

# Raspoloživa energija kod sportašica: Umjetničko plivanje

---

Gaši, Amanda

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Food Technology and Biotechnology / Sveučilište u Zagrebu, Prehrambeno-biotehnološki fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:159:959501>

*Rights / Prava:* [Attribution-NoDerivatives 4.0 International/Imenovanje-Bez prerada 4.0 međunarodna](#)

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



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Food Technology and Biotechnology](#)



**Sveučilište u Zagrebu**  
**Prehrambeno-biotehnološki fakultet**  
**Preddiplomski studij Nutricionizam**

**Amanda Gaši**

7645/N

**RASPOLOŽIVA ENERGIJA KOD SPORTAŠICA:  
UMJETNIČKO PLIVANJE**  
**ZAVRŠNI RAD**

**Predmet:** Prehrana sportaša i vojnika

**Mentor:** prof.dr.sc. Zvonimir Šatalić

**Zagreb, 2020.**

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Završni rad

Sveučilište u Zagrebu  
Prehrambeno-biotehnološki fakultet  
Preddiplomski sveučilišni studij Nutricionizam

Zavod za poznavanje i kontrolu sirovina i prehrambenih proizvoda  
Laboratorij za znanost o prehrani

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti  
Znanstveno polje: Nutricionizam

### Raspoloživa energija kod sportašica: Umjetničko plivanje

Amanda Gaši, 0058213142

**Sažetak:** Koncept raspoložive energije je korisniji od energetske ravnoteže jer je bolji pokazatelj deficita energije. Niska raspoloživa energija se pojavljuje kada organizam nema dovoljno energije za obavljanje fizioloških potreba. Pojavljuje se namjerno kada se pre niskim energetske unosom želi smanjiti tjelesna masa ili nenamjerno kada energetske unos ne prati visoke energetske potrebe nastale velikom energetske potrošnjom uslijed intenziviranja treninga. Relativna energetska deficijencija u sportu (relative energy deficiency in sports, tj. RED-S) opisuje negativne učinke niske raspoložive energije na zdravlje i sportsku izvedbu. Umjetničko plivanje je estetski sport u kojem je važan izgled tijela te je cilj ovog rada utvrditi imaju li umjetničke plivačice rizik od niske raspoložive energije te razvoja RED-S. Dosadašnja istraživanja prikazuju kako su sportašice estetskih sportova, pa tako i umjetničke plivačice, u riziku od posljedica niske raspoložive energije. Do sada je provedeno samo jedno istraživanje na tu temu i rezultati pokazuju kako za vrijeme intenzivnih priprema pred natjecanje plivačice imaju nisku količinu raspoložive energije. Daljnja istraživanja će vjerojatno pružiti informacije o specifičnim posljedicama i načinima popravljivanja ovog problema kod ovih sportašica.

**Ključne riječi:** raspoloživa energija, relativna energetska deficijencija u sportu, umjetničko plivanje

**Rad sadrži:** 31 stranicu, 4 slike, 1 tablicu, 66 literaturnih navoda, 0 priloga

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Rad je u tiskanom i elektroničkom obliku pohranjen u knjižnici Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 23, 10 000 Zagreb**

**Mentor:** prof.dr.sc. Zvonimir Šatalić

**Pomoć pri izradi:** /

**Datum obrane:** 10.07.2020.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

Bachelor thesis

**University of Zagreb**  
**Faculty of food technology and biotechnology**  
**University undergraduate study Nutrition**

**Department of Food Quality control**  
**Laboratory for nutrition science**

**Scientific area: Biotechnical Sciences**  
**Scientific field: Nutrition**

**Energy availability in female athletes: Artistic swimming**

**Amanda Gaši, 0058213142**

**Abstract:** The concept of energy availability is more useful than energy balance because it's a better indicator of energy deficit. Low available energy occurs when the body doesn't have enough energy to perform physiological needs. It can occur intentionally when too low energy intake is intended to reduce body weight or unintentionally when energy intake does not follow the high energy needs caused by high energy consumption due to intensified training. Relative energy deficiency in sport (RED-S) describes the negative effects of low energy availability on health and athletic performance. Artistic swimming is an aesthetic sport in which the appearance of the body is important and the aim of this paper is to determine whether artistic swimmers are at risk of low energy availability and the development of RED-S. Previous research shows that aesthetic sports athletes, including artistic swimmers, are at risk of consequences caused by low energy availability. So far, only one study was conducted on this topic and the results show that during intensive preparations before the competition, swimmers have low energy availability. Therefore, further research will probably give more information about specific consequences and ways of fixing this problem in these female athletes.

**Keywords:** artistic swimming, energy availability, relative energy deficiency in sport

**Thesis contains:** 31 pages, 4 figures, 1 table, 66 references, 0 supplements

**Original in:** Croatian

**Thesis is in printed and electronic form deposited in the library of the Faculty of Food Technology and Biotechnology, University of Zagreb, Kačićeva 23, 10 000 Zagreb**

**Mentor:** Zvonimir Šatalić, PhD

**Technical support and assistance:** /

**Defence date:** 10.07.2020.

## Sadržaj

1. UVOD.....	1
2. TEORIJSKI DIO.....	2
2.1. UMJETNIČKO PLIVANJE.....	2
2.2. TRENING I FIZIOLOŠKE ZNAČAJKE UMJETNIČKIH PLIVAČICA.....	3
2.3. ANTROPOMETRIJSKE ZNAČAJKE I SASTAV TIJELA UMJETNIČKIH PLIVAČICA.....	4
2.4. POREMEĆAJI HRANJENJA I POREMEĆAJI U PREHRANI.....	4
2.5. METABOLIZAM ENERGIJE.....	5
2.6. ENERGETSKE POTREBE.....	7
2.7. RASPOLOŽIVA ENERGIJA.....	7
2.8. IZRAČUNAVANJE RASPOLOŽIVE ENERGIJE.....	10
2.8.1. PROCJENA ENERGETSKOG UNOSA HRANE.....	11
2.8.2. MJERENJE SASTAVA TIJELA.....	12
2.8.3. MJERENJE TJELESNE MASE.....	14
2.8.4. PROCJENA ENERGETSKE POTROŠNJE TOKOM TRENINGA.....	14
2.9. NISKA RAZINA RASPOLOŽIVE ENERGIJE.....	15
2.10. PREVALENCIJA NISKE RASPOLOŽIVE ENERGIJE KOD SPORTAŠA/ICA.....	16
2.11. RELATIVNA ENERGETSKA DEFICIJENCIJA U SPORTU (RED-S).....	17
2.11.1. UTJECAJ NISKE RASPOLOŽIVE ENERGIJE NA MENSTRUALNI CIKLUS.....	19
2.11.2. UTJECAJ NISKE RASPOLOŽIVE ENERGIJE NA ZDRAVLJE KOSTIJU.....	20
2.11.3. UTJECAJ NISKE RASPOLOŽIVE ENERGIJE NA METABOLIČKU RAZINU U MIROVANJU.....	21
2.11.4. UTJECAJ NISKE RASPOLOŽIVE ENERGIJE NA IMUNOSNI SUSTAV.....	22
2.11.5. UTJECAJ NISKE RASPOLOŽIVE ENERGIJE NA KARDIOVASKULARNI SUSTAV.....	23
2.11.6. UTJECAJ NISKE RASPOLOŽIVE ENERGIJE NA SPORTSKU IZVEDBU.....	24
2.11.7. LIJEČENJE RED-S.....	25
3. ZAKLJUČAK.....	26
4. POPIS LITERATURE.....	27

## 1. UVOD

Umjetničko plivanje je dinamičan sport u vodi u kojem su uključeni elementi plivanja, gimnastike i plesa. Zahtjeva veliku utreniranost sportaša u vidu snage, izdržljivosti, mogućnosti zadržavanja daha pod vodom te sinkroniziranosti sa suplivačicama (Monuntjoy, 1999), a to će se postići učestalim, dugotrajnim i mukotrpnim treninzima. Zbog svoje umjetničke komponente poželjan je određen estetski izgled tijela, stoga se velika pažnja obraća na tjelesnu masu i sastav tijela. Kada se uzme u obzir da s jedne strane plivačice moraju dugo i naporno trenirati, a s druge strane određeno izgledati, postavlja se pitanje da li su u riziku za pojavu niske razine raspoložive energije.

U sportaša/ica, raspoloživa energija je ona koja je preostala za sve životne procese nakon što se od ukupnog dnevnog unosa oduzela energija potrošena tijekom tjelesne aktivnosti. Minimalna razina raspoložive energije koja je potrebna za normalan menstrualni ciklus iznosi 30 kcal/kg nemasne mase dnevno, a preporučena je barem 45 kcal/kg nemasne mase dnevno. Energetska ravnoteža je jednostavno objašnjeno odnos unosa energije i ukupne energetske potrošnje. Ona nije dovoljno dobar pokazatelj fiziološkog stanja tijela jer može biti 0 kcal po danu, a to ne mora značiti da je unos energije dovoljan za sve procese koji se odvijaju u tijelu. Iz tog razloga je bolje koristiti koncept raspoložive energije (Loucks i sur.,2011).

Niska razina raspoložive energije može dovesti do relativne energetske deficijencije koja za posljedicu može imati utjecaj na sportsku izvedbu, ali i na zdravlje sportaša/ica. Stoga je za dobrobit sportaša/ica vrlo važno utvrditi da li je razina raspoložive energije zadovoljavajuća (Robertson i Mountjoy, 2018).

Glavni cilj ovog rada je pregledati svu dosad objavljenu literaturu i utvrditi ima li za umjetničke plivačice rizika od pojave niske razine raspoložive energije te posljedično razvoja relativne energetske deficijencije u sportu. Na početku teorijskog dijela se nalazi nešto više informacija o umjetničkom plivanju, trenažnim i tjelesnim zahtjevima umjetničkih plivačica te o njihovom prehranbenom ponašanju, a u drugom dijelu se nalazi dio koji obrađuje koncept raspoložive energije, njezine prevalencije i posljedice na zdravlje i sportsku izvedbu. U zaključku se može naći sažetak sadašnjih informacija vezanih za nisku energetske raspoloživost u umjetničkih

plivačica te prijedlozi za spriječavanje pojave niske razine raspoložive energije te pitanja za daljnja istraživanja.

## 2. TEORIJSKI DIO

### 2.1. UMJETNIČKO PLIVANJE

Umjetničko plivanje (do 2017. sinkronizirano plivanje) je olimpijski sport koji se nalazi u programu ljetnih olimpijskih igara od 1984. godine. U olimpijskom programu prvo su postojale solo (1 natjecateljica) i duo (2 natjecateljice) rutine, no od 1996. godine postoje duo i timske (3 do 8 natjecateljica) rutine. Zanimljivo je istaknuti kako je uz ritmičku gimnastiku umjetničko plivanje jedina olimpijska disciplina u kojoj se natječu isključivo žene (iako inače postoje i muškarci koji se bave ovim sportom). Ideja sinkroniziranog plivanja rođena je početkom 20. stoljeća kada je australska plivačica Annette Kellerman u vodi izvodila akrobacije koje su postale vrlo popularne. Trenerica Catherine Curtis je došla na ideju kako bi se akrobacije trebale izvoditi uz muziku i samim time je sport postao zahtjevniji, ali i zabavniji. Daljnja popularizacija je uslijedila kada je američka glumica Esther Williams u nekoliko filmova izvodila balet u vodi. Frank Havlicek, učenik Catherine Curtis, definirao je prva pravila sporta i tad je umjetničko plivanje postalo natjecateljski sport. Danas su pravila regulirana od strane FINA-e (Fédération Internationale de Natation) čije je sjedište u Lausanneu. Svaki solo, duo i tim izvode tehničku i slobodnu rutinu. Za solo je vremenski limit tehničke rutine 2:00 min, a za slobodnu rutinu 2:30 min., za duo 2:20 min te 3:30 min, a za tim su to 2:50 min i 4:00 min. Tehnička rutina je sastavljena od 6-10 unaprijed odlučениh elemenata koji se moraju izvesti, a slobodna rutina je fleksibilnija i stoga u njoj dolazi do izraženije umjetničke interpretacije. Ocjenjuju se upravo tehnička i umjetnička izvedba i to ocjenom od 0 do 10, gdje 10 predstavlja najbolju ocjenu. U Hrvatskoj postoji 7 aktivnih klubova umjetničkog plivanja, a aktivna je i reprezentacija koja se natječe na raznim europskim i svjetskim natjecanjima.

## 2.2. TRENING I FIZIOLOŠKE ZNAČAJKE UMJETNIČKIH PLIVAČICA

Većina plivačica u rekreativno umjetničko plivanje ulaze kao djeca, a u dobi od 13 do 15 godina počinju trenirati i natjecati se na ozbiljnijoj razini (Mountjoy, 1999). Rutine u umjetničkom plivanju traju od 2 do 4 minuta (ovisno o disciplini) i zahtijevaju aerobnu izdržljivost s naletima anaerobne snage. Zahtjevni i precizno sinkronizirani pokreti visokog intenziteta provode se u okruženju bez gravitacije, a uz to se mora održati i umjetnički dojam (Robertson i sur., 2014). Stoga je uz aerobne treninge (koji uključuju trčanje, bicikliranje, aerobni ples ili plivanje) i treninge snage (koji uključuju trening s utezima specifičan za sport) bitno uključiti i treninge fleksibilnosti, tehnike i sinkronizacije sa muzikom i suplivačicama. Kako bi se postigla sinkronizacija na treninzima se često koristi video kamera kako bi se plivačicama ukazalo na greške, a u postizanju dobrog umjetničkog dojma nerijetko se uključuju i plesni koreografi (Mountjoy, 1999). Istraživanje koje su proveli Yamamura i sur. (1999) pokazuje kako aerobni kapacitet, izokinetična mišićna snaga fleksora i ekstenzora lakta, snaga ekstenzije noge, ekstenzija koljena te brzina plivanja, a ponajviše izdržljivost abdominalnih mišića koreliraju sa ocjenom izvedbe. Tipičan plan treninga elitnih umjetničkih plivačica tjedno uključuje 8 do 10 treninga u vodi (trajanje treninga od 2 do 4 sata) te 4 do 6 treninga van vode (trajanje treninga od 45 do 90 minuta) (Mountjoy, 2009). Kad se sve zbroji umjetničke plivačice provedu i do 40 sati tjedno trenirajući (Mountjoy, 2009). Zbog puno vremena provedenog na treningu, plivačicama je ponekad možda teško unijeti količinu energije koju trebaju (pošto vjerojatno ne jedu za vrijeme treninga) i to može biti jedan od razloga zašto dolazi do energetskog deficita.

Također, plivačice velik dio svoje natjecateljske rutine provedu s licem u vodi. Jedno istraživanje je utvrdilo da s licem pod vodom provedu čak od 51,2 do 61,2% (Homma, 1994), a drugo od 50 do 65% (Alentejano i sur., 2008) ukupnog trajanja rutine. Zadržavanje daha pod vodom i istovremene brze mišićne kontrakcije dovode do ograničene izmjene plinova jer se većina energije tijekom apneičnih perioda mora biti proizvedena akumulacijom ugljikovog dioksida i smanjenom dostupnošću kisika (Rodriguez-Zamora i sur., 2012). Dakle, pri zadržavanju daha u umjetničkih plivačica dolazi do hiperkapnije (povećane koncentracije ugljikovog dioksida) i hipoksije (smanjene koncentracije kisika). Jedna studija je pokazala da umjetničke plivačice imaju smanjen hipoksični ventilacijski odgovor (ali ne i hiperkapnični ventilacijski odgovor), povećan volumen pluća te apneičnu bradikardiju koji mogu činiti prednost za bolju sportsku izvedbu (Bjurstrom i Schoene, 1987). Također, umjetničke plivačice lakše mogu zadržati dah i



zato što imaju manji strah od držanja daha pod vodom (Alentejano i sur., 2010) stoga je vrlo važno da uz sve aspekte treninga ubroje i treninzi zadržavanja daha.

## 2.3 ANTROPOMETRIJSKE ZNAČAJKE I SASTAV TIJELA UMJETNIČKIH PLIVAČICA

Kao i u svakom sportu, poželjno je da umjetničke plivačice imaju određenu tjelesnu masu i sastav tijela kako bi postigle optimalnu sportsku izvedbu. Nadalje, iako izgled tijela nije ocjenjivana komponenta u umjetničkom plivanju, ono je ipak sport u kojem je vrlo važan umjetnički dojam, stoga se i zbog toga pažnja posvećuje tome kako umjetnička plivačica izgleda. Umjetničke plivačice imaju sličan sastav tijela kao i sportašice koje se bave drugim natjecateljskim sportovima u vodi (Costa i sur., 2019). U većini slučajeva, visina plivačica je jednaka kao i u normalnoj populaciji, no tjelesna masa i indeks tjelesne mase su niži (Lundy, 2011). Istraživanja koja su proveli Yamamura i suradnici (1999) te Šajber i suradnici (2017) su pokazala kako nema značajne korelacije između antropometrijskih značajki kao što su visina, tjelesna masa, tjelesna masnoća i nemasna tjelesna masa, širina (biakromijalna, biilijačna), opseg (vrata, prsa, struka, kukova, nadlaktice, podlaktica, bedra te listova) te dužina (ruke, noge, rame-lakat, list, stopalo, raspon ruku, visina u sjedećem položaju) te izvedbe i ocjene nastupa sportašica. No zbog estetskih razloga poželjno je da obje članice dueta ili sve članice tima imaju sličnu tjelesnu figuru te da one koje se tokom izvođenja akrobacija bacaju u zrak budu manje tjelesne mase, a one koje ih guraju u zrak budu veće tjelesne mase (Lundy, 2011). Također, još jedna bitna stavka je mineralna gustoća kostiju. Osteogeni učinak vježbanja na kosti uglavnom je posljedica udaraca o podlogu i mehaničkih opterećenja na kost (npr. u sportovima kao što su košarka, odbojka i slični sportovi) (Gomez-Burton i sur. 2013). Iako toga u sportovima u vodi nema, umjetničke plivačice nemaju značajno nižu mineralnu gustoću kostiju. Mineralna gustoća kostiju im je otprilike jednaka kao u opće populacije, no niža je od sportaša koji se bave sportovima u kojima se javljaju udarci o podlogu i stoga je za plivačice bitno da imaju i treninge van vode u kojima će se moći javiti osteogeni učinak udaraca o podlogu (Gomez-Burton i sur., 2013; Bellver i sur., 2019).

## 2.4. POREMEĆAJI HRANJENJA I POREMEĆAJI U PREHRANI

Za sportsku populaciju opća populacija misli da su zbog svojih sportskih izvedbi i napornih treninga „zdravi“ (Thompson i Trattner Sherman, 1999), no moderni sport postavlja sve veće

fizičke i psihičke zahtjeve pred sportaše koji između ostaloga mogu dovesti i do poremećaja u prehrani (ispunjava sve dijagnostičke kriterije za neku bolest (npr. anoreksiju nervozu)) te poremećaja u hranjenju (ne ispunjava sve dijagnostičke kriterije, ali postoje naznake poremećaja u prehrani). Sportaši su u većem riziku za razvoj poremećaja u prehrani od ne-atletske populacije (Sundgot-Borgen i Tortsveit, 2004), a posebice su u riziku sportaši koji se bave sportovima u kojima je važno zadržati određenu tjelesnu masu ili određeni izgled tijela (Sherwood i sur., 2002). Prijavljena prevalencija razvika poremećaja hranjenja i poremećaja u prehrani je od 18 do 45% za sportašice i od 0 do 28% za sportaše (Sundgot-Borgen, 1994; Tortsveit i Sundgot Borgen, 2005; Nichols i sur., 2007; da Costa i sur. 2013).

Kao što je već prije spomenuto, umjetničko plivanje je estetičan sport i puno pažnje se poklanja izgledu plivačica, pa su one zato i u većem riziku da razviju poremećaje u prehrani i poremećeno hranjenje koji mogu negativno utjecati na njihovo zdravlje i izvedbu rutine. Poseban rizičan faktor je i nošenje oskudnog i uskog kupaćeg kostima, a i važnost uniformnog izgleda svih članica jednog tima (Melin i sur., 2014). Iako umjetničke plivačice ne pokazuju veću prevalenciju problema s prehranom od sportašica koje se bave sportovima u kojima nije važna vitkost i mladih žena koje se ne bave sportom (što se ne slaže sa rezultatima studija koje su promatrale sportašice drugih estetičnih sportova), svejedno pokazuju veću stopu nezadovoljstva svojim tijelom i misle da imaju previše kilograma (Ferrand i sur., 2005). Također, Ferrand i sur. (2007) su kasnije proveli studiju u kojoj je također dosta ispitanica bilo nezadovoljno svojim tijelom (54,5%) te bi htjele izgubiti u prosjeku 3,40 kg i u kojem su putem upitnika prijavile da su koristile različite tehnike za gubitak tjelesne mase, ograničavale se u odabiru namirnica i vagale se nekoliko puta tjedno. Takvo prehrambeno ponašanje može dovesti do smanjene energetske raspoloživosti i do pojave relativne energetske deficijencije u sportu i njezinih negativnih posljedica. Iz tog je razloga vrlo bitno educirati umjetničke plivačice i njihove trenere o važnosti pravilne prehrane, a također i naglasiti trenerima da plivačicama ne stvaraju pritisak da moraju imati što nižu tjelesnu masu te da ih ne važu prečesto.

## 2.5. METABOLIZAM ENERGIJE

Metabolizam možemo podijeliti na katabolizam i anabolizam. U procesu katabolizma se komponente hrane (ponajviše masti i ugljikohidrati, ali i proteini) razgrađuju do CO<sub>2</sub> i vode, a u procesu anabolizma se pomoću prekursora stvaraju složene molekule (npr. proteini i ugljikohidrati). U procesu katabolizma se dobiva energija u obliku ATP-a, a u procesu

anabolizma se troši. ATP je bitna molekula koja služi kao donor energije u različitim procesima, između ostalog i za kontrakcije mišića, a energiju sadrži u dvije fosfoanhidridne veze. Postoje 3 sustava koji omogućavaju generiranje ATP-a, a to su fosfageni, laktatni anaerobni i aerobni sustav. Fosfageni sustav uključuje ATP i kreatin fosfat. Kada započne intenzivna tjelesna aktivnost energija za mišićne kontrakcije se prvo dobiva iz ATP-a (nekoliko milisekundi), a zatim iz kreatin fosfata koji ima fosfatnu skupinu koju donira ADP-u i tako regenerira ATP i osigurava trajanje aktivnosti još nekoliko sekundi. Idućih 60 do 180 sekundi se energija dobiva uglavnom anaerobnom glikolizom. Prvo se troši mišićni glikogen, zatim glukoza iz plazme, jetreni glikogen, a naposljetku glukoza dobivena glukoneogenezom iz neugljikohidratnih izvora. Piruvat nastao glikolizom u anaerobnom metabolizmu ne prevodi se u acetyl-CoA, već se pomoću enzima laktat dehidrogenaze prevodi u laktat (mliječnu kiselinu) pri čemu se NADH oksidira u NAD<sup>+</sup>. Nastali NAD<sup>+</sup> omogućava da se glikoliza nastavi jednakom brzinom, a laktat se akumulira. Laktat disocira, otpuštaju se ioni vodika i dolazi do pada pH. Zbog tog pada pH se javlja umor. Anaerobnim metabolizmom se dobiva daleko manje energije nego aerobnim, no on služi za dobivanje energije dok se ne osiguraju uvjeti za uspostavljanje aerobnog metabolizma. Nakon nekoliko minuta, aerobni metabolizam postaje dominantan izvor energije. U aerobnom metabolizmu supstrati su ponajviše ugljikohidrati i masti, ali mogu biti i proteini ili čak i alkohol. Cilj je dobivanje acetyl-CoA ili drugih supstrata ciklusa limunske kiseline te odvijanje ciklusa limunske kiseline i generiranje prvenstveno NADH i FADH<sub>2</sub> (ali i ponešto ATP-a). NADH i FADH<sub>2</sub> zatim ulaze u oksidativnu fosforilaciju gdje im je krajnji akceptor elektrona kisik pri čemu se dobiva puno veća količina energije nego anaerobnim metabolizmom. Pri dugotrajnoj tjelesnoj aktivnosti umjerenog intenziteta upravo se aerobnim metabolizmom dobiva najveća količina energije i masti postaju glavno gorivo. Važno je napomenuti kako navedeni sustavi za dobivanje energije djeluju istovremeno, dakle ne isključuju jedan drugoga, već samo u nekom periodu sportske izvedbe prevladava jedan nad drugima (Štalić i sur., 2016).

Rutine u umjetničkom plivanju su poprilično kratke s trajanjem od 2 do 4 minute (ovisno o disciplini). Tokom njih se izvode pokreti visokog intenziteta što nam govori o uključenosti anaerobnog glikolitičkog metabolizma. Yamamura i sur. (2000) su proveli istraživanje nad skupinom japanskih umjetničkih plivačica u kojemu se mjerila koncentracija laktata u krvi tokom simulirane slobodne rutine. Rezultati su pokazali kako su koncentracije laktata bile više što je dalje rutina odmicala. To nam ukazuje na to da je u početnom dijelu rutine glavni izvor energije fosfageni sustav, a kasnije anaerobni glikolitički metabolizam.

## 2.6. ENERGETSKE POTREBE

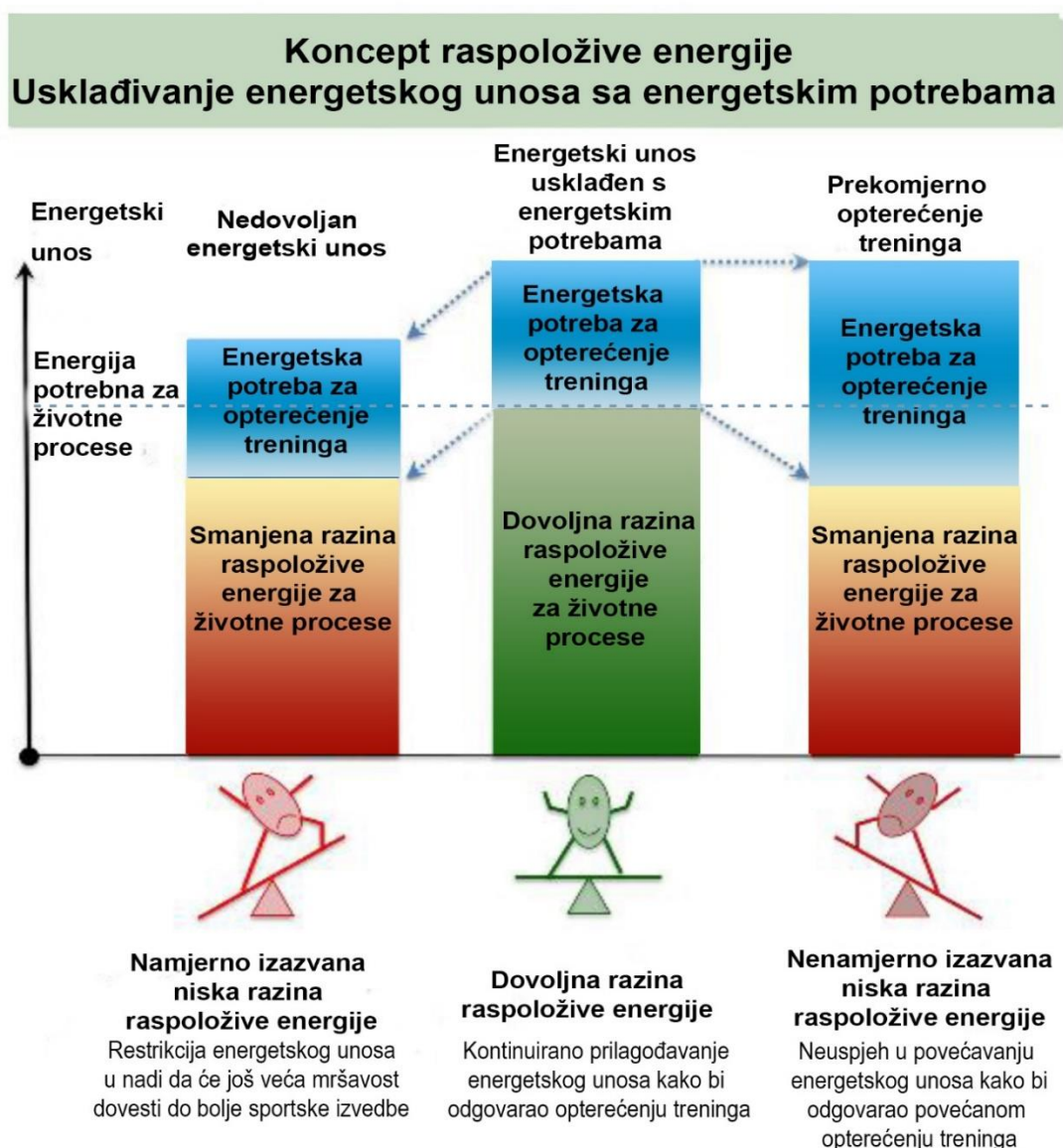
Očekivano je da sportaši imaju veću energetske potrošnju od opće populacije zbog velike količine tjelesne aktivnosti. Količina potrošene energije ovisi o fazi treninga i periodu godine te je najveća u mjesecima koji predhode nekom velikom natjecanju jer su tad treninzi najintenzivniji (Robertson i sur., 2014). Vrlo je bitno odrediti energetske potrebe sportaša kako bi ih se moglo kvalitetno savjetovati o pravilnoj prehrani te dijetetičkim metodama odrediti da li je njihov unos hrane dovoljan.

Zbog prirode umjetničkog plivanja teško je odrediti energetske potrošnju plivačica jer nije moguće kontinuirano mjeriti potrošnju volumena kisika ( $VO_2$ ) (Bante i sur., 2007) te iz tog razloga postoji jako malo istraživanja na tu temu. Ebine i sur. (2000) su mjerili energetske potrošnje skupine od 9 elitnih japanskih umjetničkih plivačica metodom dvostruko označene vode, koja je zlatni standard, ali je dosta skupa metoda pa stoga nije široko primjenjiva. Potrošnja se mjerila u periodu od 6 dana i ispitanice su provodile svoj uobičajeni režim treninga. Prosječna ukupna energetska potrošnja bila je 2738 kcal/dan i ne razlikuje se mnogo od preporučenog dnevnog unosa (recommended daily allowance-RDA) za Japanke koji iznosi 2897 kcal/dan. Energetska potrošnja u mirovanju iznosila je 1247 kcal/dan, a PAL (physical activity level, tj. stupanj tjelesne aktivnosti) je iznosio 2,18. Ovi rezultati prikazuju da se ukupna energetska potrošnja ne razlikuje puno od potrošnje elitnih sportašica koji se natječu u drugim sportovima, a posebice je slična onoj od natjecateljskih plivačica.

## 2.7. RASPOLOŽIVA ENERGIJA

Sportski nutricionisti već dugo proučavaju utjecaj energije unesene hranom kroz pojam energetske ravnoteže. Koncept energetske ravnoteže je taj da ona predstavlja količinu energije koja je dodana ili izgubljena iz tjelesnih zaliha nakon što svi organski sustavi „odrade“ svoj posao, dakle odnos unosa i energije utrošene tijekom cijelog dana. Nasuprot tome, raspoloživa energija je ona preostala za sve fiziološke procese u tijelu, nakon što se od ukupne količine energije unesene hranom, oduzme energija potrošena vježbanjem. Energija se više troši iz nemasne mase nego iz masne, pa se stoga energetske raspoloživost izražava u ovisnosti o dnevnim energetskim potrebama nemasne mase tijela. Za zdrave mlade odrasle osobe je energetska ravnoteža približno jednaka nuli kada je energetska raspoloživost jednaka 45 kcal/kg nemasne mase tijela, a smatra se da je energetska raspoloživost niska i ima negativan utjecaj

na zdravlje kad iznosi manje od 30 kcal/kg nemasne mase tijela. Zbog periodizacije treninga u sportaša, u različitim razdobljima je potrebna različita razina raspoložive energije (Loucks A.B., 2013; Šatalić i sur. 2016). Na slici 1 je moguće vidjeti koncept raspoloživosti energije. U sredini je prikazano kako za adekvatnu razinu raspoložive energije u sportaša/ica potrebno unijeti dovoljno energije za sve fiziološke procese u tijelu te energiju potrebnu za tjelesnu aktivnost, a sa strana je ilustrirano kako zbog namjernog preniskog energetskeg unosa ili nenamjerno zbog prevelike energetske potrošnje uzrokovane treningom (a neodgovarajućeg povišenja energetskeg unosa) može doći do nepoželjne niske razine raspoložive energije.



Slika 1. Koncept raspoložive energije (Keay i Francis., 2019).

Stubbs i sur. (2004) su proveli studiju u kojoj je 8 netreniranih ispitanika provelo 7 dana u sobi gdje se indirektnom kalorimetrijom mjerila njihova energetska potrošnja. Njihov energetske unos hranom, potrošnja energije vježbanjem te energetska raspoloživost su bili konstantni tokom tih 7 dana (energetska raspoloživost se održavala niskom, 30 kcal/kg nemasne mase tijela), no prvotno negativna energetska ravnoteža od -1730 kcal/dan se kretala ka 0 kcal/dan zbog usporavanja raznih fizioloških procesa u tijelu. Procijenili su da bi u roku od 2 do 4 tjedna u njihovim eksperimentalnim uvjetima, energetska ravnoteža u ispitanika bila 0 kcal/dan. Ovo studija je dobar pokazatelj zašto bi se kod procjene adekvatnosti energetskeg unosa hranom u sportaša, bolji bio koncept energetske raspoloživosti od energetske ravnoteže. Dakle pothranjeni sportaš može čak biti i u energetskej ravnoteži, no mjerenjem njegove energetske potrošnje će njegove energetske potrebe biti potcijenjene (Šatalić i sur., 2016).

U tablici 1 je prikazan potreban dnevni unos energije kako bi se postigla određena raspoloživa energija za umjetničku plivačicu, ovisno o cilju (održavanje ili gubitak tjelesne mase te hipertrofija) te različitim fazama treninga (dakle različitim energetskeim potrebama za opterećenje treninga). Također, prikazan je i dnevni energetskei unos kojim se postiže niska raspoloživa energija. Podaci za tjelesnu masu i nemasnu masu tijela te dnevnu energetskeu potrebu za opterećenje treninga su prosjek za umjetničke plivačice, a preuzeti su iz studije od Schaal i sur. (2016). Moguće je vidjeti kako je dnevno opterećenje treninga veće za vrijeme natjecateljske sezone za gotovo 300 kcal u odnosu na predsezonu, dakle za vrijeme sezone je potrebno postići viši energetskei unos kako bi se održala ista tjelesna masa. Nadalje, može se vidjeti kako je gotovo istim energetskeim unosom raspoloživa energija za vrijeme natjecateljske sezone puno niža (20 kcal/kg nemasne mase tijela/dan) u odnosu na predsezonu (26 kcal/kg nemasne mase tijela/dan). Stoga je vrlo važno prilagođavati dnevni energetskei unos ovisno o fazi i opterećenju treninga kako bi se postigla adekvatna razina raspoložive energije.

*Tablica 1. Prikaz potrebnog dnevnog unosa energije kako bi se postigla određena razina raspoložive energije ovisno o cilju (održavanje, povećanje ili smanjenje tjelesne mase) i energetskej potrebi za opterećenje treninga za prosječnu nemasnu masu tijela umjetničke plivačice. Također, prikazani su primjeri energetskeg unosa kojim se postiže niska raspoloživost energije. Prosječna tjelesna masa umjetničke plivačice je 58,9 kg, a prosječna nemasna masa tijela 48,6 kg. Podaci za tjelesnu masu i nemasnu masu tijela te dnevnu energetskeu potrebu za opterećenje treninga preuzeti su iz rada Schaal i sur. (2016).*

Situacija	Ciljana raspoloživost energije (kcal/nemasne TM)	Dnevna energetska potreba za opterećenje treninga (kcal)	Dnevni unos energije (kcal)	Postignuta razina raspoložive energije (kcal/kg nemase TM)
Trening u predsezoni, hipertrofija	>45	981	3460	51
Trening u predsezoni, održavanje TM	45	981	3168	45
Trening u predsezoni, niska raspoloživost energije	<30	981	2245	26
Trening u natjecateljskoj sezoni, održavanje TM	45	1264	3451	45
Trening u natjecateljskoj sezoni, zdrav gubitak TM	30-45	1264	2965	35
Trening u natjecateljskoj sezoni, niska raspoloživost energije	<30	1264	2236	20

## 2.8. IZRAČUNAVANJE RASPOLOŽIVE ENERGIJE

Kako bi se uspješno izmjerila raspoloživa energija kod sportaša/ica potrebno je znati nekoliko parametara. To su energetske potrebe za održavanje osnovne funkcije organizma, energetska potreba za održavanje tjelesne aktivnosti, energetska potreba za izgradnju mišićne mase (koju se može saznati mjerenjem sastava tijela) te količina energije utrošena za vrijeme tjelesne aktivnosti. Postoji više načina kako bi se procijenio ili izmjerio svaki parametar te to ovisi o mogućnostima i preferencijama ispitivača. Navedene parametre je potrebno uvrstiti u formulu za izračun energetske raspoloživosti prikazane na slici 2.

$$\begin{array}{ccc}
 \text{Raspoloživa energija} & = & \text{Energija unesena} \\
 \text{(kcal/kg nemasne mase)} & & \text{hranom (kcal)} \\
 & & - \\
 & & \text{Energija potrošena} \\
 & & \text{vježbanjem (kcal)} \\
 & & \text{/ nemasna masa (kg)}
 \end{array}$$

Slika 2. Jednadžba izračuna raspoložive energije.

### 2.8.1. PROCJENA ENERGETSKOG UNOSA HRANE

Za početak, potrebno je znati koliki je dnevni energetske unos hranom. To nam omogućuje nekoliko dijetetičkih metoda. Moglo bi se primijeniti 24-h prisjećanje, dnevnik prehrane ili duplikat dijeta. Duplikat dijetom se energetske unos saznaje tako što kroz određeni vremenski interval ispitanici sakupljaju jednaku količinu hrane i tekućine koju su konzumirali te ona zatim odlazi u laboratorij na ispitivanje. Za zahtjevan i obvezama natrpan raspored sportaša/ica ona će možda biti neprikladna jer je potrebno pripremati dvostruku količinu hrane, sakupljati ju i dostavljati u laboratorij radi ispitivanja, a i nedostatak je što ta hrana na kraju ostane „neiskorištena“. 24-h prisjećanje se provodi u obliku intervjua. Tijekom intervjua ispitanik se najčešće prisjeća hrane i pića koju je konzumirao jučer ili prije 2 dana (jer postoji mogućnost manje točnosti rezultata zbog ispitanikove nemogućnosti prisjećanja svih konzumiranih namirnica) te se zatim pomoću tablica s kemijskim sastavom hrane može odrediti energetska vrijednost konzumirane hrane i pića. Potrebno je prikupiti nekoliko prisjećanja te zabilježiti radi li se o danu treninga, natjecanja ili odmora kako bi se dobila prihvatljiva procjena unosa. Prednost ove metode je što ne oduzima puno vremena ispitaniku, a nedostatak je što će zbog ostavljanja dojma ispitanici možda biti neiskreni. Dnevnik prehrane prikuplja podatke o energetske unosu tako što ispitanik bilježi konzumiranje hrane i pića, najčešće od 1 do 7 dana, a zatim se pomoću tablica s kemijskim sastavom hrane vrši procjena unosa. Hrana i piće se mogu vagati ili procijeniti kuhinjskim posuđem, a neke namirnice (banane, jaja i slično) se mogu navoditi u komadima. Radi veće točnosti bolje bi bilo vagati hranu, no to je veće opterećenje za ispitanika. Prednost ove metode je što ispitanik neće zaboraviti konzumiranu hranu jer ju bilježi u realnom vremenu, a nedostatak je što će zbog ostavljanja dojma ili praktičnosti možda promijeniti izbor hrane. Također, ova metoda nije prikladna za osobe koje se često hrane izvan svoga doma. Svaka od ovih metoda ima svoje prednosti i nedostatke te osoba koja provodi ispitivanje treba procijeniti kojom metodom će najbolje procijeniti unos u datom trenutku (Šatalić i sur., 2016).



### 2.8.2. MJERENJE SASTAVA TIJELA

Potrebno je znati sastav tijela kako bismo mogli izračunati nemasnu masu tijela. To je moguće izmjeriti na više načina. Postotak masnog tkiva se vrlo jednostavno može izmjeriti mjerenjem debljine kožnih nabora pomoću instrumenta zvanog kaliper. Potrebno je izmjeriti debljine kožnih nabora s nekoliko točno određenih mjesta te se zatim pomoću neke od regresijskih jednadžbi (ima ih mnogo) može izračunati postotak masne i nemasne mase tijela. Najčešće se koristi metoda po Jacksonu i Pollocku kojom se mjerenjem triju kožnih nabora može izračunati postotak masne mase tijela. Ova metoda možda i nije najtočnija jer ovisi o preciznosti osobe koja provodi ispitivanje te kvaliteti kalipera, ali prednost je što oprema relativno nije skupa i lako je prenosiva.

Zlatni standard za mjerenje sastava tijela je nekad bila metoda hidrostatskog vaganja, a u njoj je potrebno izvagati tijelo izvan vode i u vodi te napraviti korekciju za rezidualni volumen pluća (količinu zraka koja ostaje u plućima nakon maksimalnog izdaha). Potrebno je imati prostor s bazenom u kojem će se ispitanik vagati pod vodom te odgovarajuću opremu. Temelj metode je Arhimedov zakon koji kaže da je tjelesna masa izvan vode u odnosu na tjelesnu masu pod vodom izravno povezana s gustoćom istisnute vode (Behnke, 1942). Ovo je formula po kojoj se može odrediti gustoća tijela ispitanika:

$$G_T = \frac{TM}{\frac{(TM - TM_V)}{G_V} - (RV + 100\text{ml})}$$

$G_T$  = gustoća tijela

$TM$  = masa tijela izvan vode

$TM_V$  = masa tijela pod vodom

$G_V$  = gustoća vode

$RV$  = rezidualni volumen

100 ml = volumen zraka u gastrointestinalnom sustavu

Nakon što se odredi gustoća tijela, postotak tjelesne masti se može izračunati prema Sirijevoj ili Brožekovoj jednadžbi. Problem u ovoj metodi bi mogao biti što ne uzima u obzir izvore varijabilnosti gustoće nemasne tjelesne mase.

Metoda zračne pletizmografije slično kao i metoda hidrostatskog vaganja može odrediti gustoću tijela. Princip je taj da se koriste plinski zakoni kako bi se opisao obrnuto proporcionalan odnos tlaka i volumena u dvije zatvorene komore. Komercijalno poznat sustav u kojem se odvija

mjerenje volumena se naziva BOD POD. Prvo se mjeri masa tijela ispitanika na digitalnoj ili medicinskoj vagi, a zatim se volumen tijela određuje tako što se mjeri volumen zraka koji ostane u komori poznatog volumena nakon što ispitanik sjedne u nju. Ispitanik za vrijeme mjerenja mora mirno sjediti te imati pripijen kupaći kostim i kapu za plivanje. Rezidualni volumen se može mjeriti pulmonarnom pletizmografijom ili se može približno odrediti pomoću podataka o dobi, spolu i visini. Gustoća tijela se može izračunati dijeljenjem izmjerene tjelesne mase s izmjerenim volumenom tijela, a postotak masnog tkiva se računa isto kao i kod metode hidrostatskog vaganja prema Sirijevoj ili Brožekovoj jednadžbi, stoga je i kod ove metode problem što ne uzima u obzir izvore varijabilnosti gustoće nemasne mase tijela. Prednost pred metodom hidrostatskog vaganja je to što se ispitanici ne moraju uranjati u vodu.

Još jedna metoda koja se često primjenjuje u procjeni sastava tijela sportaša je bioelektrična impedancija. Masna i nemasna masa tijela imaju različit električni otpor i to je temelj ove metode. Masna masa ima veći električni otpor jer sadrži manje vode (od 14 do 22%) koja ima dobru provodljivost zbog sadržaja elektrolita, a nemasna masa ima manji otpor jer sadrži otprilike 73% vode. Za ispitanika se propušta struja od najviše 800 mA i frekvencije 50 kHz te joj se mjeri otpor. Ta struja nije osjetljiva i nije štetna za ispitanika. Dobiveni električni otpor je indeks ukupne tjelesne masti i zatim se različitim formulama izračunava postotak masne i nemasne komponente. Kako bi se točno procijenio sastav tijela vrlo je bitno poštovati standardne uvjete mjerenja i pripremiti ispitanika za mjerenje. Kako tjelesna voda utječe na provodljivost struje potrebno je da ispitanik bude u stanju euhidracije. Preporuka je da se ne konzumiraju hrana i piće 8 sati prije mjerenje te je stoga mjerenje najbolje provesti nakon što se ispitanik probudi, a prije njegova doručka. Na tržištu je dostupno nekoliko instrumenata za mjerenje bioelektrične impedancije i razlikuju se karakteristikama, namjenom i kvalitetom, a prednost imaju oni sa 8 elektroda. Ova metoda pokazuje dobru korelaciju sa DXA-om i odlično je što postoje verzije instrumenata koji su prenosivi i nisu pretjerano skupi, no nedostatak je što zbog loše pripreme ispitanika ili uvjeta mjerenja može doći do nezanemarivih pogrešaka.

Dvoenergetska apsorpciometrija X zraka (DXA) za razliku od prije navedenih metoda mjeri više od dvije komponente tijela te kao takva prvenstveno služi za dijagnozu osteoporoze jer može mjeriti mineralnu gustoću kostiju. Temelji se na diferenciranom prigušivanju prenesenih fotona na dvije energetske razine pomoću koštanog, nemasnog i masnog tkiva. Doza zračenja je niska, metoda je neinvazivna, jednostavna, kratko traje, a daje i informaciju sastava tijela po regijama

tijela stoga je sportašima vrlo privlačna, no nedostatak je što zahtijeva optimalnu hidraciju i što na mjerenje utječe debljina tkiva (Driskell i Wolinski, 2011; Šatalić i sur., 2016).

Uz ove navedene metode mjerenja sastava tijela koje se najčešće koriste, postoji još mnogo metoda kao što je metoda mjerenja ekskrecije kreatinina, određivanje ukupne tjelesne vode, određivanje ukupnog tjelesnog kalija, mjerenje 3-metil histidina, metoda mjerenja ukupne električne provodljivosti, ultrazvučna metoda, neutronska aktivacijska analiza, računalna tomografija, nuklearna magnetska rezonancija, metoda infracrvene spektroskopije, a istražuju se i nove metode kao što je trodimenzionalno fotonsko skeniranje.

### 2.8.3. MJERENJE TJELESNE MASE

Ako nam je kod mjerenja sastava tijela poznat samo postotak masnog tkiva (kao npr. u metodi mjerenja kožnih nabora), potrebno je izmjeriti i tjelesnu masu ispitanika kako bismo mogli izračunati masu nemasne mase tijela. To je moguće korištenjem medicinske vage s pomičnim utegom ili digitalne vage, a provodi se tako da ispitanik na vagu staje obučen samo u donje rublje te se sa vage očita njegova tjelesna masa (Šatalić i sur., 2016).

### 2.8.4. PROCJENA ENERGETSKE POTROŠNJE TOKOM TRENINGA

Kako bi se procijenila potrošnja energije tijekom tjelesne aktivnosti, odnosno intenzitet tjelesne aktivnosti, koristi se metabolički ekvivalent (MET). Jedan MET se definira kao metabolička stopa u mirovanju, to jest količina kisika potrošena u mirovanju dok osoba sjedi u tišini na stolici te iznosi otprilike 3,5 ml O<sub>2</sub>/kg/min ili 1 kcal/kg/h. Sve druge aktivnosti se izražavaju u odnosu na energiju potrošenu u mirovanju. MET manji od 3 označava nizak intenzitet, od 3 do 6 umjeren, od 6 do 9 visok, a veći od 9 vrlo visok intenzitet tjelesne aktivnosti (Jette i sur., 1990; Šatalić i sur., 2016). MET vrijednosti koji bi mogli biti bitni u procjeni energetske potrošnje tokom treninga sinkroniziranog plivanja mogli bi biti MET za sinkronizirano plivanje, plivanje te trening s utezima. Sinkronizirano plivanje iznosi 8,7 MET-ova ako se koriste samo noge, a 9,8 ako se koriste samo ruke. Ovisno o brzini plivanja, MET-ovi iznose od 4,3 do 13,6, a za trening s utezima iznose 3 do 7 (Jette i sur., 1990). Kako vrsta treninga ovisi o periodizaciji treninga, tako intenzitet treninga može varirati od umjerenog do vrlo visokog.

Za procjenu energetske potrošnje bi se mogao koristiti i mjerač srčanih otkucaja. To zahtijeva kalibraciju i planiranje jer maksimalni puls i puls u mirovanju variraju od osobe do osobe. Zato treba znati toplinsku stopu u mirovanju i maksimalnu toplinsku stopu te odnos otkucaja srca i potrošnje energije. Obično se za to koristi ergometar i mjeri se unos kisika kako bi se mogla procijeniti potrošnja energije. Zatim ispitanik nosi mjerač otkucaja tokom aktivnosti i kasnije se pomoću odnosa otkucaja srca i potrošnje energije izmjeri energija potrošena za vrijeme treninga. Nedostatak ove metode je priprema potrebna prije mjerenja i to što povećanje broja otkucaja srca nije uvijek povezano s metaboličkom stopom. Emocionalni stres i promjena temperature također mogu utjecati na broj otkucaja srca (Driskell i Wolinski, 2011).

## 2.9. NISKA RAZINA RASPOLOŽIVE ENERGIJE

Postoji mogućnost da u sportaša dođe do niskih razina raspoložive energije. Razlozi za to mogu biti različiti. Jedan od njih je da sportaši namjerno ne unose dovoljno energije hranom jer žele biti što mršaviji kako bi pružali bolje sportske izvedbe, bolje izgledali ili se boje da će dobiti na tjelesnoj masi u slučaju ozljede ili bolesti. Također, razlog može biti i prisutnost poremećenog hranjenja ili poremećaja u prehrani kao što je anoreksija nervoza. S druge strane, pojava niske energetske raspoloživosti može biti rezultat nenamjernog nedovoljnog unosa hrane zbog velikih potreba za energijom koje uzrokuje povećano opterećenje treninga (Loucks, 2013). Glad ponekad nije dobar pokazatelj stvarnih energetske potreba, pa može doći do nesklada između unosa hrane i povećane energetske potrošnje (Šatalić i sur., 2016). Za regulaciju apetita je zaslužno nekoliko hormona. Grelin je peptidni hormon koji se primarno nalazi u želucu i njegov acilirani oblik potiče glad. Hormoni koji signaliziraju da je došlo do stanja sitosti su peptid YY, glucagon-like-peptide 1 (GLP-1) te pankreasni polipeptid. Neka istraživanja pokazuju utjecaj tjelovježbe na koncentracije hormona koji reguliraju apetit u plazmi. Anaerobna i aerobna tjelovježba imaju utjecaj na smanjenje koncentracije aciliranog grelina tokom i nekoliko sati nakon tjelovježbe, ali veći utjecaj ima aerobna tjelovježba (Broom i sur., 2007; Broom i sur., 2008; Becker i sur., 2012). Također, aerobna tjelovježba, posebice ona visokog intenziteta, ima utjecaj i na povećanu razinu peptida YY tokom tjelovježbe i nakon nje do prvog sljedećeg obroka (Becker i sur., 2012; Deighton i sur., 2013). Dakle, tjelovježba može utjecati na smanjenje apetita. To je u velikom broju slučajeva odlično jer možda može pomoći pretilim osobama da savladaju glad tokom redukcijskih dijeta. No kod sportaša koji često imaju veliku

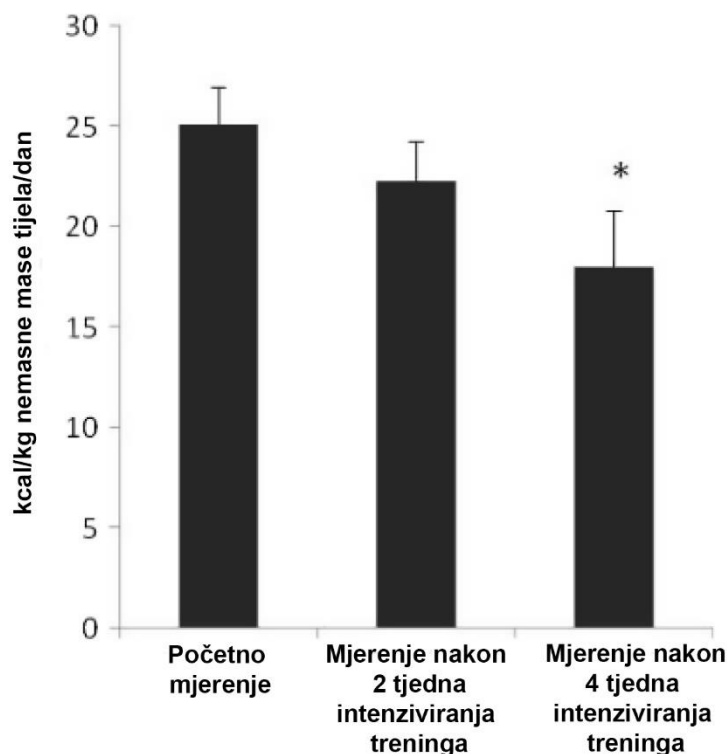
energetsku potrošnju zbog mnogobrojnih treninga to može biti loše jer će u tom slučaju doći do nedostatnog unosa hrane, dakle moguće i do niske raspoloživosti energije.

## 2.10. PREVALENCIJA NISKE RASPOLOŽIVE ENERGIJE KOD SPORTAŠA/ICA

Logue i suradnici su 2018. godine napisali pregledni rad u kojem su između ostalog promatrali istraživanja prevalencije raspoložive energije sportaša/ica iz različitih sportova. Procijenjenje vrijednosti niske raspoloživosti energije pokazale su kako sportaši brojnih sportova imaju nisku raspoloživu energiju, neki u manjem postotku, a neki u većem. Posebno se ističu rezultati studija nad natjecateljima sportova izdržljivosti u kojima je jedan rad procijenio kako svi ispitanici imaju nisku raspoloživu energiju, iako 2 studije provedene nad elitnim sportašima izdržljivosti pokazuju da nije tako („samo“ 20, odnosno 12% ispitanika ima nisku raspoloživu energiju). Studije provedene nad baletankama i ritmičkim gimnastičarkama pokazuju kako i one imaju nisku raspoloživu energiju (3 studije s baletankama i 1 studija s ritmičkim gimnastičarkama su pokazale kako 100%, 100% i 77%, odnosno 44,8% ispitanica ima nisku raspoloživu energiju). Ovi rezultati pokazuju kako su sportašice sportova u kojima je važan estetski izgled tijela zapravo u većem riziku od pojave niske raspoložive energije, a to potvrđuje i rad Menga i suradnika (2020) koji je pomoću upitnika za procjenu niske raspoloživosti energije kod žena, obrasca za poremećaje u prehrani, sastava tijela, mineralne gustoće kostiju i uzoraka krvi procjenjivao rizik za pojavu niske energetske raspoloživosti kod sportašica estetskih sportova. Rezultati su pokazali kako su sportašice estetskih sportova u povećanom riziku za pojavu niske energetske raspoloživosti. Također su pokazali kako su u većem riziku profesionalne od rekreativnih sportašica, vjerojatno zbog veće frekvencije i volumena treninga.

Kako je već više puta naglašeno, umjetničko plivanje je također sport u kojem je estetika vrlo bitna i pretpostavka je da će i one prikazati nisku raspoloživu energiju, bar u nekom periodu sezone. Do sada je provedena samo jedna studija u kojoj se istraživala pojava niske raspoložive energije kod umjetničkih plivačica. Mjerila se raspoloživa energija 11 ispitanica (od kojih 2 ispitanice zbog ozljede nisu završile ispitivanje) tokom jednog tjedna treninga „normalnim“ intenzitetom te zatim 4 tjedna intenziviranog treninga. Rezultati su pokazali kako su plivačice i tijekom perioda „normalnih“ treninga imale nisku razinu raspoložive energije, a porastom intenziteta treninga je raspoloživa energija bila sve niža (vidi sliku 3). Stoga je zaključak te

studije bio kako umjetničke plivačice pokazuju nisku raspoloživu energiju, posebice u fazi intenzivnijih treninga (Schaal i sur., 2016).



*Slika 3. Raspoloživa energija kod umjetničkih plivačica je niska, a intenziviranjem treninga sve više opada (preuzeto iz Schaal i sur., 2016)*

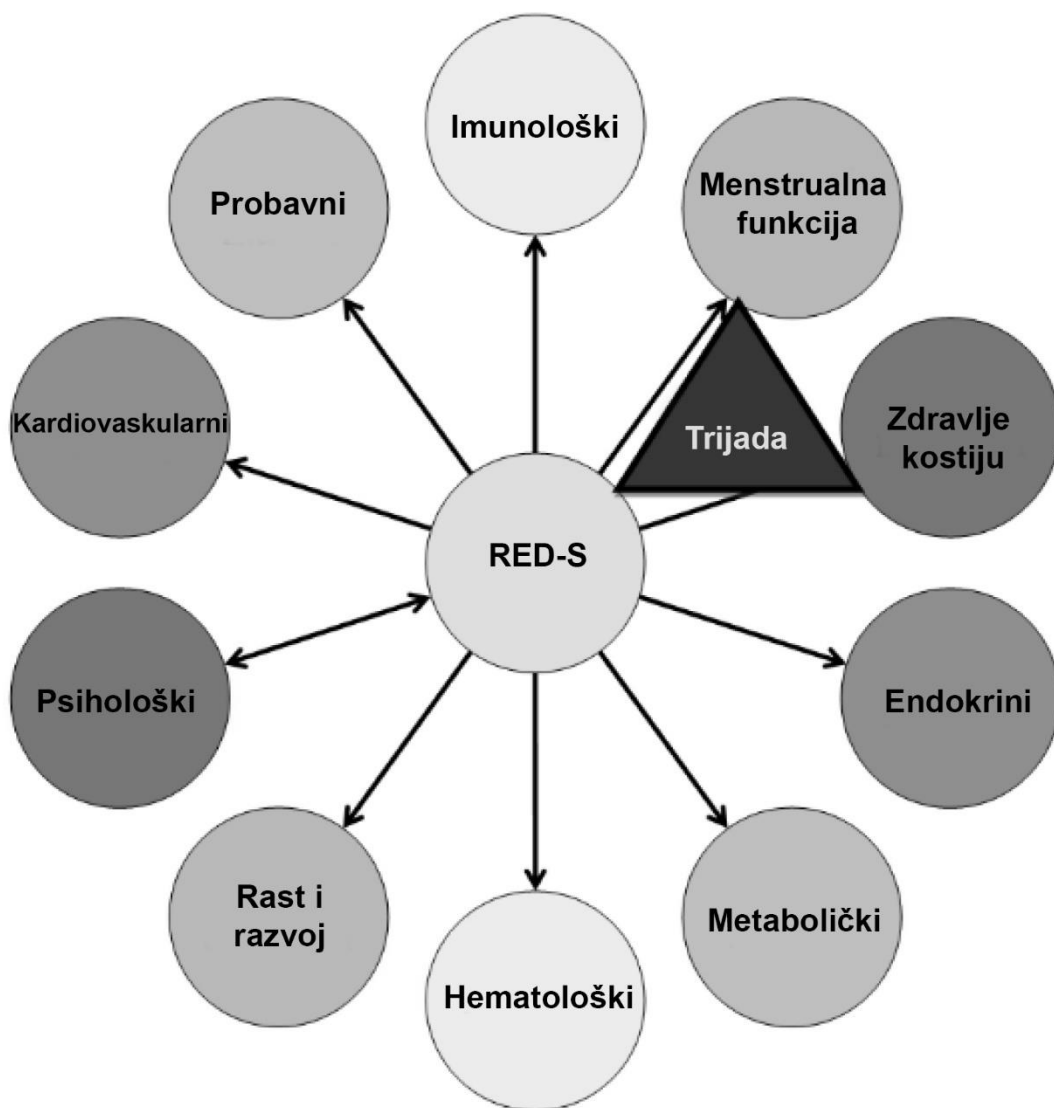
Svakako je za brigu visoka prevalencija niske raspoložive energije u nekim sportovima. Mogla bi utjecati na sportsku izvedbu, a samim time i na sportske uspjehe te na sveukupnu karijeru sportaša. Što je još važnije, mogla bi ostaviti i zdravstvene posljedice, a to se posebice odnosi na vrlo niske vrijednosti raspoložive energije kroz dulji vremenski period gdje može doći do pojave relativne energetske deficijencije u sportu.

## 2.11. RELATIVNA ENERGETSKA DEFICIJENCIJA U SPORTU (RED-S)

Termin trijasa sportašica je uveden 1992. godine te se odnosi na povezanost između poremećaja hranjenja te amenoreje i osteoporozе. Sada se taj termin ponajviše odnosi na subkliničke znakove tih poremećaja te se misli na međusobni odnos između deficita energije,

subklinički poremećaj menstrualnog ciklusa te nisku mineralnu gustoću kostiju. Smatra se kako rizik razvoja tih poremećaja ponajviše imaju sportašice estetskih sportova (u koje spada i umjetničko plivanje), sportova izdržljivosti te sportova u kojima je važno zadovoljiti težinsku kategoriju. Opširniji od termina trijasa sportašica je termin relativne energetske deficijencije u sportu te on osim utjecaja deficita energije na poremećaj menstrualnog ciklusa i nisku gustoću kostiju promatra i utjecaj na stopu metabolizma, imunitet, sintezu proteina, kardiovaskularno i psihološko zdravlje te potencijalno neke druge organske sustave (vidi sliku 4). Konsenzus Međunarodnog olimpijskog odbora je osmislio taj termin kako bi se bolje shvatila patofiziologija te uključenost više organskih sustava. Također, ovaj termin se odnosi i na muške sportaše kod kojih deficit energije isto potencijalno uzrokuje negativne posljedice, a može biti čest npr. u borilačkim sportovima gdje postoje težinske kategorije, kod džokeja, veslača i drugih (Mountjoy i sur., 2014; Šatalić i sur. 2016).

Kako bi se utvrdilo jesu li umjetničke plivačice razvile RED-S, kvalificirani zdravstveni djelatnik bi periodično trebao provoditi kliničku i laboratorijsku procjenu. Potrebna je periodična procjena kako bi se RED-S dijagnosticirao što ranije te kako bi se dugoročne posljedice za zdravlje izbjegle ili bile što manje, a i kako bi se izbjegli neželjeni učinci na sportsku izvedbu. Provjeriti bi trebalo postoje li znakovi RED-S kao što su niska raspoloživa energija, stres frakture, primarna i sekundarna amenoreja, oligomenoreja, česte virusne infekcije, nizak ITM ( $<17,5 \text{ kg/m}^2$ ), niska tjelesna masa ili velik gubitak na tjelesnoj masi u kratkom vremenu te nizak krvni tlak. Uz to je potrebno napraviti procjenu unosa hrane i pića. Također, potrebna je laboratorijska procjena parametara kao što su glukoza krvi natašte, feritin, vitamin D, LH, FSH, estradiol, slobodni trijodtironin, inzulin natašte, IGF-1, LDL kolesterol, metabolička razina u mirovanju te mineralna gustoća kostiju. Utvrdi li se da sportašica ima RED-S ili je u riziku, potrebno je s njome raditi na ispravljanju energetskog i nutritivnog deficita, a ukoliko postoji poremećaj hranjenja onda i na pravilnoj percepciji vlastitog tijela (Robertson i Mountjoy, 2018).



*Slika 4. Potencijalan učinak relativne energetske deficijencije u sportu na različite organske sustave (Mountjoy i sur., 2014).*

### 2.11.1. UTJECAJ NISKE RASPOLOŽIVE ENERGIJE NA MENSTRUALNI CIKLUS

Menstrualna disfunkcija može uključivati amenoreju, koja može biti primarna ili sekundarna, te oligomenoreju. Primarna amenoreja podrazumijeva izostanak prve menstruacije, a sekundarna gubitak menstruacije na minimalno 3 mjeseca u žena koje su inače imale menstruaciju. Oligomenoreja je neredovita menstruacija u kojoj je razmak između dvije menstruacije veći od 35 dana. Elitne umjetničke plivačice su u prosjeku imale zakašnjelu prvu mjesečnicu za 0,6



godina (Sambanis i sur., 2003).

Smatra se kako je uzrok amenoreje inhibicija osovine hipotalamus-hipofiza-jajnik, a za to je krivac nedostatak energije. Uzrok oligomenoreje je povećanje razine hormona testosterona iznad granica normale. Inhibicija osovine hipotalamus-hipofiza-jajnik dovodi do prekida pulsatilnog oslobađanja gonadotropin oslobađajućeg hormona (GnRH), a to za posljedicu ima redukciju otpuštanja luteinizirajućeg hormona (LH) te folikulo-stimulirajućeg hormona (FSH) iz gonadotropnih stanica prednjeg režnja hipofize. Na kraju, to rezultira slabijom proizvodnjom steroida iz jajnika, kao što su estradiol, progesteron te testosteron (De Souza i sur., 2019). U žena s redovitom menstruacijom do poremećaja u pulsiranju LH tokom 24 sata dolazi pri vrijednosti raspoložive energije manjoj od 30 kcal/kg nemasne mase tijela na dan. Poremećaj je bio izraženiji u žena s kraćom lutealnom fazom te je to okarakterizirano kao faktor rizika za poremećaj pulsiranja LH uzrokovanog nedostatkom energije (Loucks i Thuma, 2003). Deficit energije utječe na količinu leptina, hormona čija je koncentracija proporcionalna količini masnog tkivu te se smatra kako on signalizira nedostatak energije hipotalamičko-hipofiznoj osi te na taj način utječe na razvoj sportske amenoreje (Allaway i sur., 2016). Dolazi i do pada inzulinu sličnog faktora rasta (IGF-1). On potiče oslobađanje i GnRH i LH te se smatra kako i to djelomično utječe na smanjenje pulsirajućeg izlučivanja LH. Nadalje, smanjuje se količina izlučenog inzulina, IGF-vezujućeg proteina 1, tiroksina i trijodtironina, a povećava razina kortizola i grelina što isto može utjecati na pojavu amenoreje (Allaway i sur., 2016).

### 2.11.2. UTJECAJ NISKE RASPOLOŽIVE ENERGIJE NA ZDRAVLJE KOSTIJU

Većina koštane mase (50-63%) se stječe tijekom adolescencije i ranog odraslog doba (Southmayd i sur., 2019), stoga je u toj dobi (ali naravno u svim drugim fazama života) vrlo važno steći dovoljno koštane mase i spriječiti osteoporozu i rizik od prijeloma kostiju u starijoj dobi. Na to posebno moraju obratiti pozornost žene koje su u većem riziku od razvoja tog poremećaja jer je pad koncentracije estrogena jedan od rizičnih faktora, s obzirom da estrogen ima ulogu u suzbijanju aktivnosti osteoklasta (Ihle i Loucks, 2004). Kako je već objašnjeno u poglavlju koje opisuje utjecaj niske raspoložive energije na menstrualni ciklus, da nedostatak energije snižava koncentraciju spolnih hormona (kao i nekih drugih), moguće je očekivati da dođe i do slabljenja kostiju. Također, za očekivati je kako će i sam deficit energije loše utjecati na zdravlje kostiju. Ihle i Loucks su u svojoj studiji iz 2004. godine prikazale promjene u biomarkerima pregradnje kostiju (osteokalcina u plazmi (OC), serumskog propeptid

karboksiterminalnog propeptida tipa I u serumu (PICP) te mokraćnog N-telopeptida (NTX)), nakon što su eumenoreične žene u razmaku većem od 2 mjeseca podvrgnuli različitim razinama raspoložive energije. U prvom protokolu su sve ispitanice 5 dana imale uravnoteženu razinu raspoložive energije (45 kcal/kg nemasne mase na dan), a u drugom protokolu su imale jednu od niskih razina raspoložive energije (10, 20 ili 30 kcal/kg nemasne mase na dan). Rezultati su pokazali kako su razine NTX-a bile povećane samo pri vrlo niskoj razini raspoložive energije (10 kcal/kg nemasne mase na dan), a koncentracija PICP-a se snižavala pri svim nepoželjno niskim razinama raspoložive energije i to linearno sa snižavanjem razine raspoložive energije. Koncentracija OC je također opadala pri svim ispitivanim razinama te se većina pada dogodila između 20 i 30 kcal/kg nemasne mase na dan. Promjene u tim parametrima su dovele do zaključka kako bi vrlo niske razine raspoložive energije mogle dovesti do smanjenja mineralne gustoće kostiju (BMD) te do postizanja manje vršne koštane mase. Čini se da su loša prehrana i neadekvatan kalorijski unos glavni krivci za štetan utjecaj na kosti pri deficitu energije, a ne manjak estrogena. Doduše, na žene s menstrualnim nepravilnostima je manjak energije negativnije utjecao (Southmayd i sur., 2019).

Umjetničke plivačice bi mogle biti u dodatnom riziku zbog treniranja u vodi te nedostatka opterećenja na kosti i samim time nedostatka pozitivnog utjecaja treninga na zdravlje kostiju. Utvrđeno je kako imaju niži BMD u kostima ručnog zgloba, donjih udova te lumbalnih kralježaka od gimnastičarki te netrenirane populacije, dok se vrijednost samo malo razlikovala kad se računao prosječan BMD cijelog tijela. Valja napomenuti kako su sve umjetničke plivačice bile eumenoreične, tako da ovaj niži BMD vjerojatno nije bio rezultat negativnog utjecaja deficita energije i neravnoteže hormona (Tanaka i sur., 2006). S obzirom da se zna kako sportaši imaju veći BMD od netrenirane populacije, ovi podaci su znak kako su umjetničke plivačice možda u riziku od razvoja osteoporoze, posebice ako nemaju dovoljno raspoložive energije.

### 2.11.3. UTJECAJ NISKE RASPOLOŽIVE ENERGIJE NA METABOLIČKU RAZINU U MIROVANJU

Niska razina raspoložive energije može utjecati i na potrošnju energije u mirovanju. Melin i sur. (2014) su promatrali raspoloživu energiju i njezin utjecaj na žensku atletsku trijadu, a između ostalog i potrošnju energije kod 40 sportašica sportova izdržljivosti. Rezultati su pokazali kako je metabolička razina u mirovanju (resting metabolic rate-RMR) te omjer metaboličke razine u

mirovanju i nemasne tjelesne mase (RMR omjer) niži kod sportašica sa niskom i smanjenom raspoloživom energijom u uspoređi sa sportašicama koje su imale normalnu razinu raspoložive energije. RMR je bio 7% manji, a RMR omjer 6% manji. Pokazalo se kako postoji pozitivna korelacija između raspoložive energije i RMR-a. Također, RMR omjer je značajno manji kod žena s menstrualnim poremećajima u uspoređbi sa ženama bez njih (De Souza i sur., 2007). Kao što je napisano u poglavlju 2.11.1., menstrualni poremećaji su povezani s niskom razinom raspoložive energije. Dakle, postoje naznake kako niska razina raspoložive energije utječe na konzerviranje energije u svrhu očuvanja postojeće tjelesne mase i važnih životnih funkcija. Pošto je niska razina raspoložive energije često izazvana namjerno, kako bi došlo do smanjenja tjelesne mase, odnosno smanjenja masne mase, smanjenje RMR je svakako nepoželjno te može dovesti do sve većih energetske restrikcije te samim time još negativnijeg utjecaja na zdravlje. Konzerviranje energije je povezano s endokrinim adaptacijama poput smanjenih razina trijodtironina, inzulina, inzulinu sličnog faktora rasta-1, leptina te povećanim razinama kortizola, hormona rasta i grelina (De Souza i sur., 2007).

#### 2.11.4. UTJECAJ NISKE RASPOLOŽIVE ENERGIJE NA IMUNOSNI SUSTAV

Na funkciju imunosnog sustava utječe mnogo faktora. Neki od njih su nutritivni unos, tjelovježba, kvaliteta sna te stres. Umjerena tjelovježba te raznolika i uravnotežena prehrana imaju pozitivan učinak na funkciju imunosnog sustava (Logue i sur., 2017). No previše tjelovježbe u kombinaciji s nedostatnim energetske i nutritivnim unosom može imati negativan učinak na zdravlje. Predloženo je više mehanizama na koji dolazi do tih učinaka. Za početak, naporna tjelovježba i nedostatan energetske unos kroz dulje vrijeme mogu dovesti do izmijenjene raspodjele krvnih stanica i hematopoeze. Dolazi do povećanja proliferacije hematopoetskih matičnih stanica što rezultira povećanjem ukupnog broja cirkulirajućih leukocita i smanjenim brojem eritrocita. Dulje razdoblje niske raspoložive energije dovodi i do imunodeficijencije nastale inhibicijom proliferacije T-limfocita i promijenjenim odgovorom CD-4 T limfocita, a inhibicijom proliferacije i sazrijevanja B limfocita može doći do imunosupresije. Također, promjenom proliferacije B limfocita dolazi do promjene u glikolizaciji imunoglobulina G (IgG) te smanjenih razina IgG-a. Nadalje, suzbija se signalizacija i regulacija imunoloških reakcija posredovanih protutijelima imunoglobulina E, a dolazi i do smanjenja markera upale te smanjenja proizvodnje kemokina (Sarin i sur., 2019). Sve u svemu, dulji periodi niske raspoložive energije negativno utječu na imunosni sustav, koji je vrlo bitan posebno za

sportaše/ice koji radi napornih treninga i čestih ozljeda imaju povećan metabolički stres na organizam.

#### 2.11.5. UTJECAJ NISKE RASPOLOŽIVE ENERGIJE NA KARDIOVASKULARNI SUSTAV

Dušikov (II) oksid (NO) uzrokuje vazodilataciju ili vazodilataciju posredovanu protokom (FMD), a osim toga sprečava agregaciju trombocita, proliferaciju i migraciju vaskularnih mišića te adheziju leukocita (Hoch i sur., 2007). Dakle, svakako utječe na endotelnu funkciju i kardiovaskularno zdravlje. NO se pojačano oslobađa ako dođe do pojačanog protoka krvi i stresa smicanja te određenih kemijskih podražaja, ali i poticajem hormona estrogena jer koronarne i periferne žile sadrže estrogene receptore (Hoch i sur., 2007). Također, estrogen smanjuje oksidaciju lipoproteina niske gustoće (LDL), a i nakupljanje oksidiranog LDL-a u intimi (Rickenlund i sur., 2005.). Stoga je pretpostavka da će amenoreja zbog manjka estrogena uzrokovana niskom raspoloživom energijom negativno utjecati na endotelnu funkciju i kardiovaskularno zdravlje. Jedna studija je pokazala kako je dilatacija brahijalne arterije ovisna o endotelu niža u amenoreičnih trkačica ( $1,08 \pm 0,91\%$ ) za razliku od oligomenoreičnih ( $6,38 \pm 1,38\%$ ) te trkačica s normalnim menstrualnim ciklusom ( $6,44 \pm 1,28\%$ ), no vazodilatacija neovisna o endotelu, a uzrokovana utjecajem nitroglicerina je bila slična među skupinama (Zeni Hoch i sur., 2003). Slične rezultate su u svojoj studiji dobili Rickelund i sur. (2005), a također su rezultati pokazali kako su vrijednosti ukupnog serumskog kolesterola i LDL kolesterola značajno više u amenoreičnih sportašica za razliku od oligomenoreičnih i eumenoreičnih. Sve u svemu, manjak estrogena može dovesti do endotelne disfunkcije i promjena u sastavu lipida što može utjecati na razvoj ateroskleroze.

Kod osoba koje imaju anoreksiju nervozu (dakle vrlo nisku razinu raspoložive energije) već u vrlo ranim fazama poremećaja dolazi do smanjenja mase lijeve klijetke te smanjenja krajnjih sistoličkih i dijastoličkih dimenzija lijeve klijetke. Razlog tih promjena u lijevoj klijetci još nije potpuno jasan. Misli se kako do tih promjena može dovesti povećana aktivnost živca vagusa koja dovodi do smanjene kontraktilnosti i promjena u prednaprezanju. Uz to, primjećeno je kako je u žena s anoreksijom nervozom QT interval puno duži pa je i to moguće objašnjenje promjena na lijevoj klijetci. Također, promatrane su povezanosti s endokrinim markerima, a neki od njih mogu biti smanjena razina trijodtironina, natrija i IGF-1 te povišena razina hormona rasta. Promjene u masi i dimenzijama klijetke nisu izravno povezane sa lošijom funkcijom srca.

Hipomagnezija, hipofosfatemija, deficit selena i tiamina, a možda i hipoglikemija te preopterećenje kateholaminima mogu dovesti do promjena u kontraktilnosti srca. Prolaps mitralnog zaliska se javlja kod jedne do dvije trećine osoba s anoreksijom nervozom, što je puno više nego u normalnije populacije (od 0,6-2,4%), a u 15-71% pacijentica dolazi i do perikardijalnog izlivanja. Najčešća aritmija koja se pojavljuje je sinusna bradikardija, a u mnogo slučajeva pojavljuje se i sindrom posturalne ortostatske tahikardije. Također, pacijentice imaju i nizak broj otkucaja srca te nizak krvni tlak. Važno je napomenuti kako je većina ovih promjena reverzibilna i liječenjem nutritivnih deficita dolazi do popravka stanja (Spaulding-Barclay i sur., 2016).

#### 2.11.6. UTJECAJ NISKE RASPOLOŽIVE ENERGIJE NA SPORTSKU IZVEDBU

Niska razina raspoložive energije može na više načina ometati optimalnu sportsku izvedbu. Može doprinijeti lošijoj izvedbi gubitkom mišićne mase i tjelesne masti, abnormalnostima elektrolita i većom mogućnosti dehidracije (Logue i sur., 2017). Nakon 3 dana treniranja pod niskom raspoloživom energijom (15 kcal/kg nemasne mase tijela) količina mišićnog glikogena se smanjila za oko 30% u treniranih trkača dugoprugaša, no vrijeme do iscrpljenosti se nije bitno razlikovalo od trkača koji su imali normalnu razinu raspoložive energije (45 kcal/kg nemasne mase tijela). Također, ispitanici s niskom razinom raspoložive energije su se osjećali umornije od ispitanika s normalnom razinom (Kojima i sur., 2019). Manjak mišićnog glikogena može pogoršati izvedbu sportaša izdržljivosti, ali i sportaša brojnih drugih sportova. Studija koja je promatrala sportaše raznih sportova uoči Olimpijskih igara 2016. godine je utvrdila povezanost niske raspoložive energije i povećane mogućnosti za razvoj infekcija gornjeg dišnog sustava, probleme sa gastrointestinalnim traktom te lošijom kvalitetom spavanja (Drew i sur., 2017). Također, sportašice imaju povećanu mogućnost smanjenog odgovora na trening, slabije koordinacije, koncentracije i procjene te do pojave razdražljivosti i depresije (Ackerman i sur., 2019). Svi ovi problemi mogu utjecati na izvedbu ako su prisutni za vrijeme natjecanja, ali mogu utjecati na sportske rezultate i tako što će sportaši lošije obavljati zadatke te biti manje motivirani za vrijeme treninga ili više izostajati s treninga.

### 2.11.7. LIJEČENJE RED-S

Kako bi se izliječila RED-S potrebno je ispraviti energetske i nutritivne deficite. Za to je potreban tim stručnjaka koji uključuje liječnika sportske medicine, sportskog nutricionista, sportskog psihologa, trenera te obitelji same sportašice (Melin i sur., 2019). Za početak, potrebno je uspostaviti prikladan raspored obroka i međuobroka te na treninzima osigurati dovoljno vremena za konzumaciju hrane (ako je potrebno) i hidraciju. Nadalje, potrebno je osigurati dovoljno energije. Potreban je nutricionist kako bi izračunao individualne energetske potrebe sportašice koje moraju biti optimalne za njezine antropometrijske značajke i fazu treninga. Povećan energetske unos će se uspjeti postići većim unosom hrane, a ako je potrebno i smanjenim opterećenjem na treninzima će se smanjiti potrošnja energije. Uz to, sportašice je potrebno educirati o poželjnom odabiru namirnica koje će uz dovoljan energetske unos osigurati i poželjan omjer makronutrijenata te dovoljno mikronutrijenata i minerala. Umjetničke plivačice bi trebale dnevno konzumirati 5-7 g ugljikohidrata po kg tjelesne mase, 1,5-1,7 g proteina po kg tjelesne mase te bi minimalno 20% energetske unosa trebalo potjecati iz masti (Robertson i Mountjoy, 2018). Također, u pacijentica s anoreksijom nervozom je potrebno postepeno povećavati energetske unos da ne bi došlo do pojave "refeeding sindroma". Kako bi se povratio menstrualni ciklus potrebno je nekoliko mjeseci, a razina raspoložive energije bi trebala iznositi barem 30 kcal/kg nemasne mase tijela, a kako bi se povećala gustoća kostiju potrebno je dulje vrijeme i razina raspoložive energije od barem 45 kcal/kg nemasne mase tijela (Štalić i sur., 2016.; Melin i sur., 2019.). Upotreba oralne kontracepcije za ponovnu uspostavu menstrualnog ciklusa se ne preporučuje jer bi mogla zamaskirati problem niske raspoložive energije te na taj način negativno utjecati i na gustoću kostiju (Robertson i Mountjoy, 2018). Također, ukoliko sportašice ne unose dovoljno kalcija (1500 mg/dnevno) i vitamina D (400-800 IU/dnevno) potrebno je preporučiti suplementaciju (Štalić i sur., 2016). Ako postoji poremećaj prehrane potreban je rad sa sportskim psihologom, a ovisno o tipu, trajanju i težini poremećaja liječenje uključuje bihevioralnu terapiju, inhibitore ponovne pohrane serotonina i tricikličke antidepressive. Općenito svim sportašicama je potrebna edukacija o negativnim utjecajima deficita energije na zdravstveno stanje.

### 3. ZAKLJUČAK

Niska razina raspoložive energije je poprilično česta u svijetu sporta, posebice u estetskim sportovima. Može negativno utjecati na kratkoročno, ali i dugoročno zdravstveno stanje sportašica te biti naznaka ili korak ka poremećajima u prehrani. Naravno, može negativno utjecati i na sportsku izvedbu. Iz tog razloga je potrebna edukacija sportašica o važnosti dovoljnog energetskeg i nutritivnog unosa. Smatram kako je u radu sa sportašicama esencijalan sportski nutricionist koji će za svaku sportašicu izračunati individualne energetske potrebe te provoditi spomenutu edukaciju sportašica kako bi se prevenirao deficit energije te potražila pomoć ako deficit energije postoji, ali i trenera te obitelji sportašice kako oni ne bi stvarali određene pritiske za vitkom figurom te kako bi znali prepoznati ukoliko sportašica ima problem sa energetskeg deficitom i/ili poremećajem u prehrani. Nadalje, potrebni su periodični pregledi sportašica koji će uključivati provjeru kliničkih i laboratorijskih parametara kako bi se utvrdilo postoje li znakovi relativne energetske deficijencije u sportu te ako postoje da se na vrijeme prepoznaju i liječe.

Umjetničko plivanje spada u grupu estetskih sportova, dakle umjetničke plivačice su u većem riziku za razvoj relativne energetske deficijencije u sportu. Unatoč tome, dosad postoji samo jedna studija iz 2016. godine koja je proučavala razinu raspoložive energije umjetničkih plivačica te su rezultati te studije pokazale da su sve ispitanice imale nisku raspoloživu energiju za vrijeme intenzivnih priprema pred natjecanje (Schaal i sur., 2016). Iz tog razloga smatram kako je za njih potreban rad sa sportskim nutricionistom, sportskim liječnikom i sportskim psihologom (ako je potrebno). Također, u budućnosti je potrebno provesti još istraživanja na temu raspoložive energije i relativne energetske deficijencije u sportu kako bi se na većem uzorku utvrdila prevalencija niske raspoložive energije i relativne energetske deficijencije u umjetničkih plivačica.

## 4. POPIS LITERATURE

Ackerman A.E., Holtzman B., Cooper K.M., Flynn E.F., Bruinvels G., Tenforde A.S., Popp K.L., Simpkin A.J., Parziale A.L. (2019). Low Energy Availability Surrogates Correlate With Health and Performance Consequences of Relative Energy Deficiency in Sport. *British Journal of Sports Medicine*. **53(10)**: 628-633

Alentejano T., Marshall D., Bell G. (2008) A Time–Motion Analysis of Elite Solo Synchronized Swimming. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 3: 31-40

Alentejano T., Marshall D., Bell G. (2010) Breath Holding With Water Immersion in Synchronized Swimmers and Untrained Woman. *Research in Sports Medicine*. **18**: 97-114

Allaway H., Southmayd E., De Souza M.J. (2016) The physiology of functional hypothalamic amenorrhea associated with energy deficiency in exercising women and in women with anorexia nervosa. *Hormone Molecular Biology and Clinical Investigation* **25(2)**: 91-119

Bante S., Bogdanis G.C., Chairopoulou C., Maridiki M. (2007) Cardiorespiratory and metabolic responses to a simulated synchronized swimming routine in senior (>18 years) and comen (13-15 years) national level athletes. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. **47**: 291-299

Behnke A.R. (1942) Physiologic studies pertaining to deep sea diving and aviation, especially in relation to the fat content and composition of the body: The Harvey lecture, March 19, 1942. *Bulletin of the New York Academy Medicine*. **18**: 561–585

Bellver M., Del Rio L., Jovell E., Drobnic F., Trilla A. (2019) Bone mineral density and bone mineral content among female elite athletes. *Bone*. **127**: 393-400

Bjurstrom R.L., Schoene R.B. (1987) Control of ventilation in elite synchronized swimmers. *Journal of Applied Physiology*. **63**: 1019-1024

Broom D.R., Batterham R.L., King J.A., Stensel D.J. (2008) Influence of resistance and aerobic exercise on hunger, circulating levels of acylated ghrelin, and peptide YY in healthy males. *American Journal of Physiology, Integrative and Comparative physiology*. **296**: 29-35



- Broom D.R., Stensel D.J., Bishop N.C., Burns S.F., Miyashita M. (2007) Exercise-induced suppression of acylated ghrelin in humans. *Journal of Applied Physiology*. **102**: 2165-2171
- Costa P., Richmond S., Smith C., Currier B., Stecker R., Gieske B., Kemp K., Witherbee K., Kersick C. (2019) Physiologic, Metabolic, and Nutritional Attributes of Collegiate Synchronized Swimmers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. **14**: 658-664
- da Costa N.F., Schtscherbyna A., Soares E.A., Ribeiro B.G. (2013) Disordered eating among adolescent female swimmers: Dietary, biochemical, and body composition factors. *Nutrition*. **29**: 172–177
- Deighton K., Karra E., Batterham R.L., Stensel D.J. (2013) Appetite, energy intake, and PYY3–36 responses to energy-matched continuous exercise and submaximal high-intensity exercise. *Applied physiology, Nutrition, and metabolism*. **38**: 947-95
- De Souza M.J., Koltun K.J., Williams N.I. (2019) The Role of Energy Availability in Reproductive Function in the Female Athlete Triad and Extension of its Effects to Men: An Initial Working Model of a Similar Syndrome in Male Athletes. *Sports Medicine*. **49**: 125-137
- De Souza M.J., Lee D.K., VanHeest J.L., Scheid J.L., West S.L., Williams N.I. (2007) Severity of energy-related menstrual disturbances increases in proportion to indices of energy conservation in exercising women. *Fertility and Sterility*. **88(4)**: 971–975
- Drew M., Vlahovich N., Hughes D., Appaneal R., Burke L.M., Lundy B., Rogers M., Toomey M., Watts D., Lovell G., Praet S., Halson S.L., Colbey C., Manzanero S., Welvaert M., West N.P. Pyne D.B., Waddington G. (2017) Prevalence of illness, poor mental health and sleep quality and low energy availability prior to the 2016 Summer Olympic Games. *British Journal of Sports Medicine*, **52(1)**: 47–53
- Driskell J.A., Wolinsky I. (2011) Nutritional Assessment of Athletes, 2. izd., Taylor & Francis Group. str. 73-108; 153-157
- Ebine N., Jian-Ying F., Homma M., Saitoh S., Jones P. (2000) Total energy expenditure of elite synchronized swimmers measured by the doubly labeled water method. *European Journal of Applied Physiology*. **83**: 1-6

- Ferrand C., Magnan C., Antonini Philippe R. (2005) Body-esteem, body mass index, and risk for disordered eating among adolescents in synchronized swimming. *Perceptual and Motor Skill*. 101: 887-884
- Ferrand C., Magnan C., Rouveix M., Filaire E. (2007) Disordered eating, perfectionism and body-esteem of elite synchronized swimmers. *European Journal of Sport Science*. **7**: 223-230
- Franco Becker G., Cauduro Oliveira Macedo R., dos Santos Cunha G., Bijoldo Martins J., Laitano O., Reischak-Oliveria A. (2013) Combined effects of aerobic exercise and high-carbohydrate meal on plasma acylated ghrelin and levels of hunger. *Applied physiology, Nutrition, and metabolism*. **37**: 184-192
- Gómez-Bruton, A., González-Agüero, A., Gómez-Cabello, A., Casajús, J. A., & Vicente-Rodríguez, G. (2013) Is Bone Tissue Really Affected by Swimming? A Systematic Review. *PLoS ONE*. **8**: e70119
- Hoch A.Z., Lal S., Jurva J.W., Gutterman D.D. (2007) The Female Athlete Triad and Cardiovascular Dysfunction. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*. **18**: 385-400
- Homma M. (1994) The Components and the Time of 'Face In' of the Routines in Synchronized Swimming. *Medicine and Science in Aquatic Sports*. **39**: 149-154
- Ihle R., Loucks A.B. (2004) Dose-Response Relationships Between Energy Availability and Bone Turnover in Young Exercising Women. *Journal Of Bone And Mineral Research*. **19(8)**: 1231-1240
- Jette M., Sidney K., Blumchen G. (1990) Metabolic Equivalents (METS) in Exercise Testing, Exercise Prescription, and Evaluation of Functional Capacity. *Clinical Cardiology*. **13**: 555-565
- Keay N., Francis G. (2019) Infographic. Energy availability: concept, control and consequences in relative energy deficiency in sport (RED-S). *British Journal of Sports Medicine*. **53**: 1310-1311
- Kojima C., Ishibashi A., Tanabe Y., Iwayama K., Kamei A., Takahashi H., Goto K. (2020) Muscle Glycogen Content during Endurance Training under Low Energy Availability. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. **52(1)**: 187-195

- Logue D., Madigan S., Delahunt E., Heinen M., Mc Donnell S.J., Corish C. (2018) Low Energy Availability in Athletes: A Review of Prevalence, Dietary Patterns, Physiological Health, and Sports Performance. *Sports Medicine*. **48**: 73-96
- Loucks A. B. (2013) Energy Balance and Energy Availability. *The Encyclopaedia of Sports Medicine: An IOC Medical Commission Publication*. **19**: 72–87
- Loucks A.B., Kiens B., Wright H.H. (2011) Energy availability in athletes. *Journal of Sports Sciences*. **29**: 7-15
- Loucks A.B., Thuma J.R. (2003) Luteinizing Hormone Pulsatility Is Disrupted at a Threshold of Energy Availability in Regularly Menstruating Women. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*. **88(1)**: 297-311
- Lundy B. (2011) Nutrition for Synchronized Swimming: A Review. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. **21**: 436-445
- Márquez S., Molinero O. (2013) Energy Availability, Menstrual Dysfunction And Bone Health In Sports; An Overview Of The Female Athlete Triad. *Nutricion Hospitalaria*. **28(4)**: 1010-1017
- Melin A., Heikura I.A., Tenforde A., Mountjoy M. (2019) Energy Availability in Athletics: Health, Performance, and Physique. *International Journal Of Sport Nutrition And Exercise Metabolism*. **29(2)**: 152-164
- Melin A., Klungland Torstveit M., Burke L., Marks S., Sundgot-Borgen J. (2014) Disordered Eating and Eating Disorders in Aquatic Sports. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. **24**: 450-459
- Melin A., Tornberg Å.B., Skouby S., Møller S.S., Sundgot-Borgen J., Faber J., Sidelmann J.J., Aziz M., Sjödin A. (2014) Energy availability and the female athlete triad in elite endurance athletes. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. **25(5)**: 610–622
- Meng K., Qiu J., Benardot D., Carr A., Yi L., Wang J., Liang Y. (2020) The risk of low energy availability in Chinese elite and recreational female aesthetic sports athletes. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. **17(1)**: 13
- Mountjoy M. (2009) Injuries and Medical Issues in Synchronized Olympic Sports. *Current Sports Medicine Reports*. **8**: 255-261

- Mountjoy M. (1999) The basics of synchronized swimming and its injuries. *Aquatic Sports Injuries and Rehabilitation*. **18**: 321-336
- Mountjoy M., Sundgot-Borgen J., Burke L., Carter S., Constantini N., Lebrun C., Meyer N., Sherman R., Steffen K., Budgett R., Ljungqvist, A. (2014) The IOC consensus statement: beyond the Female Athlete Triad—Relative Energy Deficiency in Sport (RED-S). *British Journal of Sports Medicine*. **48(7)**: 491–497
- Nichols J.F., Rauh M.J., Barrack M.T., Barkai H.S., Pernick Y. (2007) Disordered eating and menstrual irregularity in high school athletes in lean-build and nonlean-build sports. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. **17**: 364–377
- Rickenlund A., Eriksson M.J., Schenk-Gustafsson K., Linden Hirschberg A. (2005) Amenorrhea in Female Athletes Is Associated with Endothelial Dysfunction and Unfavorable Lipid Profile. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*. **90(3)**: 1354–1359
- Robertson S., Bernardot D., Mountjoy M. (2014) Nutritional Recommendations for Synchronized Swimming. *International Journal of Sports Nutrition and Exercise Metabolism*. **24**: 404-413
- Robertson S., Mountjoy M. (2018) A Review of Prevention, Diagnosis and Treatment of Relative Energy Deficiency in Sport (RED-S) in Artistic (Synchronized) Swimming. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise*. **28**: 375-384
- Rodríguez-Zamora L., Iglesias X., Barrero A., Chaverri D., Erola P., Rodríguez F. A. (2012) Physiological Responses in Relation to Performance during Competition in Elite Synchronized Swimmers. *PLoS ONE*. **7**: e4909
- Sambanis M., Kofotolis N., Kalogeropoulou E., Noussios G., Sambanis P, Kalogeropoulos J. (2003) A study on the effects on the ovarian cycle of athletic training in different sports. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. **43**: 398-403
- Sarin H.V., Gudelj I., Honkanen J., Ihalainen J.K., Vuorela A., Lee J.H., Jin Z., Terwilliger J.D., Isola V., Ahtiainen J.P., Hakkinen K., Juric J., Lauc G., Kristiansson K., Hulmi J.J., Perola M. (2019) Molecular Pathways Mediating Immunosuppression in Response to Prolonged Intensive Physical Training, Low-Energy Availability, and Intensive Weight Loss. *Frontiers in Immunology*. **10**: 907

Schaal K., Tiollier E., Le Meur Y., Casazza G., Hauswirth C. (2017) Elite synchronized swimmers display decreased energy availability during intensified training. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. **27**: 925-934

Sherwood N.E., Neumark-Sztainer D., Story M., Beuhring T., Resnick M.D. (2002) Weight-Related Sports Involvement in Girls: Who is at Risk for Disordered Eating? *American Journal of Health promotion*. **16**: 341-344

Southmayd E.A., Williams N.I., Mallinson R.J., De Souza M.J. (2019) Energy Deficiency Suppresses Bone Turnover in Exercising Women With Menstrual Disturbances. *Journal Of - Clinical Endocrinology & Metabolism*. **104(8)**: 3131-3145

Spaulding-Barclay M.A., Stern J., Mehler P.S. (2016) Cardiac changes in anorexia nervosa. *Cardiology in the Young*. **26**: 623-628

Stubbs R.J., Hughes D.A., Johnstone A.M., Whybrow S., Horgan G.W., King N., Blundell J. (2003) Rate and extent of compensatory changes in energy intake and expenditure in response to altered exercise and diet composition in humans. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*. **286**: 350-358

Sundgot-Borgen J. (1994) Risk and trigger factors for the development of eating disorders in female elite athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. **26**: 414-419

Sundgot-Borgen J., Tortsveit M. (2004) Prevalence of Eating Disorders in Elite Athletes Is Higher Than in the General Population. *Clinical Journal of Sport Medicine*. **14**: 25-32

Šajber D., Perić M., Spasić M., Zenić N., Sekulić D. (2013) Sport-specific and anthropometric predictors of synchronised swimming performance. *International Journal of Sports Analysis in Sport*. **13**: 23-37

Šatalić Z., Sorić M., Mišigoj-Duraković M. (2016) Sportska Prehrana, 1. izd., Znanje, str. 14-70; 106-123; 272-285

Tanaka C., Iida T., Tawara Y., Murata M., Takamatsu J., Honma M., Kawahara T. (2006) Characteristics of bone density in adolescent synchronized swimmers—Relationships between bone density, daily physical activity and dietary intake. *Japanese Journal of Physical Fitness and Sports Medicine*. **55(1)**: 165-174.

The international olympic committee – Artistic swimming. <<https://www.olympic.org/artistic-swimming>>. Pristupljeno 18.2.2020.

Thompson R., Trattner Sherman R. (1999) Athletes, Athletic Performance, and Eating Disorders: Healthier Alternatives. *Journal of Social Issues*. **55**: 317-337

Torstveit M.K., Sundgot-Borgen J. (2005) The female athlete triad exists in both elite athletes and controls. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. **37**: 1449–1459

Viana E., Bentley D., Logan-Sprenger H. (2019) A Physiological Overview of the Demands, Characteristics, and Adaptations of Highly Trained Artistic Swimmers: A Literature Review. *Sports Medicine – open*. **5**: 16

Yamamura C., Matsui N., Kitagawa K. (2000) Physiological loads in the team technical and free - routines of synchronized swimmers. *Official Journal of the American College of Sports Medicine*. **32**: 1171-1174

Yamamura C., Zushi S., Takata K., Ishiko T., Matsui N., Kitagawa K. (1999) Physiological Characteristics of Well-Trained Synchronized Swimmers in Relation to Performance Scores. *International Journal of Sports Medicine*. **20**: 246-251

Zeni Hoch A., Dempsey R.L., Carrera G.F., Wilson C.R., Chen E.H., Barnabei V.M., Sandford P.R., Ryan T.A., Gutterman D.D. (2003) Is There an Association between Athletic Amenorrhea and Endothelial Cell Dysfunction? *Official Journal of the American College of Sports Medicine*. **35(3)**: 377-383

# Izjava o izvornosti

Izjavljujem da je ovaj završni rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u njegovoj izradi nisam koristio drugim izvorima, osim onih koji su u njemu navedeni.

Amanda Gaši

Ime i prezime studenta