe ATP-a u mišićima treniranih sportaša istroše se u 3 sekunde intenzivne aktivnosti, što je otprilike dovoljno za sprint od 25 metara. **PK** je još jedan fosfatni energetski spoj, ali su njegove zalihe u tijelu obilnije i energetska iskoristivost bolja (13). Prijelaz PK u ATP iznimno je brz pa se i on smatra trenutno upotrebljivim u mišiću. Zajedničkim snagama ATP i PK nazivamo **fosfagenkim sustavom** i on osigurava maksimalnu mišićnu snagu tijekom 8-10 sekundi, što je dovoljno za 90-100 m sprinta, dizanje utega ili skakanje (13). Zaključujemo da je fosfagenki sustav dovoljan za kratkotrajni mišićni napor izrazito visokog intenziteta.

**Sustav glikogen-mliječna kiselina** sljedeći je sustav iz kojeg mišić dobiva energiju. Glikogen je pohrambeni oblik glukoze u mišićima koji se razgrađuje procesom glikogenolize. Glikogenoliza je u početku anaerobni proces (13). Proces razgradnje glukoze zove se glikoliza i njime iz 1 molekule glukoze nastaju 2 molekule piruvata. Svaka molekula glukoza ovim putem proizvodi 4 molekule ATP-a, a piruvat ulazi u CLK gdje aerobnim putem namiruje još ATP-a. Ako za tu fazu nedostaje kisika, piruvat prelazi u mliječnu kiselinu (laktat) (13). Ovaj sustav namiruje mišiće energijom dodatnih 1,3 - 1,6 minuta za mišićni napor visokog intenziteta (nešto manjeg nego za fosfagenki sustav) što je dovoljno za sprint na 400 metara ili 100 m plivanja. Mliječna kiselina uzrokuje veliki zamor mišića te je njeno uklanjanje od velike važnosti (13).

**Aerobni sustav** naizgled je neiscrpan izvor energije dok god ima hranjivih tvari i kisika za oksidaciju koja se vrši u mitohondrijima. Hranjive tvari podrazumijevaju UH, bjelančevine i masti te njihove produkte razgradnje: glukozu, aminokiseline i masne kiseline (13). (Slika 3) Sportovi izdržljivosti poput maratona i biciklizma oslanjaju se pretežno na aerobni sustav. Relativne maksimalne brzine stvaranja ATP-a jesu za fosfagenki sustav: 4 mol/min; sustav

glikogen-mliječna kiselina: 2,5 mol/min te aerobni sustav: 1 mol/min (13). Tablica 1 prikazuje redoslijed uključivanja energetske sustava u odnosu na trajanje aktivnosti (14). (Tablica 1)



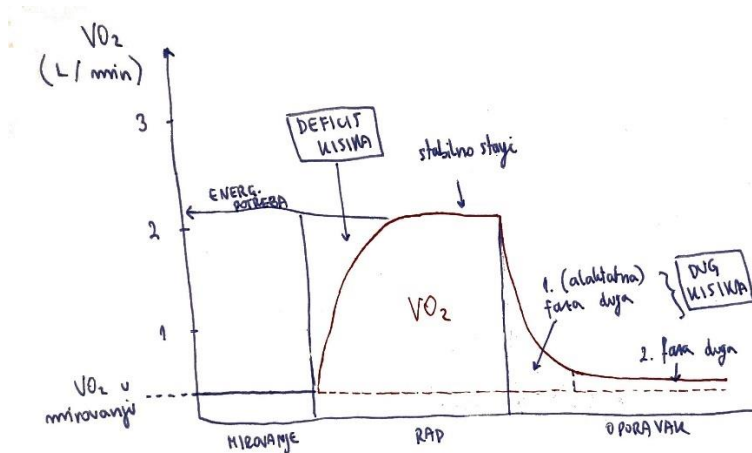
Slika 3. Metabolički sustavi koji namiruju energiju za mišićnu kontrakciju. ATP = adenzin trifosfat, ADP = adenzin difosfat, AMP = adenzin monofosfat. Prilagođeno prema: Guyton i Hall (2017.), str. 1087.(11)

Tablica 1. Redoslijed uključivanja energetske sustava u odnosu na trajanje aktivnosti (14).

Trajanje aktivnosti	Klasifikacija	Energetski sustav
1 – 4 s	anaerobno	ATP u mišićima
4 – 20 s	anaerobno	ATP i KP u mišićima
20 – 45 s	anaerobno	ATP, KP, mišićni glikogen
45 – 120 s	anaerobno / laktatno	mišićni glikogen
120 – 240 s	anaerobno, aerobno	mišićni glikogen
240 – 600 s	aerobno	mišićni glikogen i masne kiseline
> 600 s	aerobno	zalihe glikogena i masti

Za obnove glikogena potrebni su dani. U slučaju osoba koje konzumiraju prehranu bogatu UH, obnova traje 48 sati, a osobe koje gladuju ili prakticiraju KD, ta je obnova i za 5 dana nepotpuna (15). Rezerve glikogena u skeletnim mišićima prosječnog čovjeka od 70 kg iznose 300-700 g, a u jetri 0-160 g. Glikogen iz jetre također je dostupan izvor energije mišićima za vrijeme mišićnog rada, nakon potrošnje glikogenskih rezervi iz samog mišića (15). Za sportove izdržljivosti koji traju i preko 5 sati, rezerve su glikogena nedostatne. Tijekom intenzivnog mišićnog rada primarno se iskorištavaju glikogen i glukoza u krvi, ali se za aktivnosti koje traju preko 3-4 sata više od 50% potrebne energije namiruje iz masti (15).

Litra kisika je mjera energetske potrošnje, a **primitak kisika** ( $VO_2$  ili  $LO_2/\text{min}$ ) mjera je **energetskog tempa/intenziteta** (14). Energetska potreba za kisikom ovisi o intenzitetu i trajanju aktivnosti, odnosno o njegovim aerobnim ili anaerobnim karakteristikama. Svaki je rad na svom početku anaerobne prirode, a ako traje duže od 1.5-2 min, svoje energetske potrebe zadovoljava isključivo aerobno (14). Rezerve kisika u tijelu otprilike su 2L. To podrazumijeva kisik otopljen u tjelesnim tekućinama, vezan za hemoglobin (Hb) u krvi i onaj u plućima. Vrijeme potrebno za potrošnju rezerve kisika iznosi otprilike 1 minutu, a dalje se obnavlja udisanjem kisika (14). Završetkom mišićnog rada potrebno je nadoknaditi te 2 L kisika, ali i oko 9 L kisika za obnovu fosfagenkog i glikogen-laktatnog sustava, što sveukupno čini 11L kisika i zove se **dug kisika** (14). (Slika 4) Kod vrhunskih sportaša anaerobnih sportova i disciplina (poput *powerliftinga* i skakača) iznosi i do 20 L. Prvi dio zove se alaktatni i iznosi 3,5 L za obnovu fosfagenkog sustava i vraćanja rezervi kisika, a drugi je laktatni i iznosi oko 8 L. Ovaj cijeli proces odvija se otprilike 45 minuta do nekoliko sati nakon prestanka vježbanja (14).



Slika 4. Prikaz primitka kisika, deficita kisika i duga kisika u mirovanju, naporu i oporavku.

Prilagođeno prema: Mustajbegović, Milošević, Brborović: Medicina rada i sporta, 2018 (14).

#### 4. AEROBNI KAPACITET

**Aerobni kapacitet ili aerobna izdržljivost** je sposobnost obavljanja rada na duži vremenski period oslanjajući se pritom na aerobni metabolizam. Parametri za procjenu aerobne izdržljivosti su a) **maksimalni primitak kisika** ( $VO_{2max}$ ) i b) **anaerobni prag** (14).

$VO_{2max}$  mjera je kojom mjerimo aerobnu sposobnost i indikator je aerobne izdržljivosti. Različit je između netreniranih osoba i profesionalnih sportaša. Njime se indirektno ocjenjuje i funkcionalna sposobnost kardiovaskularnog sustava da opskrbi tijelo krvlju (14). Za netrenirane sportaše on iznosi 2.8 – 3.2 L  $O_2$ /min (za žene 2.0 – 2.5 L  $O_2$ /min), dok kod profesionalnih sportaša dostiže i do 6 L  $O_2$ /min (14). **Relativni  $VO_{2max}$**  izražava se na kilogram tjelesne mase te se kod netreniranih kreće 38 – 42 mL  $O_2$ /min/kg (za žene 36 – 40 mL/min/kg), a u treniranih i preko 80 mL/min/kg (14). (Tablica 2)

Tablica 2. Relativni primitak kisika u različitim populacija (14).

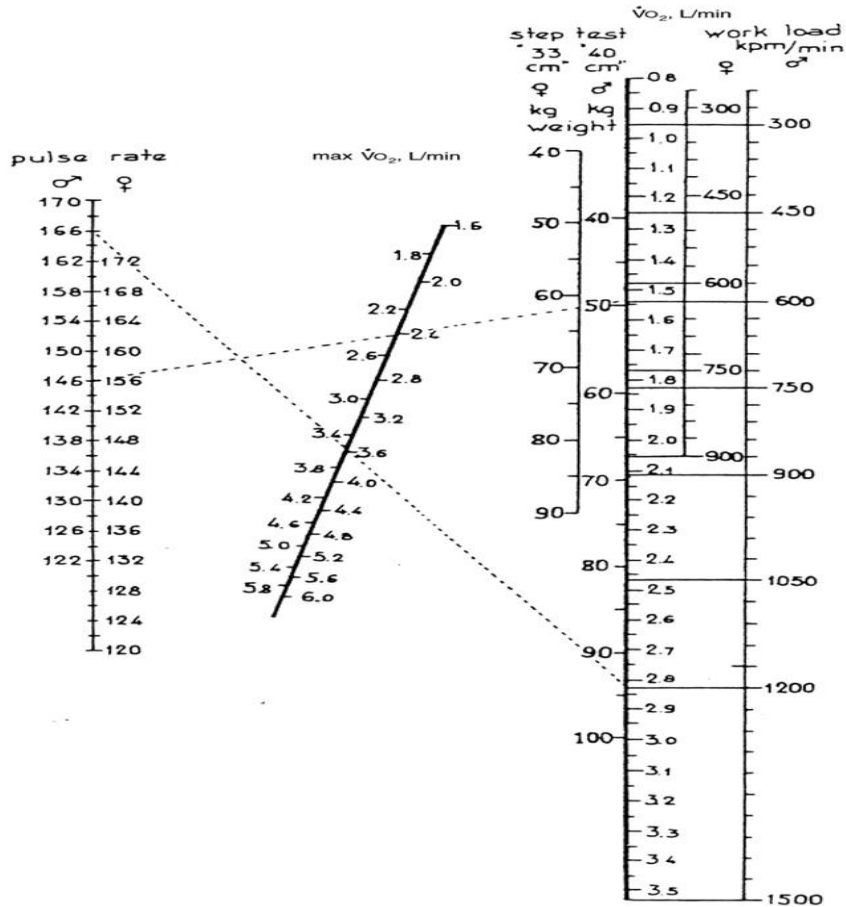
relativni $VO_{2max}$ (mL/kg min)	POPULACIJA
10 – 20	kronični bolesnici (bolesti srca, dišnog sustava), dugo nepokretne osobe
20 – 30	netrenirane starije osobe
30 – 40	mlađe zdrave osobe, stariji rekreativci
40 – 50	bolji rekreativci, loše aerobno trenirani sportaši
50 – 55	anaerobni sportaši, odbojka, skokovi, bacanja, gimnastika
55 – 65	športske igre, tenis, borilački sportovi
65 – 75	aerobni športovi, veslanje, biciklizam, trčanje, maraton, plivanje na duge pruge
> 75	ultra aerobni sportovi, skijaško trčanje

Drugi važan čimbenik koji utječe na rezultat jest i **ekonomičnost (mehanička efikasnost rada)**. Između dva sportaša s istim  $VO_{2max}$  veću će ekonomičnost imati onaj s boljom tehnikom i koordinacijom (14).

$VO_{2max}$  može se odrediti direktno, analizom plinova (kisika i ugljikova dioksida) u ekspiriranom zraku i određivanjem minutnog volumena disanja za vrijeme rada. Ova su mjerenja izrazito nepovoljna za praktična i terenska ispitivanja (14). Češće se zato koristi *indirektna metoda* poput **Astrandovog testa**. Astrandov test koristi frekvenciju srca (HR, *heart rate*) kao

indeks fizičke sposobnosti. HR se povećava linearno s intenzitetom rada. Minutni volumen (MV) rada srca jednak je umnošku udarnog volumena (volumena krvi koji srce izbaci jednim udarom, UV) i HR-a. Kod utreniranih sportaša povećanje MV događa se na račun UV-a zbog povećanja mase srca uslijed dugotrajnog bavljenja fizičkom aktivnošću, dok se kod neutreniranih pojedinaca i rekreativaca s pojačanjem intenziteta rada povisuje i HR (14). Iz Astrandovih tablica ocjenjujemo aerobni kapacitet na osnovi HR i zadanog opterećenja (najčešće na bicikl-ergometru) (16). (Slika 5) Npr., kod HR od 130/min,  $VO_{2max}$  pri opterećenju od 50 wata (W) iznosi 1,9 L, pri 100 W iznosi 3,0 L, a pri 150 W iznosi 4,1 L. Što je teži rad koji čovjek može obaviti, to mu je veći aerobni kapacitet (16).

Uz  $VO_{2max}$  za procjenu se aerobnog kapaciteta koriste se i **aerobni i anaerobni prag**. Porastom intenziteta tjelesne aktivnosti raste koncentracija mliječne kiseline i tijelo se „zakiseljuje“ (14). To označava aktivaciju anaerobne glikolize u mišićima. Javlja se na vrijednosti  $VO_{2max}$  od oko 40 – 60% i koncentraciji laktata od oko 1,5 – 2 mmol/L te se naziva **aerobni ili laktatni prag** (14). Ravnoteža između stvaranja i razgradnje mliječne kiseline moguća je do intenziteta koji nazivamo **anaerobni prag**. On se dostiže pri vrijednosti  $VO_{2max}$  od oko 80 – 95% (u netreniranih ljudi na 65 – 70%  $VO_{2max}$ ) uz koncentraciju mliječne kiseline 3 – 5 mmol/L (14). Anaerobni prag procjenjujemo trčanjem na pokretnoj traci. Za profesionalne maratonce to je brzina od oko 20 km/h i označava onu brzinu koju maratonac može održavati >30 min bez porasta laktata u mišićima i krvi (14).



Slika 5. Astrandove tablice za očitavanje  $\dot{V}O_2$  max. Prema: Astrand, I. (1960.) (16).

## 5. ANAEROBNI KAPACITET

**Anaerobni kapacitet** predstavlja maksimalnu količinu ATP koji se u tijelu sintetizira putem anaerebnog metabolizma za vrijeme kratkotrajnih aktivnosti visokog intenziteta poput skokova, sprinta ili dizanja utega (17). Neki od testova procjenu anaerobnih sposobnosti organizma uključuju laboratorijska mjerenja ATP-a, PK-a, mišićnog glikogena i razina laktata. Ovakva su mjerenja invazivna i nepodobna u praktičnim, terenskim uvjetima (18). Mjerenje anaerobnog metabolizma zahtijeva test koji mjeri alaktatnu anaerobnu snagu, alaktatni anaerobni kapacitet, laktičnu anaerobnu snagu i laktični anaerobni kapacitet. Takav test, međutim, ne

postoji. Umjesto toga, u istraživanjima se koriste testovi za 1) mjerenje ukupne mehaničke snage proizvedene tijekom kratkotrajnih aktivnosti visokog ntenziteta, 2) mjerenje ukupnog rada u zadanom vremenu i 3) vrijeme potrebno za izvođenje neke anaerobne aktivnosti (19).

Jedan od najpoznatijih takvih testova je **Wingate test** (ergometarski anaerobni test ili *WAnT*). *WAnT* je test koji mjeri vršnu anaerobnu snagu i anaerobni kapacitet (20). Najčešće se izvodi na stacionarnom biciklu tako da ispitanik pedalira maksimalnom brzinom u određenom vremenskom intervalu (30, 60, a nekad i 120 sec) protiv zadanog otpora. Različite inačice testa stvarane su s ciljem da se potpuno iscrpe i alaktatni i laktatni anaerobni energetske sustavi (20).

Konačni rezultati prikazuju se u obliku izračuna vršne snage (*peak power, PP*), relativne vršne snage (*relative peak power, RPP*: u odnosu na TT), anaerobni zamor (*anaerobic fatigue, AF*) i anaerobni kapacitet (*anaerobic capacity, AC*) (20). *PP* računa se u prvih 5 sec kao umnožak postavljenog otpora i prijeđenog puta podijeljenog s vremenom. *RPP* računa se kao *PP* podijeljen TT-om ispitanika. *AF* se računa kao razlika *PP* i najniže snage (*lowest power, LP*) podijeljena *PP*-om. *AC* predstavlja ukupno obavljene rad za vrijeme trajanja testa (20).

Funkcionalnu sposobnost mišića možemo izraziti kao **jakost mišića**. Ona ovisi o broju mišićnih stanica i njihovoj veličini (14). Također možemo mjeriti i **maksimalnu izdržljivost mišića**, tj. najdulje vrijeme tijekom kojeg se mišić može odupirati sili određenog postotka maksimalne jakosti. U praksi se ono mjeri **dinamometrijom**. Dinamometri mjere maksimalnu silu voljne izometričke kontrakcije, tj. kontrakcije mišića pri kojoj on ne mijenja svoju duljinu. Jakost određenih pokreta ovisi o vrsti fizičke aktivnosti, ali i o utreniranosti i spremnosti ispitanika. Dinamometrima se obično mjeri snaga većih mišićnih skupina stizanjem, pritiskom ili istežanjem dinamometra (14).



## 6. KETOGENA DIJETA I PROFESIONALNI SPORT

Od otkrića biopsije mišića i prvih istraživanja mišićnog metabolizma 1960.-ih godina, visoke razine glikogena povezuju se s optimalnim mišićnim performansom (21). Pozitivan učinak alternativnih dijeta poput niskouglikohidratne visokomasne (*low carbohydrate, high fat, LCHF*) i KD na gubitak TT kod pretilih pacijenata postaje kamen temeljac daljnjih istraživanja u području pretilosti, ali i sporta (22). Phinney i sur. 1983. na profesionalnim su biciklistima demonstrirali nemjerljiv učinak KD u trajanju 21-28 dana na treninge submaksimalnog intenziteta (23). Najveći broj radova na temu učinka LCHF i KD na profesionalne sportaše nastao je nakon 2000. godine. Primarna je pretpostavka većine istraživača bila kako LCHF i KD potiču bolje iskorištavanje masti kao naizgled neiscrpnog izvora energije te ujedno usporavaju oksidaciju ograničenih rezervi glikogena, povoljnijeg izvora za aktivnosti visokog intenziteta. (21). Također, s obzirom na veći broj kcal po gramu tvari, masti predstavljaju energetski gušći izvor energije. S obzirom da unos UH u obliku gelova, tableta ili sokova za vrijeme fizičke aktivnosti može uzrokovati gastrointestinalni distres u sportaša, iskorištavanje masti i/ili suplementacija masnim izvorima energije moglo bi zaobići ovaj problem (21). Unatoč dokazano pojačanoj oksidaciji masti, istraživanja do 2005. godine nisu pokazala pozitivne učinke ovakvog oblika prehrane na sportove izdržljivosti. Štoviše, nerijetko su se pokazala nepovoljnima (24). Svrha ovog rada je obuhvatiti i objasniti rezultate dosadašnjih istraživanja na temu utjecaja KD na 1) performans u sportovima izdržljivosti 2) performans u sportovima snage i eksplozivnosti 3) tjelesnu kompoziciju i 4) psihološki status sportaša.

## 6.1. METODE

Za izradu ovog preglednog rada korištena je bibliografska baza podataka PubMed koristeći ključne riječi *ketogenic diet* AND (*sports* OR *athletes*). Ovakvim je pretraživanjem dobiveno 167 radova. Isključivanjem radova objavljenih prije 2000. godine dobiveno je ukupno 156 radova od kojih 1 nije na engleskom jeziku. Od preostalih 155 radova uključeno je svega 12 radova koji se bave isključivo učinkom ketogene dijeta na profesionalne sportaše, dok ostali ne odgovaraju na zadano istraživačko pitanje.

## 6.2. SPORTOVI IZDRŽLJIVOSTI

Sportovi izdržljivosti sportovi su niskog do srednjevisokog intenziteta i dugog trajanja koji se primarno oslanjaju na aerobni sustav potrošnje energije (11). Karakteriziraju ih izotoničke kontrakcije velikih mišićnih skupina i pojačana regrutacija crvenih (sporih) mišićnih vlakana u odnosu na bijela (brza) (11). Zalihe glikogena u tijelu dostatne su za 60 – 90 min jake aerobne aktivnosti, nakon čega se tijelo oslanja na druge izvore energije procesom glukoneogeneze (masti i bjelančevine) ili vanjskog unosa UH (14). Među najpoznatije sportove izdržljivosti spadaju trčanje, biciklizam, plivanje, skijaško trčanje, brzo hodanje, planinarenje i triatlon. Ranije spomenuti  $VO_{2max}$  smatra se najboljim pokazateljem funkcionalne sposobnosti u sportovima izdržljivosti. Njime možemo indirektno odrediti funkcionalnu sposobnost kardiovaskularnog sustava da opskrbi organizam krvlju i dostavi potrebne količine kisika (14). Primarne su pretpostavke bile kako je KD optimalan izvor energije za sportove izdržljivosti zbog ograničenih zaliha glikogena (~2200 kcal) u usporedbi s mastima (~30,000 kcal za osobe sa 7 – 14% masnog tkiva u tijelu) (25). Za razliku od sportova snage i eksplozivnosti, u sportovima

izdržljivosti niži intenzitet omogućava polaganu prilagodbu organizma na kombinaciju slobodnih masnih kiselina, ketona, glikogena i glukoze nastale procesom glukoneogeneze (25).

Phinney i sur. pokazali su na skupini od 5 profesionalnih biciklista kako je 28 dana KD dovoljno da se mitohondriji prilagode na masti za optimalan izvor energije za aktivnosti umjerenog intenziteta (46 – 63 %  $VO_{2max}$ ) ne narušavajući pritom učinkovitost samog treninga (23). Mjerenjem vremena do iscrpljenosti (*time to exhaustion, TTE*) pri  $VO_{2max}$  umjerenog intenziteta na bicikl-ergometru na početku i na kraju istraživanja nije zabilježena promjena rezultata (23). Sportaši prilagođeni na KD trening započinju sa zalihama glikogena smanjenima ~45% u usporebi sa sportašima na mješovitoj dijeti. Webster i sur. objašnjavaju kako biciklisti na visokomasnoj prehrani ne kompenziraju nedostatak glukoze pojačanom glukoneogenezom već sveopćom prilagodbom organizma na iskorištavanje masti (26). Smanjena ekonomičnost (povećani utrošak kisika za danu brzinu) uočena je kod kompetitivnih trkača na KD. Burke i sur. proveli su istraživanje na grupi od 29 elitnih brzohodača (27). Ispitanika su podijelili u skupinu koja je konzumirala prehranu bogatu UH (9 ispitanika), skupinu koja je izmjenjivala prehranu bogatu UH i KD (10 ispitanika) i skupinu na KD (10 ispitanika). U ovoj je studiji dokazana zamjetno pojačana oksidacija masti u skupini istraživanih na KD nakon 3 tjedna intenzivnih treninga (27). S druge strane, ta je pojava rezultirala smanjenom ekonomičnošću i oslabljenim rezultatima na pokretnoj traci gdje je mjeren  $VO_{2max}$  te utrka na 10 km i 20 km u usporedbi s prve dvije grupe (27). Shaw. i sur. svoje su istraživanje proveli na 8 trkača (maratonaca i ultramaratonaca) koji su 31 dan konzumirali KD (28). Ispitanicima je na pokretnoj traci mjeren  $VO_{2max}$  na početku i na kraju istraživanja. Rezultati istraživanja pokazali su oslabljene rezultate na treninzima izvođenima na  $VO_{2max} > 70\%$ , dok su rezultati bili očuvani na onima  $<60\%$  (28). Ovaj podatak možemo interpretirati kao činjenicu da KD ima negativan učinak na dugotrajne

aktivnosti submaksimalnog intenziteta, ali nezamjetan učinak na aktivnosti srednjeg intenziteta (28). Zajac i sur. proveli su istraživanje na 8 muškaraca s višegodišnji iskustvom u brdskom biciklizmu (29). Testiranja su provedena na bicikl-ergometru s ciljem utvrđivanja  $VO_{2max}$  i aerobnog (laktatnog) praga. Istraživanje je provedeno kao *cross-over* istraživanje, što znači da je polovica nasumce odabranih sudionika konzumirala KD, a druga mješovitu prehranu. Nakon 4 tjedna uslijedila su 3 dana testiranja, a zatim su se grupe zamijenile. Treće testiranje izvršeno je 4 tjedna nakon zamjene. Rezultati su pokazali kako su grupe nakon KD imale značajan porast relativnog  $VO_{2max}$  ( $VO_{2max}$  u odnosu na TT) i primitka kisika pri laktatnom pragu ( $VO_2$  LT) (29). Ovaj se podatak objašnjava značajnim smanjenjem TT u grupi na KD i/ili značajnijim utroškom kisika potrebnim za oksidaciju masti i/ili pojačanom aktivacijom simpatikusa (29). Ukupno radno opterećenje pokazalo se višim u grupi na miješanoj dijeti (29).

*Ironman* triatlon je sportsko natjecanje koje se sastoji od plivanja (3,8 km), biciklizma (180 km) i trčanja (42,2 km) u uzastopnom nizu (30). S obzirom na intenzitet ovakvog natjecanja, mnogi ga drže na pijedestalu sportova izdržljivosti. Razina performansa drastično se razlikuje između početnika kojima je za završetak cijelog natjecanja potrebno 14 – 15 sati te profesionalaca koji natjecanje završe u 8 sati (30). Energetska potrošnja neupitno je velika, kako u pripreмноj fazi treninga, tako i za vrijeme samog natjecanja (prema nekim mjerenjima kalorijska potrošnja tijekom cijelog natjecanja iznosi >9000 kcal)(30). Maunder i sur. u svom radu objašnjavaju kako se procijenjene stope energetske potrošnje uvelike razlikuju između amatera i profesionalaca (30). Intenzitet treninga i natjecanja puno je viši u profesionalnih triatlonaca nego amatera. Unatoč izraženoj oksidaciji masti u obje grupe, energetske zahtjevi profesionalnih triatlonaca nadmašuju dosad istražene mogućnosti iskorištavanja masti kao jedinog izvora energije (30). Za profesionalne su triatlonce neophodne dobre pohrane glikogena,

ali i dostupan unos UH tijekom treninga i natjecanja. Iako nedovoljno istraženo, pretpostavlja se kako bi naizmjenična upotreba prehrane bogate UH i LCHF ili KD (tzv. periodizacija prehrane) imala najpovoljniji učinak za elitne triatlonce (30). Ovakav pristup imao bi za učinak maksimizaciju trošenja glikogenskih rezervi i UH s jedne, te optimalnu oksidaciju masti s druge strane (30). Za razliku od profesionalaca, isključivo LCHF ili KD mogla bi biti od koristi amaterima jer se pretpostavlja da razina oksidacije masti odgovara njihovim energetskeim zahtjevima (30). Za potvrdu ovih hipoteza nedostaju eksperimentalna istraživanja. Nekolicina dostupnih istraživanja koja nisu uključena u ovaj pregled izvođena je na početnicima ili rekreativcima. (Tablica 3)

Tablica 3. Učinak KD na sportaše iz različitih sportova u kategoriji sportova izdržljivosti

<b>Studija i ispitivani sportaši</b>	<b>Trajanje KD</b>	<b>Fiziološka ketoza postignuta</b>	<b>Provedeni test</b>	<b>Učinak KD na krajnji rezultat</b>
Phinney i sur., profesionalni biciklisti	4 tjedna	da	TTE (bicikl-ergometar)	nepromijenjen rezultat
Burke i sur. elitni brzohodači	3 tjedna	da	VO <sub>2max</sub> (pokretna traka) rezultati utrka na 10 km i utrke na 20 km	bez utjecaja na VO <sub>2max</sub> , negativan učinak na utrke na 10 km i 20 km
Shaw i sur.	31 dan	da	VO <sub>2max</sub> i mjerenje vremena na	rezultati nepromijenjeni

profesionalni trkači			srednjem i submaksimalnom intenzitetu (pokretna traka)	pri $VO_{2max}$ <60%, negativan učinak pri $VO_{2max}$ >70%
Zajac i sur. brdski biciklisti	4 tjedna	da	relativni $VO_{2max}$ , ukupno radno opterećenje (bicikl-ergometar)	pozitivan učinak na relativni $VO_{2max}$ , negativan učinak na ukupno radno opterećenje

### 6.3. SPORTOVI SNAGE I EKSPLOZIVNOSTI

Sportovi snage i eksplozivnosti sportovi su visokog intenziteta i kratkog trajanja ili serije aktivnosti kratkog trajanja visokog intenziteta s periodima odmora između (13). Oni se primarno oslanjaju na fosfagenski i glikogen-laktatni sustav potrošnje energije (13). Za ovakve je sportove izražena jača regrutacija brzih (bijelih) u odnosu na spora (crvena) mišićna vlakna. Među najpoznatije sportove snage i eksplozivnosti spadaju sprint, skokovi, borilački sportovi, powerlifting, košarka, rukomet, odbojka i nogomet (13). Sportovi koji podrazumijevaju težinske kategorije zahtijevaju od sportaša da maksimiziraju performans uz pravilnu kontrolu tjelesne težine, tj. optimalan omjer snage i težine (*power-to-weight ratio*, *PWR*) (31). Za različite sportove iz ove kategorije sportaši prakticiraju raznovrsne dijete ne bi li neposredno prije natjecanja skinuli suvišak kilograma te se tako plasirali na vrh niže težinske kategorije. KD jedan je od novijih optimalnih načina za postizanje tog cilja.

Paoli i sur. opisali su očuvanost snage u elitnih gimnastičara nakon 4 tjedna KD. Na uzorku od 8 profesionalnih gimnastičara uspoređivali su uspješnost izvedbe različitih

gimnastičkih elemenata (32). Iako je snaga ostala očuvana, ispitanici su nakon 4 tjedna KD imali neznatno nižu TT i nižu razinu masnog tkiva. (32) Slične rezultate pokazuje i studija Rhyu i sur. U toj studiji ispitano je 20 profesionalnih taekwondoista pri čemu je 10 ispitanika bilo na režimu KD, a 10 na miješanoj dijeti tijekom 3 tjedna (33). Provedeni su sljedeći testovi: trčanje na 2000 m, Wingate test, snaga hvata, 100 m sprinta i druge borilačke vještine. Nakon 3 tjedna provođenja KD uočena je neznatna promjena TT i postotka masnog tkiva (33). Međutim, grupa na KD imala je bolje rezultate na 2000 m sprinta uz subjektivno manji osjećaj umora nego grupa na miješanoj dijeti, dok su rezultati Wingate testa i 100 m sprinta u bili gotovo nepromijenjeni (33). Također, grupi na KD izmjerene su niže razine upalnog čimbenika TNF-  $\alpha$  (*tumor necrosis factor  $\alpha$* ). Poboljšanje rezultata ove grupa ispitanika (trčanje na 2000 m u trajanju >8 min) može se objasniti zaključcima studije koje su proveli Jeukendrup i sur. Prema tom istraživanju, elitne biciklistice i biciklisti na utrkama od 3000 m (3:30 min) i 4000 m (4:11 min) oslanjali su se ~75%, odnosno ~85% na aerobni metabolizam (33). Tako je moguće da aerobni mehanizam čini dobar, ako ne i veći dio aktivnosti visokog intenziteta u trajanju 3 – 8 min, iako ovdje nisu mjereni čimbenici aerobnog metabolizma (34, 35). Za navedenu je studiju važno napomenuti kako su u kontrolnim skupinama (miješana dijeta) ispitanici konzumirali niže razine proteina od onih na KD (33). S obzirom da visok unos bjelančevina podupire osjećaj sitosti, nemoguće je razlučiti je li gubitak TT rezultat same KD ili diskrepancije u unosu bjelančevine između ispitanika (34). Istraživanja na temu učinka KD na izrazito brze i snažne, pojedinačne eksplozivne pokrete (*1 RM*) izrazito su oskudna. Takvi su pokreti prisutni u *powerliftingu* i oslanjaju se isključivo na fosfageni sustav (31). Dostatan odmor između ponavljanja takvih pokreta omogućuje primjerenu obnovu zaliha ATP-a i PK-a. Greene i sur. ispitali su učinak KD na profesionalne powerliftere (35). 14 sportaša nasumično je raspoređeno u grupe koje su

konzumirale KD i miješanu dijetu. Mjereni su performansi natjecateljskih disciplina, tjelesna kompozicija, bazalni metabolizam, GUK i elektroliti (35). Na kraju istraživanja pokazalo se kako je grupa na KD značajno smanjila TT bez učinka na performans, tj. mišićnu snagu (35). Poboljšanje rezultata ove grupa ispitanika (trčanje na 2000 m u trajanju >8 min) može se objasniti zaključcima studije koje su proveli Jeukendrup i sur. (33). Prema tom istraživanju, elite biciklistice i biciklisti na utrkama od 3000 m (3:30 min) i 4000 m (4:11 min) oslanjali su se ~75%, odnosno ~85% na aerobni metabolizam (33). Tako je moguće da aerobni mehanizam čini dobar, ako ne i veći dio aktivnosti visokog intenziteta u trajanju 3 – 8 min, iako nisu mjereni čimbenici aerobnog metabolizma (35). Iako smjernice za prehranu sportaša nalažu dostupnost UH za optimalne rezultate, nekoliko studija pokazuje povoljan ili nemjerljiv učinak KD na aktivnosti kratkog trajanja i visokog intenziteta poput sprinta na 400 m. Zanimljiv je podatak iz pilot studije Kepharta i sur. u kojoj su cross-fit sportaši očuvali jednak rezultat na utrci na 400 m nakon 3 mjeseca KD, iako je takva utrka glikolitičke prirode (36). Ovaj je podatak moguće pripisati značajnom gubitku TT u ispitanika (-3 kg u usporedbi s ne-KD skupinom: -0,3 kg)(36). Paoli i sur. proveli su i studiju na 16 poluprofesionalnih nogometaša u trajanju od 30 dana (37). Podijelili su ih u skupine na KD i WD, mjereći između ostalog udio masnog i mišićnog tkiva te izometričnu snagu kvadricepsa. Krajnji rezultati pokazali su znajčno niži udio masnog tkiva u grupi na KD te nepromijenjenu snagu kvadricepsa (37). Do danas nema objavljenih studija koje bi objasnile učinak KD na profesionalne sprintere ili skakače. (Tablica 4)



Tablica 4. Učinak KD na sportaše iz različitih sportova u kategoriji sportova snage i eksplozivnosti.

<b>Studija i ispitivani sportaši</b>	<b>Trajanje KD</b>	<b>Fiziološka ketoza postignuta</b>	<b>Provedeni test</b>	<b>Učinak KD na krajnji rezultat</b>
Paoli i sur. elitni gimnastičari	4 tjedna	nije poznato	natjecateljski gimnastički elementi	nepromijenjeni rezultati
Rhyu i sur., profesionalni taekwondoisti	3 tjedna	nije poznato	trčanje na 2000 m, Wingate test, snaga hvata, 100 m sprint, druge borilačke vještine	rezultat na 2000 m bolji kod grupe na KD, ostali rezultati nepromijenjeni
Green i sur., profesionalni powerlifteri	12 tjedana	nije poznato	čučanj potisak šipke mrtvo dizanje	nepromijenjen rezultat
Kephart i sur., cross-fit sportaši	12 tjedana	da	400 m sprint	nepromijenjen rezultat
Paoli i sur., poluprofesionalni nogometaši	30 dana	da	mjerjenje izometričke snage kvadricepsa	nepromijenjen rezultat

#### 6.4. TJELESNA KOMPOZICIJA

KD dokazano je povoljan način gubitka TT, no mehanizam djelovanja i dalje je nepoznat (38). Jedno od objašnjenja jest kako je iskorištavanje masti energetski vrlo zahtjevan proces. U prvih nekoliko dana, prije prilagodbe na KD, mozak troši 10 g glukoze na dan. Ona se jednim dijelom dobiva hidrolizom glicerola iz masti, a drugi dio podmiruje se glukoneogenezom. Glukoneogeneza troši 330 – 360 kJ/dan (39). Iako uvjerljiva, ova teorija nema dovoljno čvrste temelje, a postoje i studije koje dokazuju kako KD nema nikakav učinak na brzinu ili intenzitet metaboličkih procesa (40). Moguća neistražena objašnjenja za učinkovitost KD na gubitak TT jesu: 1) pojačana oksidacija masti 2) snižavanje razina grelina (cirkulirajući hormon gušterače koji stimulira glad) 3) drugi direktni ili indirektni učinci na hormonalni profil vezan za osjećaj gladi i sitosti (41).

Niža TT poželjan je faktor u mnogobrojnim sportovima, primjerice u bodybuildingu gdje niži postotak masnog tkiva pogoduje izražavanju oblikovanih mišića (42). Za sportove koji podrazumijevaju svrstavanje u kategorije na temelju TT poželjnije je biti na višoj granici niže kategorije. Međutim, različite dijete kojima se postiže brz gubitak TT nose i višestruke rizike poput dehidracije, zamora mišića, psihičkog umora ili elektrolitnog disbalansa (42). Rigorozne dijete restriktivne su po pitanju makronutrijenata (UH, masti, proteini), ali i mikronutrijenata (vitamini, minerali) (43). KD s druge strane osigurava unos svih potrebnih tvari, ali, kao i gladovanje, inaktivira *insulin-like growth factor* (IGF-1), hormon koji pogoduje rastu mišića (43). Metoda procjene tjelesne kompozicije u daljnjim istraživanjima je **denzitometrija (DXA)**, radiološka pretraga koja se koristi x-zrakama za procjenu gustoće različitih vrsta tkiva.

Wilson i sur. proveli su istraživanje u kojem su uspoređivali utjecaj KD u usporedbi sa zapadnjačkom prehranom (*Western diet, WD*) na utrenirane muškarce koji su trenirali s

opterećenjem (44). S jedne strane imamo sudionike koji su 10 tjedana bili na režimu KD, nakon čega ih se dodatnih nekoliko tjedana pratilo na WD, dok s druge imamo sudionike koji su cijelo vrijeme praćenja bili na WD. Iako je povećanje mišićne mase bilo gotovo jednako u obje grupe nakon 10 tjedana dijete i treninga, zanimljivo je kako je grupa muškaraca na KD više povećala mišićnu masu u završnim tjednima na WD u usporedbi s grupom koja je svo vrijeme bila na WD (44). Paoli i sur. u svom su istraživanju na profesionalnim bodybuilderima istražili učinak KD na 19 nasumično raspodijeljenih dobrovoljaca (45). Ispitanici su podijeljeni u grupu na KD i grupu na WD. Mjereni su postotak masnog tkiva i mišićne mase kao i razine upalnih parametara, inzulina i glukoze u krvi. Nakon 2 mjeseca istraživanja dokazano je značajno veće smanjenje udjela masnog tkiva u grupi na KD, dok se mišićna masa neznatno povećala u grupi na WD, a upalni su parametri, inzulin i GUK bili nešto niži kod grupe na KD (45).

Mišićne biopsije pokazale su kako 28 dana KD smanjuje zalihe glikogena 4x, dok presječne studije pokazuju neznatne promjene zaliha u slučaju >8 ili >9 mjeseci prilagodbe na KD (23). Moguće je da je duža prilagodba (>9 mj) na KD povoljna za uspostavu normalnih glikogenskih zaliha i samim time očuvanje ili poboljšanje sportskog performansa, no za objasniti ovakvu hipotezu još uvijek ne postoje dostupna istraživanja (26, 46). (Tablica 5)

Tablica 5. Učinak KD na tjelesnu kompoziciju profesionalnih sportaša

<b>Studija i ispitivani sportaši</b>	<b>Trajanje KD</b>	<b>Fiziološka ketoza postignuta</b>	<b>Provedeni test</b>	<b>Učinak KD na krajnji rezultat</b>
Wilson i sur., sportaši koji treniraju s opterećenjem	10 tjedana	da	DXA	smanjenje udjela masnog tkiva, blago povećanje mišićne

				mase nakon uvođenja UH
Paoli i sur., profesionalni bodybuilderi	2 mjeseca	da	DXA	smanjenje udjela masnog tkiva, negativan učinak na mišićnu masu

## 6.5. PSIHOLOŠKI STATUS

Višestruke studije dokazuju povezanost brzog gubitka TT sa smanjenjem koncentracije, gubitkom pamćenja, sniženjem samopouzdanja te povećanjem umora, zbunjenosti i depresivnog osjećaja (47). Smanjena koncentracija za sportaša znači nepravilno izvođenje pokreta, neispravnu tehniku i povećan rizik od ozljede. Gubitak pamćenja osobit je problem na natjecanju gdje je sportašu potrebna dobra prijemčivost uputa (47). Nisko samopouzdanje povezano je i s niskom asertivnošću i kompetitivnošću, važnim odlikama profesionalnih sportaša. Sveopći negativan pristup treningu i natjecanju doprinose lošim sportskim rezultatima, ali i narušavaju osjećaj zadovoljstva prilikom bavljenja sportom (47).

Fiziološka ketoza kakvu uzrokuje KD metaboličko je stanje koje se uvelike razlikuje od onog u restriktivnim dijetama ili gladovanju. U prvih nekoliko dana prilagodbe na KD očekuju se umor, razdražljivost, letargija, nesanica i zbunjenost (48). Daljnjom prilagodbom i pravilnim pridržavanjem smjernica ove se nuspojave gube, a opisani su i stabilizacija raspoloženja te pojačanje kognitivnih sposobnosti (49). S obzirom da KD nalikuje gladovanju, u organizmu se aktiviraju slični mehanizmi prilagodbe. Tako se u KD, kao i u gladovanju, pojačano luči *brain-derived neurotrophic factor* (BDNF), protein koji djeluje kao regulator energetske unosa i

potrošnje, ali i stvaranja sinapsi, neurogeneze i otpornosti živčanog sustava na stres (50, 51).

Unatoč ovim zapažanjima, nedostaju eksperimentalna istraživanja koja bi ispitala učinak KD na profesionalne sportaše.

## 7. ZAKLJUČAK

Pregledom literature utvrđujem da je broj eksperimentalnih istraživanja na temu učinka KD kod profesionalnih sportaša oskudan. Iako broj istraživanja raste nakon 2000. godine, ona su uglavnom izvođena na grupama rekreativaca ili amatera. Istraživanja koja sam odlučila obuhvatiti imaju vrlo mali broj ispitanika što uvelike povećava mogućnost statističke pogreške. Mjerene vrijednosti između istraživanja nisu standardizirane te se tako razlikuju i mjerenja unutar samog testa (pr. Wingate test koji može trajati 30, 60 ili 120 sec). Precizna i standardizirana mjerenja poput mjerenja laboratorijskih parametara su a) nepraktična za terenske ili natjecateljske uvjete i b) nedostatna za kvantifikaciju performansa. Unatoč navedenom, na temelju dostupnih istraživanjima u mogućnosti sam izvući neke zaključke.

Za učinak KD potrebna je prilagodba organizma na iskorištavanje masti kao izvor energije što je potvrđeno već nakon 28 dana. Ovakav se metabolički obrat u tijelu može pratiti porastom ketonskih tijela. KD pokazala se povoljnom u sportovima izdržljivosti srednjeg intenziteta ( $VO_{2max} = 45 - 64\%$ ) utoliko što je performans ostao jednak prije i nakon ispitivanja. U natjecateljskim uvjetima koja podrazumijevaju submaksimalni intenzitet ( $VO_{2max} = 65 - 89\%$ ) KD ima negativan učinak na performans jer energetske zahtjevi profesionalnih sportaša iziskuju bogate glikogenske zalihe i dostupnost UH za optimalne rezultate. Za sportove snage i eksplozivnosti KD nije pokazala značajne rezultate, kako pozitivne, tako ni negativne. Iznimka

su sportovi u kojih se sportaše dijeli u težinske kategorije jer KD potpomaže smanjenju udjela masnog tkiva i TT. Ovakav učinak mogao bi se povezati i s povećanim PWR-om. Osim dokazano pojačane oksidacije masti, što smanjuje udio masnog tkiva, utjecaj na mišićnu masu ostaje nerazjašnjen. Psihološki učinci KD nisu dobro objašnjeni u eksperimentalnim uvjetima, ali se anegdotalno opisuju benefiti KD na emotivnu stabilnost nakon dugoročne prilagodbe. Postavlja se pitanje *compliance-a* ili dugoročne održivosti ovakvog tipa prehrane s obzirom da zahtijeva educirano planiranje i praćenje.

Možebitni čimbenici koji doprinose nedostatku literature na ovu temu jesu činjenica da je KD teška za praćenje (mjerenje razine ketonskih tijela) i provođenje (prilagodba prehrambenih navika). Također, profesionalni sportaši nezahvalna su skupina ispitanika jer će vrlo malen broj sportaša pristati na nedovoljno istražene eksperimente koji bi im u konačnici mogli narušiti performans, a samim time ugroziti njihov novčani način uzdržavanja.

## **8. ZAHVALE**

Zahvaljujem mentoru izv. prof. dr. sc. Milanu Miloševiću što mi je dao povjerenje da biram temu i izgradim od nje diplomski po svojoj volji. Zahvaljujem roditeljima i braći što su mi omogućili lagodan studentski život da se poništi s nelagodnom samog studiranja pa smo na nuli. Zahvaljujem prijateljima, Fideliju Aranciniju, što su imali *meme* za svaku prigodu. Osobito zahvaljujem Luki što bi me na svaki moj tantrum podsjetio da „nitko nije umro i sve ćemo riješiti“. I sve smo riješili. Zahvaljujem Ladi, svojoj bahatoj četveronožnoj haharki, goniču kruha, što me svojim nemogućim i nepredvidivim ponašanjem naučila da ništa nije sigurno i da

za dobru svinju nema lošeg napoja. Za kraj zahvaljujem svojoj Maci, Macimilijanu, Damiru.  
Hvala ti na nježnosti i odlučnosti da me voliš, i kad grebem i kad predem. Moj si način sretnog.

## 9. LITERATURA

1. Wheless JW. History of the ketogenic diet. *Epilepsia*. 2008;49(SUPPL. 8):3–5.
2. Freeman JM, Kossoff EH, Hartman AL. The ketogenic diet: One decade later. *Pediatrics*. 2007;119(3):535–43.
3. Masood W, Annamaraju P, Uppaluri K. Ketogenic Diet [Internet]. StatPearls Publishing. 2022 [cited 2022 Mar 27]. Available from:  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK499830/>
4. Greenamyre JT, Sherer TB, Betarbet R, Panov A V. Complex I and Parkinson ' s Disease. 2001;135–41.
5. Van Der Auwera I, Wera S, Van Leuven F, Henderson ST. A ketogenic diet reduces amyloid beta 40 and 42 in a mouse model of Alzheimer's disease. *Nutr Metab*. 2005;2:1–8.
6. Zhao Z, Lange DJ, Voustantiouk A, MacGrogan D, Ho L, Suh J, et al. A ketogenic diet as a potential novel therapeutic intervention in amyotrophic lateral sclerosis. *BMC Neurosci*. 2006;7:1–10.
7. Nebeling LC, Miraldi F, Shurin SB, Lerner E. Effects of a ketogenic diet on tumor metabolism and nutritional status in pediatric oncology patients: two case reports. *J Am Coll Nutr* [Internet]. 1995 Apr;14(2):202–8. Available from:

<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07315724.1995.10718495>

8. Mavropoulos JC, Yancy WS, Hepburn J, Westman EC. The effects of a low-carbohydrate, ketogenic diet on the polycystic ovary syndrome: A pilot study. *Nutr Metab (Lond)* [Internet]. 2005 Dec 16;2(1):35. Available from: <https://nutritionandmetabolism.biomedcentral.com/articles/10.1186/1743-7075-2-35>
9. Dashti HM, Al-Zaid NS, Mathew TC, Al-Mousawi M, Talib H, Asfar SK, et al. Long Term Effects of Ketogenic Diet in Obese Subjects with High Cholesterol Level. *Mol Cell Biochem*. 2006 Jun 21;286(1–2):1–9.
10. El Bacha T, Luz M, Da Polan A. Dynamic Adaptation of Nutrient Utilization in Humans. *Nat Educ*. 2010;3(9):8.
11. Guyton AC, Hall JE. *Udžbenik Medicinska fiziologija*. 13. izd. Andreis I, Kukolja Taradi S, Taradi M, editors. Zagreb: Medicinska naklada; 2017.
12. Paoli A, Cenci L, Grimaldi KA. Effect of Ketogenic Mediterranean diet with phytoextracts and low carbohydrates / high- protein meals on weight , cardiovascular risk factors , body composition and diet compliance in Italian council employees. *Nutr J* [Internet]. 2011;10(1):112. Available from: <http://www.nutritionj.com/content/10/1/112>
13. Evans M, Cogan KE, Egan B. Metabolism of ketone bodies during exercise and training: physiological basis for exogenous supplementation. *J Physiol* [Internet]. 2017 May 1;595(9):2857–71. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1113/JP273185>
14. Mustajbegović J, Milošević M, Brborović H. *Medicina rada i sporta*. Medicinska naklada; 2018. 189 p.



15. Murray B, Rosenbloom C. Fundamentals of glycogen metabolism for coaches and athletes. *Nutr Rev.* 2018 Apr 1;76(4):243–59.
16. ASTRAND I. Aerobic work capacity in men and women with special reference to age. *Acta Physiol Scand Suppl.* 1960;49(169):1–92.
17. Green S, Dawson B. Measurement of Anaerobic Capacities in Humans. *Sport Med.* 1993 May;15(5):312–27.
18. Bangsbo J, Gollnick PD, Graham TE, Juel C, Kiens B, Mizuno M, et al. Anaerobic energy production and O<sub>2</sub> deficit-debt relationship during exhaustive exercise in humans. *J Physiol.* 1990 Mar 1;422(1):539–59.
19. Plowman S. Anaerobic Metabolism during Exercise. In: *Sports-Specific Rehabilitation.* Elsevier; 2003. p. 39–63.
20. Vandewalle H, Pérès G, Monod H. Standard Anaerobic Exercise Tests. *Sport Med* [Internet]. 1987;4(4):268–89. Available from: <http://link.springer.com/10.2165/00007256-198704040-00004>
21. Bergström J, Hultman E. A Study of the Glycogen Metabolism during Exercise in Man. *Scand J Clin Lab Invest* [Internet]. 1967 Jan 8;19(3):218–28. Available from: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.3109/00365516709090629>
22. Phinney SD, Horton ES, Sims EAH, Hanson JS, Danforth E, Lagrange BM. Capacity for Moderate Exercise in Obese Subjects after Adaptation to a Hypocaloric, Ketogenic Diet. *J Clin Invest.* 1980 Nov 1;66(5):1152–61.
23. Phinney SD, Bistrrian BR, Evans WJ, Gervino E, Blackburn GL. The human metabolic

- response to chronic ketosis without caloric restriction: Preservation of submaximal exercise capability with reduced carbohydrate oxidation. *Metabolism*. 1983 Aug;32(8):769–76.
24. Burke LM, Burke LM. Re-Examining High-Fat Diets for Sports Performance : Did We Call the ‘ Nail in the Coffin ’ Too Soon ? *Sport Med*. 2015;
  25. Volek JS, Noakes T, Phinney SD. Rethinking fat as a fuel for endurance exercise. *Eur J Sport Sci*. 2015 Jan 2;15(1):13–20.
  26. Webster CC, Noakes TD, Chacko SK, Swart J, Kohn TA, Smith JAH. Gluconeogenesis during endurance exercise in cyclists habituated to a long-term low carbohydrate high-fat diet. *J Physiol*. 2016;594(15):4389–405.
  27. Burke LM, Ross ML, Garvican-Lewis LA, Welvaert M, Heikura IA, Forbes SG, et al. Low carbohydrate, high fat diet impairs exercise economy and negates the performance benefit from intensified training in elite race walkers. *J Physiol*. 2017;595(9):2785–807.
  28. SHAW DM, MERIEN F, BRAAKHUIS A, MAUNDER E, DULSON DK. Effect of a Ketogenic Diet on Submaximal Exercise Capacity and Efficiency in Runners. *Med Sci Sport Exerc* [Internet]. 2019 Oct;51(10):2135–46. Available from: <https://journals.lww.com/10.1249/MSS.0000000000002008>
  29. Zajac A, Maszczyk A, Zydek G. The Effects of a Ketogenic Diet on Exercise Metabolism and Physical Performance in Off-Road Cyclists. 2014;2493–508.
  30. Maunder E, Kilding AE, Plews DJ. Substrate Metabolism During Ironman Triathlon : Different Horses on the Same Courses. *Sport Med*. 2018;

31. Cronin JB, Hansen KT. Strength and Power Predictors of Sports Speed. *J Strength Cond Res.* 2005;19(2):349.
32. Paoli A, Grimaldi K, Agostino DD, Cenci L, Moro T, Bianco A, et al. Ketogenic diet does not affect strength performance in elite artistic gymnasts. 2012;1–9.
33. Jeukendrup AE, Craig NP, Hawley JA. The bioenergetics of world class cycling. *J Sci Med Sport [Internet].* 2000 Dec;3(4):414–33. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1440244000800080>
34. Aragon AA, Schoenfeld BJ, Wildman R, Kleiner S, Vandusseldorp T, Taylor L, et al. International society of sports nutrition position stand : diets and body composition. 2017;1–19.
35. Greene DA, Varley BJ, Hartwig TB, Chapman P, Rigney M. A Low-Carbohydrate Ketogenic Diet Reduces Body Mass Without Compromising Performance in Powerlifting and Olympic Weightlifting Athletes. *J Strength Cond Res.* 2018 Dec;32(12):3373–82.
36. Kephart WC, Pledge CD, Roberson PA, Mumford PW, Romero MA, Mobley CB, et al. The three-month effects of a ketogenic diet on body composition, blood parameters, and performance metrics in crossfit trainees: A pilot study. *Sports.* 2018;6(1).
37. Paoli AA, Mancin L, Caprio M, Monti E, Narici M V, Cenci L, et al. Effects of 30 days of ketogenic diet on body composition , muscle strength , muscle area , metabolism , and performance in semi-professional soccer players. 2021;1–13.
38. Bueno NB, de Melo ISV, de Oliveira SL, 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* [Internet]. 2013 Oct 14;110(7):1178–87. Available from: [https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0007114513000548/type/journal\\_article](https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0007114513000548/type/journal_article)
39. Veldhorst MA, Westerterp-Plantenga MS, Westerterp KR. Gluconeogenesis and energy expenditure after a high-protein, carbohydrate-free diet. *Am J Clin Nutr* [Internet]. 2009 Sep 1;90(3):519–26. Available from: <https://academic.oup.com/ajcn/article/90/3/519/4597025>
  40. Paoli A, Grimaldi K, Bianco A, Lodi A, Cenci L, Parmagnani A. Medium term effects of a ketogenic diet and a Mediterranean diet on resting energy expenditure and respiratory ratio. *BMC Proc* [Internet]. 2012 Jun 1;6(S3):P37. Available from: <https://bmcproc.biomedcentral.com/articles/10.1186/1753-6561-6-S3-P37>
  41. Roekenes J, Martins C. Ketogenic diets and appetite regulation. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. 2021 Jul;24(4):359–63.
  42. Chevront SN, Kenefick RW. Dehydration: Physiology, Assessment, and Performance Effects. In: *Comprehensive Physiology* [Internet]. Wiley; 2014. p. 257–85. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cphy.c130017>
  43. Sandri M, Barberi L, Bijlsma AY, Blaauw B, Dyar KA, Milan G, et al. Signalling pathways regulating muscle mass in ageing skeletal muscle. The role of the IGF1-Akt-mTOR-FoxO pathway. *Biogerontology*. 2013 Jun 19;14(3):303–23.
  44. Wilson JM, Lowery RP, Roberts MD, Sharp MH, Joy JM, Shields KA, et al. Effects of Ketogenic Dieting on Body Composition, Strength, Power, and Hormonal Profiles in Resistance Training Men. Vol. 34, *Journal of strength and conditioning research*. 2020.

3463–3474 p.

45. Paoli A, Cenci L, Pompei P, Sahin N, Bianco A, Neri M, et al. Effects of Two Months of Very Low Carbohydrate Ketogenic Diet on Body Composition , Muscle Strength , Muscle Area , and Blood Parameters in Competitive Natural Body Builders. 2021;
46. Volek JS, Freidenreich DJ, Saenz C, Kunces LJ, Creighton BC, Bartley JM, et al. Metabolic characteristics of keto-adapted ultra-endurance runners. *Metabolism*. 2016;65(3):100–10.
47. Franchini E, Brito CJ, Artioli GG. Weight loss in combat sports: physiological, psychological and performance effects. *J Int Soc Sports Nutr* [Internet]. 2012 Feb 6;9(1). Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1186/1550-2783-9-52>
48. Bostock ECS, Kirkby KC, Taylor B V., Hawrelak JA. Consumer Reports of “Keto Flu” Associated With the Ketogenic Diet. *Front Nutr* [Internet]. 2020 Mar 13;7. Available from: <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fnut.2020.00020/full>
49. Murphy P, Likhodii S, Nylén K, Burnham WM. The antidepressant properties of the ketogenic diet. *Biol Psychiatry* [Internet]. 2004 Dec;56(12):981–3. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0006322304010066>
50. Longo VD, Mattson MP. Fasting: Molecular Mechanisms and Clinical Applications. *Cell Metab* [Internet]. 2014 Feb;19(2):181–92. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1550413113005032>
51. Paoli A. Ketogenic Diet for Obesity: Friend or Foe? *Int J Environ Res Public Health*. 2014 Feb 19;11(2):2092–107.

## 10. ŽIVOTOPIS

Rođena sam 21.3.1997. u Bjelovaru, gdje završavam osnovnu školu i prirodoslovno-matematičku gimnaziju. U srednjoj sam školi polaznica državnih natjecanja iz hrvatskog jezika, LiDraNo-a, atletike i biologije. Trenutno završavam svoje akademsko obrazovanje na Medicinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.

Dobitnica sam Dekanove nagrade za odličan uspjeh na prvoj godini fakulteta. Za vrijeme fakulteta radila sam kao student demonstrator na katedri iz Medicinske fizike (2016.-2020.), Histologije i embriologije (2017. – 2019.) i Anatomije (2016./17.). 2017.-2021. godine urednica sam studentskog časopisa Medicinar, za čije sam djelovanje 2020./21. godine nagrađena Rektorovom nagradom. Na četvrtoj sam godini studija bila aktivna članica studentske udruge „StEPP (Studentska ekipa prve pomoći)“. 2018. – 2020. djelovala sam kao aktivna članica Studentske sekcije za neuroznanost. 2020. i 2021. godine obnašala sam ulogu potpredsjednice Studentske sekcije za radiologiju. Osnivačica sam i jedna od voditeljica studentske sekcije za promociju kreativnoumjetničkog stvaralaštva „Hipokart“, osnovane 2021. godine. Za vrijeme trajanja studija radila sam nekoliko studentskih poslova u ugostiteljstvu: u književnoj udruzi „Booksa“ i *craft* pekarnici „Breadclub“. U slobodno vrijeme bavim se *trail* trčanjem i biciklizmom s užitim interesom za *ultra-trail* utrke.

Napominjem dobro poznavanje rada na računalu, korištenje Microsoft Office-a i Photoshop-a.

