

# Akutni učinak tri različite doze kofeina na izvedbu balističkih pokreta, jakost i mišićnu izdržljivost

---

**Sabol, Filip**

**Doctoral thesis / Disertacija**

**2020**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Kinesiology / Sveučilište u Zagrebu, Kineziološki fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:117:371928>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-23**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Kinesiology, University of Zagreb - KIFoREP](#)





Sveučilište u Zagrebu

KINEZIOLOŠKI FAKULTET

Filip Sabol

**AKUTNI UČINAK TRI RAZLIČITE DOZE KOFEINA NA IZVEDBU  
BALISTIČKIH POKRETA, JAKOST I MIŠIĆNU IZDRŽLJIVOST**  
DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2020



University of Zagreb

FACULTY OF KINESIOLOGY

Filip Sabol

**THE ACUTE EFFECTS OF THREE DIFFERENT DOSES OF  
CAFFEINE ON BALLISTIC PERFORMANCE, STRENGTH AND  
MUSCULAR ENDURANCE**

DOCTORAL THESIS

Zagreb, 2020



Sveučilište u Zagrebu

KINEZIOLOŠKI FAKULTET

Filip Sabol

**AKUTNI UČINAK TRI RAZLIČITE DOZE KOFEINA NA IZVEDBU  
BALISTIČKIH POKRETA, JAKOST I MIŠIĆNU IZDRŽLJIVOST**

DOKTORSKI RAD

Mentor:

izv. prof. dr. sc. Pavle Mikulić

Zagreb, 2020



University of Zagreb

FACULTY OF KINESIOLOGY

Filip Sabol

**THE ACUTE EFFECTS OF THREE DIFFERENT DOSES OF  
CAFFEINE ON BALLISTIC PERFORMANCE, STRENGTH AND  
MUSCULAR ENDURANCE**

DOCTORAL THESIS

Supervisor:

Assoc. Prof. Pavle Mikulić, PhD

Zagreb, 2020

## ZAHVALA

Suradnja s brojnim kvalitetnim osobama omogućila mi je ostvarenje ovog cilja. Želim iskazati veliku zahvalnost osobama koje su dale značajan doprinos u nastajanju ovog rada:

(Super)mentoru - izv. prof. dr. sc. **Pavlu Mikuliću**, na izvrsnome usmjeravanju, uložnome velikome trudu te susretljivosti i razumijevanju tijekom cijelog doktorskog studija. Naučili ste me vrijednosti kvalitetnog vodstva i jasno definiranih ciljeva koji dokazuju kvalitetu odrađenog rada.

**Jozi Grgiću**, neformalnome mentoru, na golemoj pomoći kod dizajna istraživanja, cijelog procesa provedbe istraživanja i objave radova u relevantnim časopisima. Neprocjenjivo je bilo imati nekog poput tebe - s pregršt znanja, zapanjujućim radnim navikama te izrazitom susretljivosti tijekom ovog razdoblja usavršavanja.

**Ivanu Mikuliću** i **Sandru Venieru**, na velikome doprinosu kroz asistenciju prilikom provedbe praktičnog dijela istraživanja. **Nenadu Bratkoviću**, na značajnoj pomoći prilikom analize upitnika o habitualnom unosu kofeina. **Mirni Hajnic**, na odlično odrađenome zadatku pripremanja doza za sudionike istraživanja.

**Svim sudionicima**, koji su se javili za sudjelovanje i volonterski odradili zahtjevno istraživanje te pritom testirali vlastite granice kako bi nam pomogli u stvaranju novih znanja.

Članovima Povjerenstva, doc. dr. sc. **Danielu Boku**, doc. dr. sc. **Cviti Gregov** i prof. dr. sc. **Zvonimiru Šataliću**, na konstruktivnim sugestijama prilikom pripreme i izrade doktorskog rada.

**Matiji Dunaju** i **Zlatanu Spiridonoviću**, kao i cijelome timu Fitnes učilišta, na bezrezervnoj podršci i poticanju na usavršavanje. Pružili ste mi priliku za rad i omogućili iznimno kvalitetnu sredinu za razvoj.

I na kraju, njoj - **Andeli Glumac**. Srećici. Osobi koja je zajedno sa mnom u noćnim satima pripremala doze za istraživanje, lektorirala rad te dijelila sve dobre i manje dobre trenutke tijekom ovog razdoblja.

# AKUTNI UČINAK TRI RAZLIČITE DOZE KOFEINA NA IZVEDBU BALISTIČKIH POKRETA, JAKOST I MIŠIĆNU IZDRŽLJIVOST

## Sažetak

Cilj: Primarni cilj ovog randomiziranog, dvostruko slijepog, placebo kontroliranog istraživanja s ukriženim ustrojem bio je ispitati akutne učinke tri doze kofeina (2, 4, i 6 mg/kg) na izvedbu balističkih pokreta, jakost i mišićnu izdržljivost mišića gornjeg i donjeg dijela tijela kod muškaraca iskusnih u treningu s otporom. Sekundarni cilj bio je usporediti akutne učinke navedenih doza kofeina između osoba s niskim ( $\leq 100$  mg/dan) i umjereno do visokim ( $>100$  mg/dan) habitualnim unosom kofeina.

Metode: Testovima bacanje medicine iz sjeda i vertikalni objenožni skok procijenjena je izvedba balističkih pokreta, testovima jednog maksimalnog ponavljanja (1 repetition maximum, 1RM) u potisku s ravne klupe i stražnjem čučnju procijenjena je jakost, a testovima maksimalnog broja ponavljanja (s 60% 1RM) do trenutnog mišićnog otkaza u potisku s ravne klupe i stražnjem čučnju procijenjena je mišićna izdržljivost. Uzorak ispitanika varirao je kroz testove između  $n=20$  (dob (AS  $\pm$  SD):  $25 \pm 5$  god) i  $n=28$  (dob (AS  $\pm$  SD):  $25 \pm 6$  god). Svi testovi provedeni su u četiri različita dolaska kroz četiri uvjeta: konzumacija placeba, 2, 4 i 6 mg/kg kofeina 60 minuta prije početka testiranja. Habitualni unos kofeina sudionika u istraživanju procijenjen je korištenjem upitnika.

Rezultati: Značajno poboljšanje izvedbe bacanja medicine iz sjeda u odnosu na placebo uočeno je samo za dozu kofeina od 6 mg/kg, dok je kod vertikalnog objenožnog skoka značajno poboljšanje uočeno za sve 3 doze (2, 4 i 6 mg/kg) kofeina. U usporedbi s placebo, doza od 2 mg/kg kofeina pokazala se učinkovitom za poboljšanje jakosti mišića donjeg dijela tijela, a sve tri doze kofeina poboljšale su mišićnu izdržljivost mišića donjeg dijela tijela. Za mišićnu jakost i mišićnu izdržljivost mišića gornjeg dijela tijela nisu uočeni značajni učinci kofeina u pogledu poboljšanja izvedbe. Usporedba akutnih učinaka kofeina na tjelesnu izvedbu između dvije skupine habitualnih konzumenata kofeina nije ukazala na značajne razlike u izvedbi ni u jednom provedenom testu.

Zaključak: Konzumacija kofeina može akutno poboljšati izvedbu balističkih pokreta mišića gornjeg i donjeg dijela tijela kao i jakost i mišićnu izdržljivost mišića donjeg dijela tijela u osoba iskusnih u treningu s otporom. Akutni učinak kofeina je, čini se, naglašeniji kod izvedbe vježbi koje uključuju mišiće donjeg naspram gornjeg dijela tijela. Opažene su velike

varijacije između ispitanika u odgovorima na kofein. Habitualna konzumacija kofeina, čini se, nema utjecaj na akutne učinke kofeina na tjelesnu izvedbu, iako ovaj nalaz traži potvrdu u budućim istraživanjima.

Ključne riječi: kofein, izvedba balističkih pokreta, jakost, mišićna izdržljivost, habitualni unos kofeina



# **THE ACUTE EFFECTS OF THREE DIFFERENT DOSES OF CAFFEINE ON BALLISTIC EXERCISE PERFORMANCE, STRENGTH AND MUSCULAR ENDURANCE**

## **Abstract**

**Purpose:** The primary aim of this randomized, double-blind, placebo-controlled, crossover study was to examine the acute effects of three doses of caffeine (2, 4, 6 mg/kg) on upper- and lower-body ballistic exercise performance, strength, and muscular endurance in a sample of resistance-trained men. The secondary aim was to compare the acute effects of the mentioned caffeine doses among low ( $\leq 100$  mg/day) vs. moderate to high ( $>100$  mg/day) habitual caffeine users.

**Methods:** Seated medicine ball throw and vertical jump tests were used to assess the performance of ballistic exercise, tests of one maximum repetition (1 repetition maximum, 1RM) in bench press and back squat tests were used to assess strength, and tests of maximum number of repetitions (with 60% 1RM) until momentary muscular failure in bench press and back squat used to assess muscular endurance. The sample of the participants varied through tests between  $n=20$  (age (mean  $\pm$  SD):  $25 \pm 5$  y) and  $n=28$  (age (mean  $\pm$  SD):  $25 \pm 6$  y). All tests were performed during four separate sessions under four conditions: placebo, 2, 4, and 6 mg/kg of caffeine ingested 60 minutes prior to testing. Habitual caffeine intake was evaluated using a standardized questionnaire.

**Results:** Analysis of ballistic exercise performance indicated that, compared to placebo, significant improvement in seated medicine ball throw test was evident only with a 6 mg/kg dose of caffeine. However, all three doses (2, 4, and 6 mg/kg) of caffeine were ergogenic for the vertical jump performance. Compared to placebo, a dose of 2 mg/kg caffeine was shown to be effective in improving lower-body muscular strength, and all three doses of caffeine improved lower-body muscular endurance. For upper-body muscular strength and muscular endurance, no significant effects of caffeine on performance were found (compared to placebo). Comparison between the two groups of habitual caffeine users indicated no differences in performance following acute caffeine ingestion.

**Conclusion:** Caffeine ingestion may acutely enhance upper- and lower-body ballistic exercise performance as well as lower-body muscular strength and muscular endurance in resistance-trained men. The acute effect of caffeine seems to be generally more pronounced

for the lower-body exercises as compared to the exercises involving the upper body. Large inter-individual variations in responses to caffeine were observed. Habitual caffeine intake does not seem to affect the acute effects of caffeine on exercise performance, although this needs confirmation in future studies.

Keywords: caffeine, ballistic exercise performance, strength, muscular endurance, habitual caffeine intake

## ŽIVOTOPIS MENTORA

Dr. sc. Pavle Mikulić, izvanredni profesor Kineziološkog fakulteta u Zagrebu, rođen je 1976. godine u Zagrebu gdje je završio osnovnu školu i prva tri razreda prirodoslovno-matematičke gimnazije. Četvrti razred gimnazije završio je u SAD. Na Fakultetu za fizičku kulturu, odnosno Kineziološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, diplomirao je 2001., magistrirao 2004. i doktorirao 2006. godine. Akademske godine 2009/2010. obavio je postdoktorsko usavršavanje pri Zavodu za kineziologiju sveučilišta Penn State (SAD), uz potporu Hrvatske zaklade za znanost.

Pri Kineziološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu nositelj je predmeta Motorička kontrola na Sveučilišnom integriranom studiju kineziologije i predmeta Kontrola ljudskog pokreta – neurofiziološki aspekti na Sveučilišnom doktorskom studiju kineziologije. Suvoditelj je Laboratorija za motoričku kontrolu i izvedbu u kojem sa suradnicima provodi istraživanja funkcije i transformacije živčanomišićnog sustava čovjeka.

Objavio je ~50 znanstvenih radova u vodećim međunarodnim znanstvenim časopisima u području kineziologije. Radovi koje je objavio citirani su ~750 puta (Web of Science, Scopus) odnosno ~1550 puta (Google Scholar). Bio je recenzentom 20-ak vodećih međunarodnih znanstvenih časopisa iz područja kineziologije. Bio je mentorom više od 20 magistara kineziologije i mentorom jednog doktora znanosti. Član je panela Hrvatske zaklade za znanost za procjenu projektnih prijedloga u području Znanosti o životu.

# SADRŽAJ

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 1.     | UVOD.....  | 1  |
| 1.1.   | KONZUMACIJA KOFEINA U POPULACIJI .....   | 1  |
| 1.2.   | METABOLIZAM KOFEINA.....   | 3  |
| 1.3.   | POTENCIJALNI MEHANIZMI DJELOVANJA KOFEINA.....                                   | 4  |
| 1.4.   | UČINAK KOFEINA NA ZDRAVSTVENI STATUS .....                                       | 5  |
| 1.5.   | PRETJERANA UPOTREBA I TOKSIČNOST KOFEINA .....                                   | 10 |
| 2.     | KOFEIN KAO ERGOGENO SREDSTVO U SPORTU I TJELESNOM VJEŽBANJU .....                | 11 |
| 2.1.   | UČINAK KOFEINA NA IZVEDBU BALISTIČKIH POKRETA, JAKOST I MIŠIĆNU IZDRŽLJIVOST ... | 13 |
| 2.1.1. | IZVEDBA BALISTIČKIH POKRETA .....  | 14 |
| 2.1.2. | JAKOST I MIŠIĆNA IZDRŽLJIVOST.....   | 15 |
| 2.2.   | OPTIMALNA DOZA KOFEINA ZA POBOLJŠANJE SPORTSKE IZVEDBE .....                     | 16 |
| 2.3.   | UTJECAJ KOFEINA NA IZVEDBU MIŠIĆA GORNJEG I DONJEG DIJELA TIJELA .....           | 18 |
| 2.4.   | GENOTIPske RAZLIKE U ODGOVORIMA NA KOFEIN .....                                  | 20 |
| 2.5.   | VRIJEME KONZUMACIJE KOFEINA, KONZUMACIJA U ODNOSU NA DOBA DANA.....              | 22 |
| 2.6.   | HABITUALNI UNOS KOFEINA.....   | 23 |
| 2.7.   | UTJECAJ KOFEINA NA SUBJEKTIVNI OSJEĆAJ OPTEREĆENJA I PERCEPCIJU BOLI .....       | 26 |
| 2.8.   | OGRANIČENJA DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA I OTVORENA PITANJA.....                     | 27 |
| 3.     | CILJ I HIPOTEZE RADA.....  | 29 |
| 4.     | METODE RADA .....  | 30 |
| 4.1.   | ISPITANICI.....  | 30 |
| 4.2.   | PRISTUP PROBLEMU, VRSTA I EKSPERIMENTALNI NACRT ISTRAŽIVANJA .....               | 31 |
| 4.3.   | PROCJENA HABITUALNOG UNOSA KOFEINA .....   | 33 |
| 4.4.   | PROCJENA IZVEDBE BALISTIČKIH POKRETA .....                                       | 34 |
| 4.5.   | PROCJENA JAKOSTI I MIŠIĆNE IZDRŽLJIVOSTI.....                                    | 35 |
| 4.6.   | PROCJENA SUBJEKTIVNOG OSJEĆAJA OPTEREĆENJA I PERCEPCIJE BOLI .....               | 36 |
| 4.7.   | PROCJENA UČINKOVITOSTI ZASLJEPLJIVANJA .....                                     | 36 |
| 4.8.   | STATISTIČKA OBRADA REZULTATA.....  | 36 |
| 5.     | REZULTATI .....  | 38 |
| 5.1.   | TESTOVI IZVEDBE BALISTIČKIH POKRETA.....   | 38 |
| 5.1.1. | BACANJE MEDICINKE IZ SJEDA.....  | 38 |
| 5.1.2. | VERTIKALNI OBJENOŽNI SKOK .....  | 39 |
| 5.2.   | TESTOVI MIŠIĆNE JAKOSTI .....  | 41 |

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 5.2.1. | POTISAK S RAVNE KLUPE (1RM).....   | 41  |
| 5.2.2. | STRAŽNJI ČUČANJ (1RM).....   | 42  |
| 5.3.   | TESTOVI MIŠIĆNE IZDRŽLJIVOSTI .....                                      | 44  |
| 5.3.1. | PONAVLJANJA S 60% 1RM NA POTISKU S RAVNE KLUPE .....                     | 44  |
| 5.3.2. | PONAVLJANJA S 60% 1RM NA STRAŽNJEM ČUČNJU .....                          | 46  |
| 5.4.   | SUBJEKTIVNI OSJEĆAJ OPTEREĆENJA I PERCEPCIJA BOLI.....                   | 48  |
| 5.5.   | UČINKOVITOST ZASLJEPLJIVANJA .....                                       | 49  |
| 5.5.1. | IZVEDBA BALISTIČKIH POKRETA .....  | 49  |
| 5.5.2. | JAKOST I MIŠIĆNA IZDRŽLJIVOST.....                                       | 49  |
| 5.6.   | USPOREDBA IZMEĐU SKUPINA HABITUALNIH KONZUMENATA KOFEINA .....           | 50  |
| 5.6.1. | IZVEDBA BALISTIČKIH POKRETA .....  | 50  |
| 5.6.2. | JAKOST .....   | 51  |
| 5.6.3. | MIŠIĆNA IZDRŽLJIVOST .....   | 51  |
| 6.     | RASPRAVA.....  | 52  |
| 6.1.   | UČINAK KOFEINA NA IZVEDBU BALISTIČKIH POKRETA .....                      | 52  |
| 6.2.   | UČINAK KOFEINA NA MIŠIĆNU JAKOST .....                                   | 56  |
| 6.3.   | UČINAK KOFEINA NA MIŠIĆNU IZDRŽLJIVOST.....                              | 60  |
| 6.4.   | UČINAK KOFEINA NA SUBJEKTIVNI OSJEĆAJ OPTEREĆENJA I PERCEPCIJU BOLI..... | 64  |
| 6.5.   | USPOREDBA IZMEĐU SKUPINA HABITUALNIH KONZUMENATA KOFEINA .....           | 65  |
| 6.6.   | PREDNOSTI I OGRANIČENJA ISTRAŽIVANJA .....                               | 69  |
| 6.7.   | TESTIRANJE POSTAVLJENIH HIPOTEZA.....                                    | 72  |
| 7.     | ZAKLJUČAK .....  | 73  |
| 8.     | PRAKTIČNE PREPORUKE.....   | 75  |
| 9.     | LITERATURA .....   | 76  |
| 10.    | PRILOZI .....  | 106 |
| 11.    | ŽIVOTOPIS I POPIS OBJAVLJENIH RADOVA AUTORA .....                        | 110 |
| 11.1.  | ŽIVOTOPIS .....  | 110 |
| 11.2.  | POPIS OBJAVLJENIH RADOVA .....   | 110 |

# 1. UVOD

## 1.1. KONZUMACIJA KOFEINA U POPULACIJI

Kofein je jedan od najpopularnijih i najčešće konzumiranih dodataka prehrani u svijetu. Procjenjuje se da otprilike 89% odrasle populacije SAD-a svakodnevno konzumira kofein (u dozama od prosječno 211 mg na dan) kako bi lakše obavljalo dnevne zadatke, a najviše doze zabilježene su kod populacije od 51 - 71 godina (275 mg/dan) (Fulgoni i sur. 2015). Kemijski naziv 1,3,7-trimetilksantin (ili popularno kofein) je bijeli kristalni prah gorkog okusa koji posjeduje antioksidativna svojstva (Alpert, 2012). Kofein je prisutan u više od 60 biljaka u prirodi (Cappelletti i sur., 2014), a Alpert (2012) ističe njegovu zaštitnu ulogu: nalazi se u korijenju, lišću i plodovima određenih biljaka kod kojih služi kao prirodni pesticid u borbi protiv raznih insekata. Kofein ima dugu povijest konzumacije na raznim kontinentima i poznat je kao siguran dodatak prehrani. Postoje zapisi iz povijesti o širokoj konzumaciji kofeina u svijetu, a vjeruje se da je ideja o konzumaciji kofeina potiče iz kamenog doba kada su ljudi jeli bobičasto voće i listove biljaka koje su sadržavale kofein. Kava se koristila čak i kao lijek za čišćenje kože. U 15. stoljeću počinju se otvarati kuće s kavom diljem Arabije, a zatim se u 17. i 18. stoljeću proširila diljem Europe (Alpert, 2012).

U stoljećima nakon, uz kavu i kakao se koristio kao sredstvo za podizanje energije, ali i kao sredstvo razmjene. Početkom 20. stoljeća usavršen je proces izdvajanja kofeina iz zrna kave što je omogućilo veću primjenjivost kofeina u ostalim namirnicama i lijekovima. U ljudskoj prehrani danas prisutan je u čajevima, čokoladama i čokoladnim napitcima, gaziranim te brojnim energetske napitcima i gelovima, a primarno u kavi kojoj duguje popularnost i raširenost. U radu Denoeuda i sur. (2014) stoji podatak da se u svijetu dnevno konzumira preko 2.25 milijardi šalica kave, čime je kava jedan od najčešće konzumiranih napitaka nakon vode. Kava je postala sinonim za sastanke, jutarnja i popodnevna druženja te je prerasla ulogu napitka i postala kulturološki i socijalni trend na koji se troše milijarde dolara dnevno diljem svijeta. Tipične namirnice s našeg prostora u kojima je prisutan kofein prikazane su na Slici 1. (lista korištena za potrebe ovog istraživanja).

## Sadržaj kofeina u hrani i napicima

Hrana, prehrambeni proizvodi i napici koji predstavljaju izvor kofeina u prehrani:

|   |
|---|
| <b>KAVA</b>   |
| Kava (espresso)   |
| Kava varijacije: kava s mlijekom, bijela kava   |
| Capuccino instant pjenasti napici s okusima (vanilija, čokolada, lješnjak, Irish i sl.)                   |
| Turska kava   |
| Filter kava (iz aparata)  |
| Instant kava  |
| Kava iz samoposlužnih automata  |
| Ledena kava (Ice coffee)  |
| <b>ČAJ</b>  |
| Crni čaj  |
| Zeleni čaj i varijacije (bijeli, žuti)  |
| Oolong čaj  |
| Mate čaj  |
| Guarana čaj   |
| Ledeni čaj (Ice-Tea)  |
| <b>ENERGETSKI NAPICI</b>  |
| Energetski napici (Red Bull, Burn, Red Bat, Monster, Hell, S-budget i Lidl Kong Energy drink itd.)        |
| Napici koji sadrže guaranu  |
| Energetski „shotovi“ (mogu sadržavati guaranu, kofein, taurin, u kombinacijama)                           |
| <b>GAZIRANI NAPICI</b>  |
| Coca Cola, regularna  |
| Coca Cola, Zero, Light  |
| Pepsi Cola, Max   |
| <b>DESERTI OD ČOKOLADE*</b>   |
| * sadrže nižu koncentraciju kofeina/kofeinu srodnih tvari u odnosu na gore navedene napitke               |
| Kakao napitak   |
| Vruća čokolada  |
| Tamna čokolada  |
| Vruća čokolada  |
| Čokolada  |
| Čokoladni preljevi na raznim proizvodima<br>(proteinske i energetske pločice, keksi i pekarski proizvodi) |
| Pudinzi i kreme od čokolade   |

**Slika 1.** Popis namirnica koje sadrže kofein; tablica je korištena u ovom istraživanju kao uputa ispitanicima koje namirnice ne smiju konzumirati u satima uoči testiranja

Burke (2008) te Haskell i sur. (2005) su u svojim radovima opisali pozitivno djelovanje kofeina na ljudsko tijelo, među kojima je i podizanje budnosti te smanjenje umora. Razlog široke konzumacije kofeina je činjenica su značajni učinci vidljivi već kod doze od oko 100 mg (Turnbull i sur., 2017) - što je u pravilu jedna šalica kave, a koja je široko dostupna u većini svijeta po prihvatljivim cijenama.

## **1.2. METABOLIZAM KOFEINA**

Brzina razgradnje kofeina nije jednaka kod svih osoba, a to je praktično važna informacija za sve koji kofein planiraju koristiti kao dodatak prehrani. Cappelletti i sur. (2014) su u preglednome radu opisali da se apsorpcija kofeina nakon konzumacije odvija iz gastrointestinalnog trakta. Razgradnja započinje u želucu i tankom crijevu, metabolizam kofeina obavlja se u jetri, a zatim se kofein distribuira po čitavom tijelu. Zabilježene maksimalne koncentracije kofeina u plazmi dostižu se između 15 i 120 min nakon konzumacije (zbog razlika između pojedinaca i brzine pražnjenja želuca), a u istraživanjima se većinom navodi vrijeme konzumacije od 30 - 60 minuta prije početka protokola (Cappelletti i sur., 2014).

Kao glavni enzim za metabolizam kofeina autori preglednog rada navode enzim citokrom P450 1A2 (CYP1A2) koji obavlja oko 95% uklanjanja kofeina, a odgovorni su još i ksantin oksidaza i NAT2 (Fenster i sur., 1998). Nadalje, poluživot kofeina ovisi o apsorpciji i metabolizmu pojedinca. Rezultati istraživanja Benowitza (1990) sugeriraju da je to vrijeme od 2 - 12 sati, a Cappelletti i sur. (2014) navode da se samo 0.5 - 2% kofeina izluči u obliku urina. Treba također istaknuti da poluživot ovisi i o dozi. Konzumacijom veće doze djelovanje se produžuje, povećava se vjerojatnost akumulacije paraksantina (i drugih ksantina) te odgode u čišćenju kofeina, a u procesu razgradnje kofein prolazi kroz demetilaciju što rezultira nastankom tri metabolita: paraksantina (84%), teobromina (12%) i teofilina (4%) (Cappelletti i sur., 2014). Osim djelovanja kofeina na središnji živčani sustav, paraksantin povećava lipolizu i omogućava tijelu da koristi masne kiseline i glicerol kao energiju, teobromin potiče vazodilataciju i služi kao blagi diuretik, dok teofilin opušta bronhijalne mišiće (Alpert, 2012). Ti metaboliti se dalje transformiraju u jetri te na kraju završavaju stvaranjem urata (Mandel, 2002). Aguilar-Navarro i sur. (2019) u svom



preglednom radu navode mogućnost veće koristi kofeina kod AA homozigote za određeni nukleotidni polimorfizam u CYP1A2 genu nego kod nosača C alela (Guest i sur. 2018; Rahimi, 2019; Womack i sur., 2012), iako ističu da zaključci nisu konačni jer postoje istraživanja koja pokazuju da to nije uvijek slučaj (Algrain i sur., 2016; Pataky i sur., 2016; Puente i sur. 2018; Salinero i sur., 2017). Navedeni način djelovanja mogao bi potencijalno objasniti i zašto određeni ljudi ne mogu zamisliti dan bez kave, dok je pojedinci ne konzumiraju iako je široko i lako dostupna.

Može se zaključiti da postoje značajne razlike između pojedinaca kada su u pitanju metabolizam te izlučivanje kofeina (i njegovih metabolita) iz organizma. Osim navedenih, na apsorpciju mogu utjecati i faktori poput pušenja, unosa hrane, trudnoće, brzine pražnjenja crijeva, jetrenih i kardiovaskularnih bolesti, virusnih infekcija i istodobna primjena različitih lijekova (Cappelletti i sur., 2014). Cappelletti i sur. (2014) navode i specifičnosti konzumacije, odnosno da kada su u pitanju pušači, metabolizam je skoro dvostruko brži (Aldridge i sur., 1981) jer se u cigaretama nalaze policiklički aromatski ugljikovodici koji promiču veću aktivnost jetrenih enzima, čime se povećava metabolizam kofeina (Kalow i Tang, 1991; Parsons i Neims, 1978). Pušenje tako ubrzava prolaz kofeina i njegovu razgradnju do metabolita. Trudnoća, s druge strane, smanjuje otklanjanje kofeina iz tijela te se poluživot kofeina produžuje kod trudnica, dojilja i osoba s oštećenom funkcijom jetre (Stavric, 1988).

### **1.3. POTENCIJALNI MEHANIZMI DJELOVANJA KOFEINA**

Na staničnoj razini djelovanje kofeina je moguće opisati pomoću tri mehanizma:

1. antagonističkim učinkom na adenzinske receptore,
2. mobilizacijom unutarstaničnih spremnika kalcija,
3. inhibicijom fosfodiesteraza (Cappelletti i sur., 2014).

Cappalletti i sur. (2014) ističu da učinak na blokadu adenzinskih receptora može biti vidljiv i kod nižih doza (npr. šalica kave), dok drugi i treći mehanizam zahtijevaju nešto više doze kofeina. Činjenica da je kofein topiv u vodi i masti mu omogućava da jednostavno

prođe granicu između krvi i mozga te se, ponašajući se kao antagonist, veže na adenozijske receptore kako bi povisio količinu adenozina u krvi koji posljedično (u višim koncentracijama) povećava budnost i spremnost (Alpert, 2012). Kofeinski antagonistički učinak blokira adenozijske receptore (većinom A1 i A2A ) (Holtzman i sur. 1991; Ribeiro i Sebastião, 2010) te uzrokuje povećano otpuštanje dopamina, noradrenalina i glutamata (Ferré i sur., 1997; Smits i sur., 1987), što je bitno jer je moguće reducirati protok krvi u mozgu i srcu (inhibicijom A1, A2A i A2B adenozijskih receptora u krvnim žilama te tako limitirajući vazodilataciju), a navedeni receptori su prisutni u gotovo svim dijelovima mozga (prema Cappelletti i sur., 2014). Drugi mehanizam veže se uz sposobnost kofeina da poveća kontraktilnost tijekom submaksimalnih kontrakcija tako da potakne otpuštanje kalcija iz sarkoplazmatskog retikuluma (Supinski i sur., 1984) te smanji njegovo ponovno nakupljanje (Endo, 1977). Problem, odnosno neželjeni učinak, koji se može javiti je povećana proizvodnja urina. Navedeno je praktično veoma bitno jer povećana proizvodnja urina može ometati sportaše i rekreativce kod vremenski dužih treninga i natjecanja (Osswald i Schnermann, 2011).

Treći mehanizam odnosi se na aktivnost enzima koji smanjuju razgradnju molekula poput cikličkog adenozin monofosfata (cAMP), koji zatim potiče lipolizu (Chesley i sur., 1995) te aktivira protein kinaze A koji fosforizira enzime odgovore za metabolizam glukoze i lipida (Graham, 2001). Postoje naznake da kofein potiče i bržu resintezu glikogena kod sportaša kada se konzumira u kombinaciji s ugljikohidratima (Pedersen i sur., 2008), ali za konačne tvrdnje potrebna su daljnja istraživanja. Kod dugotrajnih tjelesnih aktivnosti posebno bitno postaje oslanjanje na aerobni metabolizam te oslanjanje na masti kao izvor energije i smanjenje korištenja glikogena. Kofein stimulira i hormon-osjetljive lipaze (HSL) i inhibira aktivnost glikogenske fosforilaze (Rush i Spriet, 2001) čime se potiče oksidacija masti, a što potencijalno doprinosi dugotrajnijoj aktivnosti.

## **1.4. UČINAK KOFEINA NA ZDRAVSTVENI STATUS**

Povećanjem konzumacije kofeina raste i zanimanje o utjecaju na zdravstveni status. Krovne svjetske organizacije (Health Canada, US. Food and Drug Administration (FDA 2012), European Food Safety Authority, U.S. Dietary 4 Guidelines for Americans) u svojim

preporukama navode da umjerena konzumacija kofeina u dozi od 400 mg dnevno nije povezana s toksičnošću, kardiovaskularnim štetnim posljedicama, povećanjem rizika od karcinoma, negativnim utjecajem na mušku plodnost kao ni negativnim efektima na koštani status ili status kalcija u organizmu (Turnbull i sur., 2017). Sukladno tome, u radu Cappelletta i sur. (2014) navedena je podjela konzumenata kofeina s obzirom na dnevni unos na tri skupine:

- konzumenti s niskim dnevnim unosom: <200 mg/dan,
- konzumenti s umjerenim dnevnim unosom: 200 - 400 mg/dan,
- konzumenti s visokim dnevnim unosom: >400 mg/dan.

Gonçalves i sur. (2017) su u svome radu predložili i niže granice, tako da su u ovome istraživanju ispitanici koji su unosili  $\leq 100$  mg/dan kofeina dnevno bili kategorizirani kao niski habitualni konzumenti, a oni koji su koristili iznad 100 mg/dan kategorizirani su kao umjereni do visoki habitualni konzumenti kofeina (po uzoru na navedeno istraživanje). Prosječni preporučeni dnevni unos za djecu i adolescente je manji. Health Canada navodi u svojim smjernicama da djeca u dobi od 10 - 12 godina ne bi trebala konzumirati više od 85 mg kofeina dnevno, a za adolescente (od 13 – 18 godina) kao gornju granicu navode dozu od 2.5 mg/kg/dan. Europska agencija za sigurnost hrane (eng. European Food Safety Authority, EFSA) kao gornju granicu za djecu i adolescente navodi malo veću dozu, 3 mg/kg kofeina na dan (Verster i Koenig, 2018). U preglednome radu Turnbulla i sur. (2017) o povezanosti kofeina i kardiovaskularnih bolesti, autori navode da nije poznata točna granica kada počinje štetni utjecaj kofeina s obzirom da je dokumentirano vrlo malo radova u kojima je ukupan dnevni unos kofeina bio veći od 600 mg. Umjerena konzumacija kofeina (do navedenih granica) nije povezana s povećanim rizikom od kardiovaskularnih bolesti, aritmija, srčanog udara, promjenama u krvnom tlaku kod redovnih konzumenata kave ili hipertenzije kod normalne populacije (Turnbull i sur., 2017). Međutim, kako navode Astorino i sur. (2007a), suplementacija kofeinom može dovesti do akutnog povećanja frekvencije srca i krvnog tlaka (primarno sistoličkog). Osobe koje su sklone aritmijama i tahikardijama trebale bi pripaziti na dozu kofeina kod konzumacije jer kofein blokadom adenozičkih receptora inhibira adenozički efekt te povećava aktivnost simpatičkog sustava što posljedično dovodi do pojačane aktivnosti  $\beta_1$ -receptora (Rudolph i Knudsen, 2010), a za što je fiziološko objašnjenje da konzumacija kofeina smanjuje protok krvi u srcu (Higgins i Babu, 2013). Preporučuje se da osjetljive osobe pripaze kod unosa (posebno kod viših doza jer je učinak

veći s višom dozom), dok kod prividno zdrave populacije ne bi trebalo biti dodatnih komplikacija. Cappelletti i sur. (2014) navode da je pozitivan učinak kofeina na percepciju budnosti i spremnosti utvrđen u radovima Greenberga i sur. (2007) te Leathwooda i Polleta (1982), ali nije moguće sa sigurnošću tvrditi veže li se djelovanje kofeina za poboljšanje kognitivnih funkcija ili olakšanje simptoma koji nastaju nakon prestanka uzimanja kofeina (James i Rogers, 2005; Nehlig, 2010). S druge strane, povećana anksioznost nakon konzumacije kofeina (posebno kod viših doza) zabilježena je u istraživanjima s ljudskim (Sawyer i sur., 1982), ali i životinjskim ispitanicima (Bhattacharya i sur. 1997; El Yacoubi i sur., 2000).

U skupu meta-analiza o utjecaju kave i kofeina na zdravstveni status Grosso i sur. (2017) navode da je na temelju nalaza randomiziranih kontroliranih istraživanja kofein povezan s porastom krvnog tlaka, a na temelju opservacijskih istraživanja sa smanjenim rizikom od Parkinsonove bolesti i dijabetesa tipa 2, ali i povećanim rizikom od gubitka ploda u trudnoći. U radu Fulgonia i sur. (2015) preporučuje se da žene u trudnoći i procesu dojenja ograniče unos kofeina na <300 mg/dnevno jer postoje naznake da bi konzumacija kofeina u većim dnevnim dozama mogla negativno utjecati na plodnost i razvoj djeteta.

Također, kod konzumacije kofeina treba pripaziti i na jedan poprilično banalan detalj ako se kofein konzumira iz praha. Zbog sličnog izgleda s drugim često konzumiranim dodacima prehrani (npr. kreatinom) postoji mogućnost da dođe do zamjene preparata i konzumacije previsoke doze kofeina pri čemu posljedice mogu biti veoma opasne po ljudski organizam. Visoke doze kofeina mogu dovesti do hiperadrenergičkog učinka, napadaja i poremećaja rada kardiovaskularnog sustava, a pretpostavlja se da doza od 10 grama može ozbiljno narušiti zdravstveni status te biti potencijalno smrtonosna (Alpert, 2012). Primjera radi, da bi prosječna osoba od 70 kg unijela tu dozu putem kave trebala bi popiti oko 150 šalica kave.

Kava je analizirana i zasebno te je na temelju opservacijskih istraživanja zaključeno da je povezana sa smanjenim rizikom od nekoliko vrsta raka, kardiovaskularnih bolesti, Parkinsonove bolesti, dijabetesa tipa 2, kao i od ukupne smrtnosti, dok je na temelju randomiziranih kontrolnih istraživanja bila povezana sa porastom serumskih lipida, ali uz brojnu heterogenost u istraživanjima, uslijed čega u konačnici autori navode da konzumacija kave može biti dio zdrave dijete (Grosso i sur., 2017). Zanimljivost je da čak i beskofeinska kava sadrži male doze kofeina (3 - 5 mg) (McLellan i sur. 2016). Popularnost kave je velika,

a vrijednosti kofeina u šalici mogu uvelike varirati ovisno o proizvođaču, vrsti kave i načinu obrade, količini vode korištene u pripremi, vremenu kuhanja itd. U istraživanju McCuskera i sur. (2003) pokazalo se da udio kofeina varira čak i kada se kava konzumira u istom restoranu, ali u različitim danima. Analiziran je uzorak istog modela kave iz restorana *Starbucks* 6 dana zaredom i dobiven je raspon udjela kofeina od 259 - 564 mg po šalici. To može biti posebno bitno za mlađu populaciju ili za trudnice ako bi željele pripaziti na dnevni unos.

Najčešći izvor kofeina je kava, ali zadnjih godina uvelike je porasla konzumacija energetske pića. Tržište energetske pića uvelike je popularizirala kompanija Red Bull koja se predstavila 1987. u Austriji i 1997. u SAD-u (Higgins i sur. 2010), a zatim rapidno proširila diljem svijeta. Vrijednosti kofeina u energetskim pićima su raznolike, ovisno o tipu i proizvođaču, što treba izazvati oprez kod djece i adolescenata jer za njih kofein u većim količinama može biti toksičan. Navedena pića mogu sadržavati i druge sastojke, poput guarane koja može stimulirati učinak kofeina (Cappelletti i sur., 2014), a posebice treba pripaziti na konzumaciju u kombinaciji s alkoholom ili psihoaktivnim supstancama. Dodatno, potrebno je naglasiti i da udio kofeina naznačen na ambalaži može varirati. U istraživanju Đureković i sur. (2019) autori su utvrdili da je od 15 analiziranih energetske napitaka na hrvatskome tržištu: 10 napitaka sadržavalo prosječno 5.33% manje kofeina (od označenog na ambalaži), a 5 napitaka je sadržavalo prosječno 3.01% više kofeina (od označenog na ambalaži).

Primjeri udjela kofeina u pojedinim namirnicama vidljivi su u Tablici 1.

**Tablica 1.** Sadržaj kofeina (mg/100 g ili 100 ml) odabrane hrane, pića ili dodatka prehrani

| Opis namirnice                        | Količina kofeina (mg/100g ili 100 ml) (izvor) |
|---------------------------------------|---|
| Kava; bez kofeina                     | 2.1/100 ml (Heckman i sur., 2010)             |
| Kava; instant                         | 40.1/100 ml (Heckman i sur., 2010)            |
| Kava; instant Franck                  | 430 – 472/100 ml (Niseteo i sur., 2012)       |
| Kava; obična, kuhana                  | 57.6/100 ml (Heckman i sur., 2010)            |
| Kava; turska/grčka Franck             | 196.6 – 266.6/100 ml (Niseteo i sur., 2012)   |
| Kava; espresso                        | 135/100 ml (Heckman i sur., 2010)             |
| Kava; espresso Franck                 | 96.6 – 193.3/100 ml (Niseteo i sur., 2012)    |
| Kava; filter Franck                   | 103.3/100 ml (Niseteo i sur., 2012)           |
| Cappuccino                            | 28.3 – 70/100 ml (Niseteo i sur., 2012)       |
| Čaj; zeleni                           | 19/100 ml (Heckman i sur., 2010)              |
| Čaj; crni                             | 20.3/100 ml (Heckman i sur., 2010)            |
| Coca-cola; klasična                   | 9.8/100 ml (Heckman i sur., 2010)             |
| Pepsi-cola                            | 10.5/100 ml (Heckman i sur., 2010)            |
| Dijetna cola                          | 13.2/100 ml (Heckman i sur., 2010)            |
| Red Bull napitak                      | 32.2./100 ml (Heckman i sur., 2010)           |
| Red Bull napitak; bez šećera          | 30/100 ml (Fitt i sur., 2013)                 |
| Monster napitak                       | 33.9/100 ml (Fitt i sur., 2013)               |
| Mliječna čokolada; bez dodataka       | 16.8/100 ml (Fitt i sur., 2013)               |
| Tamna čokolada (obična); bez dodataka | 52.5/100 g (Fitt i sur., 2013)                |
| Nestle Kit Kat                        | 11.1/100 g (Fitt i sur., 2013)                |

Prevedeno i modificirano prema Heckman i sur., (2010); Niseteo i sur., (2012); Fitt i sur., (2013)

## 1.5. PRETJERANA UPOTREBA I TOKSIČNOST KOFEINA

Sukladno navedenim činjenicama o konzumaciji kofeina, očito je da je kofein dio svakodnevice mnogih osoba. Javlja se navika konzumacije, što može prerasti u nervozu ako se preskoči konzumacija, a navodi se da bi interakcija s dopaminom mogla biti objašnjenje mogućeg poticanja ovisnosti (Alpert, 2012). Kada je u pitanju jedna doza kofeina, vrijednosti do 200 mg (oko 3 mg/kg tjelesne mase za odraslu osobu od 70 kg) smatraju se sigurnima (EFSA NDA Panel, 2015). Postoje vrlo dobro dokumentirani učinci pretjerane konzumacije kofeina kod pojedinaca koji zanemare preporuke i konzumiraju veće količine kroz određeni period ili na dnevnoj bazi (Reissig i sur., 2009). U želji da potaknu mentalne sposobnosti ili tjelesnu izvedbu, pojedinci počinju ignorirati sva zdravstvena upozorenja kombinirajući više izvora kofeina. Intoksikacija kofeinom je priznati klinički sindrom koji je naveden u Međunarodnoj klasifikaciji bolesti (ICD-10) Svjetske zdravstvene organizacije (Haghir i sur., 2013). Neki od simptoma karakteristični za stanje su nesanica, anksioznost, nemirnost, uzrujanost, problemi s gastrointestinalnim traktom, ubrzan rad srca, psihomotorički problemi, a u ekstremnim slučajevima čak i smrt.

Američki Institut za medicinu u preporukama za prehranu u školi također navodi da se pića koja sadrže kofein ne bi trebala prodavati u školama (Stallings i Yaktine, 2007). Temple i sur. (2017) navode da je većina smrti, koja je rezultat intoksikacije kofeinom, uzrokovana konzumacijom tableta za mršavljenje i u većini slučajeva se dogodila kod mladih pacijenata koji su imali prethodne srčane probleme s kojima nisu bili upoznati. Konzumaciju kofeina u svakom slučaju treba shvatiti veoma ozbiljno. Eichner (2014) spominje nekoliko smrtnih slučajeva koji su se dogodili zbog grube nepažnje, a može se izdvojiti slučaj 23-godišnjeg muškarca koji je na zabavi konzumirao 2 pune kuhinjske žlice kofeina u kombinaciji s energetske pićem (doza od 5600 mg), a nedugo zatim se srušio i preminuo. S obzirom na to da jedna čajna žličica može sadržavati dozu kao i 25 šalica kave, Eichner (2014) napominje i da osobe koje koriste kuhinjsku žlicu za procjenu doze kofeina mogu završiti sa smrtnim ishodom.

## 2. KOFEIN KAO ERGOGENO SREDSTVO U SPORTU I TJELESNOM VJEŽBANJU

Prvo objavljeno istraživanje o utjecaju kofeina na mišićne sposobnosti bilo je istraživanje Riversa i Webbera (1907). Prema preglednome radu McLellana i sur., (2016) u godinama nakon uslijedila su nova istraživanja, no imala su slabu statističku snagu zbog malog broja ispitanika (Alles i Feigen, 1942; Asmussen i Bøje, 1948; Foltz i sur., 1942a; 1942b;1942c; Ganslen i sur., 1964; Haldi i sur., 1941; Margaria i sur. 1964; Thornton i sur. 1939). Nadalje, McLellan i sur. (2016) u preglednome radu navode i da su se u izvješćima vodile razlike prema različitim kriterijima, primjerice između treniranih i netreniranih ispitanika (Foltz i sur., 1942a; 1942b;1942c), trajanju vježbanja (Asmussen i Bøje, 1948), korištenim dozama (Alles i Feigen, 1942; Haldi i sur., 1941), percepciji boli i umora, kao i poboljšanjima u izvedbi nakon konzumacije kofeina (Foltz i sur., 1942c), ali provedena su i istraživanja kod kojih se činilo da kofein nije imao učinka na ispitanike (eng. *non-responders*) (Alles i Feigen, 1942; Foltz i sur, 1942c; Thornton i sur., 1939). Spominje se da su u rijetkim slučajevima doze bile raspoređene po masi ispitanika (Haldi i sur., 1941), no većinom su konzumirane u apsolutnim količinama od 200 - 300 mg (ili 3 - 4 mg/kg), kroz napitke (eng. *infused*) (Foltz i sur., 1942c) ili kroz krute namirnice (eng. *ingested*) (Alles i Feigen, 1942; Asmussen i Bøje, 1948; Haldi i sur., 1941; Margaria i sur., 1964; Thornton i sur. 1939). Od tada pa do danas kofein je jedan od najbolje istraženih dodataka prehrani i često je korišten od strane rekreativnih vježbača i vrhunskih sportaša s ciljem poboljšanja tjelesne izvedbe.

Dobra vijest za sportaše je da od 2004. godine kofein više nije na zabranjenoj listi Svjetske antidopinške agencije (eng. WADA) (Del Coso i sur., 2011). Do 2004. godine sportaši kojima je razina kofeina u urinu prelazila 12 µg/mL bili su diskvalificirani s Olimpijskih igara. Zbog nemogućnosti razlikovanja između socijalne konzumacije kofeina u obliku kave, čokolada i ostalih namirnica i unosa visokih doza kofeina s namjerom poboljšanja sposobnosti, WADA (Svjetska antidopinška agencija) je uklonila kofein s popisa zabranjenih supstanci (McLellan i sur., 2016). U radu Aguilar-Navarra i sur. (2019) obrađeni su uzorci urina 7488 sportaša od 2004. - 2015.g. koji su se natjecali u Olimpijskim sportovima (2788 u 2004.g, 2543 u 2008.g i 2157 u 2015.g), a rezultati ukazuju na jasan trend u porastu konzumacije kofeina kod oba spola, no samo je 0.6% uzoraka imalo više



koncentracije od prethodno dozvoljene granične razine (12 µg/mL), dok je većina uzoraka (67.3%) sadržavala koncentraciju ispod 5 µg/mL. Najviše razine koncentracije kofeina u urinu izmjerene su kod sportaša u sportovima izdržljivosti: triatlon (3.3±2.2 µg/mL), biciklizam (2.6±2.0 µg/mL) i veslanje (1.9±1.4 µg/mL), a gimnastika je bila sport u kojem su vrijednosti bile najniže (0.5±0.4 µg/mL).

Kada su u pitanju sportovi jakosti i snage, analizirani su rezultati dizača utega, kod kojih se također vidi jasan trend u porastu konzumacije (Aguilar-Navarro i sur., 2019), pri čemu rezultati iz 2015. pokazuju da je konzumacija bila veća nego kod većine ostalih sportova. Značajno je također i da su natjecatelji u dobi >30 godina imali više koncentracije kofeina u urinu u odnosu na mlade, a ukupno gledajući, koncentracija kofeina kod sportaša je bila vrlo visoka te se može zaključiti da su 3 od 4 sportaša konzumirala kofein. Pozitivan utjecaj kofeina na sportsku izvedbu može se objasniti kroz nekoliko mehanizama. Konkretno, akutno poboljšanje izvedbe nakon konzumacije kofeina pripisuje se:

- povećanom otpuštanju kalcija iz sarkoplazmatskog retikuluma (što može pozitivno utjecati na mišićnu kontrakciju),
- povećanoj aktivaciji motoričkih jedinica (koja može povećati aktivaciju mišića te posljedično i generiranje maksimalne sile),
- potencijalnom smanjenju subjektivnog osjećaja opterećenja i osjećaja boli,
- povećanoj oksidaciji masti i smanjenju potrošnje glikogena (što bi moglo utjecati na poboljšanje izvedbe primarno u aktivnostima u kojim se dominantan dio energije dobiva aerobnim energetske putovima) (McLellan i sur., 2016).

Postoje i ograničeni dokazi iz istraživanja na životinjskim modelima o stimulirajućem učinku kofeina na povećanje proizvodnje sile u mišićnim vlaknima. Rezultati ukazuju da su učinci izraženiji kod vlakana tipa I u odnosu na vlakna tipa II (Tallis i sur., 2012). Konzumacija kofeina je iscrpno istraživana s obzirom na široku rasprostranjenost, laku dostupnost i njegove pristupačne cijene. Nedavno su Grgić i sur. (2019a) objavili pregledni rad kojim su analizirali objavljene pregledne radove (eng. *umbrella review*) o učinku kofeina na tjelesnu izvedbu. U rad su uključene meta-analize koje su zadovoljile kriterije za uključivanje te se navedena vrsta rada smatra najvećom razinom znanstvenog dokaza u određenom području.

U radu je utvrđeno da konzumacija kofeina može imati stimulirajući učinak na različite komponente izvedbe – aerobnu izdržljivost, mišićnu izdržljivost, mišićnu jakost, snagu, skakačku izvedbu i brzinu izvedbe.

Kao ključne nove spoznaje, autori navode da su svi radovi (11 uključenih meta-analiza) zabilježili značajna poboljšanja u barem jednoj komponenti izvedbe nakon konzumacije kofeina s rezultatima koji upućuju na veličinu učinka od trivijalnih do umjerenih. Konkretno, za mišićnu jakost, mišićnu izdržljivost, anaerobnu snagu i aerobnu izdržljivost kvaliteta dokaza je bila umjereni (iz umjerenih do visoko kvalitetnih preglednih radova), dok je za ostale sposobnosti kvaliteta dokaza bila loša ili veoma loša (iz umjereni do visoko kvalitetnih preglednih radova). Također, poboljšanja su generalno veća kod aerobnih u odnosu na anaerobne testove, ali važno je napomenuti da se većina zaključaka odnosi na muškarce (s obzirom na to da je uzorak ispitanika u istraživanjima bio sastavljen od 72 - 100% ispitanika muškog spola). Radi lakšeg prikupljanja ispitanika i lakše provede (zbog fizioloških razlika između spolova), većina istraživanja je provedena na muškim ispitanicima. Autori također navode da se zaključci koji se odnose na kofein ne prenose nužno i na kavu (Grgić i sur., 2019a).

## **2.1. UČINAK KOFEINA NA IZVEDBU BALISTIČKIH POKRETA, JAKOST I MIŠIĆNU IZDRŽLJIVOST**

Poznato je da je trening s otporom važan za smanjenje rizika od nastanka osteoporoze i sarkopenije te za poboljšanje spremnosti za obavljanje svakodnevnih aktivnosti. U nedavno objavljenome radu Mcleoda i sur. (2019) ističe se važnost treninga s otporom u prevenciji rizika brojnih kroničnih nezaraznih bolesti te autori predlažu da bi trening s otporom trebao imati zastupljeniju ulogu u propisivanju aktivnosti (posebice kod starijih osoba), a s obzirom da dokazi upućuju da za brojna stanja može biti jednako efektivan u smanjenju rizika kao i aerobni trening. Kod treninga s otporom, fokus u literaturi uglavnom je usmjeren na 3 mišićne kvalitete: mišićnu jakost, mišićnu izdržljivost i mišićnu snagu (Grgić i sur., 2019b).

### 2.1.1. IZVEDBA BALISTIČKIH POKRETA

Balistički pokret podrazumijeva pokret ili kretnju koja se izvodi kroz vrlo kratko vrijeme i rezultira maksimalnim ubrzanjima tijela ili segmenta tijela. Balistički pokreti su, dakle, kratkotrajni, eksplozivni, imaju kratko vrijeme kontrakcije te brzi prirast sile (Zehr i Sale, 1994; Newton, 1996). Ergogeni učinak kofeina na izvedbu balističkih pokreta bi mogao biti posljedica povećanog otpuštanja kalcija iz sarkoplazmatskog retikuluma i povećane aktivacije motoričkih jedinica koje pospješuju mišićnu kontrakciju (Tarnopolsky, 2008; Bazzucchi i sur., 2011). Izvedba brzih pokreta poput skokova, bacanja i udaraca dugo se promatrala primarno u kontekstu mišićne snage. Prema Cormieu i sur. (2007), mišićna snaga odnosi se na obavljen rad u jedinici vremena, a često se predstavlja i kao umnožak sile i brzine. U preglednome radu Grgić i sur. (2019b) nalaze da je većina istraživanja koja je bila uključena u analizu promatrala snagu kroz skakačku izvedbu (Grgić i sur., 2018a), 30 sec Wingate test (Grgić, 2018b) ili sposobnost ponavljanih sprintova (Glaister i sur., 2015; Schneiker i sur. 2006), a rezultati ukazuju da kofein može akutno poboljšati komponente snage. Grgić (2018b) u meta-analizi o učinku kofeina na vršnu i prosječnu snagu kod 30 sec Wingate testa, navodi poboljšanje od +4% za vršni izlaz snage i +3% za prosječni izlaz snage, dok je u specifičnoj meta-analizi (Grgić i sur., 2018a) koja je promatrala snagu kroz skakačku izvedbu dobiven učinak od +4% u odnosu na izvedbu s placebom.

Međutim, nedavno je objavljen članak Morina i sur. (2019) u kojem se preispituje ispravnost korištenja visine vertikalnog skoka za procjenu mišićne snage. Autori navode da nizak regresijski koeficijent ( $r^2 < 0.56$ ) ukazuje na to da veliki dio varijance maksimalnog izlaza snage nije izravno objašnjen visinom skoka. To upućuje da se visina skoka sama po sebi ne može smatrati indikatorom generirane snage, već da postoje i drugi faktori koji utječu na visinu skoka poput mase tijela, puta koji centar mase prelazi tijekom odraza te individualnog i optimalnog profila sile i brzine. Sukladno navedenome, visinu vertikalnog skoka bi bilo smislenije smatrati pokazateljem izvedbe balističkog pokreta i, osim u slučajevima kad je snaga pri odrazu izravno izmjerena (npr. pri korištenju platforme za mjerenje sile), ne treba donositi zaključke o generiranoj snazi temeljem visine skoka.

Za izvedbu balističkih pokreta može se zaključiti da postoje kvalitetni dokazi koji upućuju na ergogeni učinak kofeina, a u prilog tome ide i novije istraživanje Wilka i sur. (2020), u kojem su autori promatrali brzinu izbačaja šipke na Smith mašini kod habitualnih

konzumenata kofeina nakon konzumacije placeba, 3 ili 6 mg/kg kofeina. Autori navode da su zabilježena poboljšanja u prosječnoj brzini i prosječnome izlazu snage kod obje doze, ali bez promjene u vršnoj brzini izbačaja te vršnome izlazu snage.

### **2.1.2. JAKOST I MIŠIĆNA IZDRŽLJIVOST**

Carroll i sur. (2001) definiraju mišićnu jakost kao sposobnost proizvodnje sile pod određenim biomehaničkim uvjetima, a u praksi se ugl. koristi u kontekstu savladavanja velikih opterećenja, neovisno o brzini. Prema Grgiću i sur. (2019b), u literaturi se kao oblici jakosti navode dinamička (kombinacija koncentrične i ekscentrične mišićne akcije), izometrička (mišićna akcija kod koje ne dolazi do promjene dužine mišićno-tetivnog kompleksa) i reaktivna jakost (sposobnost brze promjene iz ekscentričnog u koncentrični rad). Za procjenu jakosti u laboratorijskim uvjetima koriste se izokinetički i izometrijski aparati, dok u terenskim testovima prednjače 1RM testovi koji se izvode većinom kod kompleksnih pokreta (primjerice izvedba čučnja ili potiska s ravne klupe) (Levinger i sur., 2009).

Kako bi odgovorili na pitanje o učinku konzumacije kofeina na mišićnu jakost i izdržljivost Warren i sur. (2010) su proveli meta-analizu o utjecaju kofeina na maksimalnu voljnu kontrakciju (u kojoj je većina istraživanja koristila izometričke testove jakosti) te su dobili prosječno poboljšanje izvedbe od +4% (s učinkom koji je primarno vidljiv kod mišića opružaća koljena (+7%), ali ne i na manjim mišićnim skupinama). Grgić i Pickering (2019) su također proveli meta-analizu o učinku kofeina na izokinetičku jakost te uočili prosječno povećanje učinka od +6%. U meta-analizi Grgića i sur. (2018a) dostupni su podaci o učinku kofeina na 1RM mišićnu jakost, a koji rezultati sugeriraju da konzumacija kofeina povećava 1RM jakost (u prosjeku za +3%) u usporedbi s placebom. Dodatna analiza otkrila je da su poboljšanja izvedbe ostvarena za vježbe gornjeg dijela tijela, ali ne i donjeg dijela tijela.

Treba istaknuti da su pritom prisutne varijacije između ispitanika, što je jasno prikazano u radu Grgića i Mikulića (2017) koji navode da iako je jedan sat nakon konzumacije 6 mg/kg kofeina u obliku praha većina ispitanika iskusnih u treningu s otporom

ostvarila poboljšanja u izvedbi stražnjeg čučnja, bilo je i ispitanika kod kojih nije bila zabilježena promjena ili je uzimanje kofeina čak imalo negativan učinak na izvedbu.

Mišićna izdržljivost se odnosi na efikasno odupiranje umoru, odnosno na sposobnost mišića ili grupe mišića da izvode ponavljajuće kontrakcije savladavajući vanjski otpor kroz produženi period (Kell i sur., 2001). U literaturi se kod testiranja izvode zadaci u kojima je cilj održavati proizvodnju sile na određenom postotku od maksimalne voljne kontrakcije (laboratorijski uvjeti) ili testovi do trenutnog mišićnog otkaza s 50 - 60% 1RM (terenski testovi) (Grgić i sur., 2019b). Grgić i sur. (2019b) navode da je nekoliko meta-analiza (Polito i sur., 2016; Warren i sur., 2010) utvrdilo da kofein može imati stimulirajuće djelovanje kada je u pitanju mišićna izdržljivost (u dinamičkome i izometričkome radu). Povećanja su iznosila od +6 do +7% u odnosu na placebo izvedbu. Nadalje, autori objašnjavaju da u nekoliko istraživanja u kojima su promatrani učinci kofeina na mišićnu izdržljivost (Astorino i sur., 2007b; Goldstein i sur., 2010a; Grgic i Mikulic, 2017) nisu uočeni značajni učinci kada su testiranja provedena nakon testiranja maksimalne jakosti. S obzirom na to da se konzumacija kofeina pokazala učinkovitom prevencijom u situacijama u kojima se događa pad sile uzrokovan umorom (Pethick i sur. 2018), potrebna su daljnja istraživanja u tom području radi dobivanja konačnih preporuka (prema Grgić i sur., 2019b).

## **2.2. OPTIMALNA DOZA KOFEINA ZA POBOLJŠANJE SPORTSKE IZVEDBE**

S obzirom na potencijalne nuspojave koje se mogu javiti nakon konzumacije kofeina kod nekih osoba, veoma je bitno znati koji učinci se mogu postići s određenim dozama. Međunarodno društvo za sportsku prehranu (eng. International Society of Sports Nutrition) u svojoj izjavi iz 2010. navodi preporuku od 3 - 6 mg/kg kofeina 60 minuta prije vježbanja kao dozu koja bi trebala polučiti ergogene učinke kod tjelesne izvedbe (Goldstein i sur., 2010b). U nedavno objavljenome preglednom radu Grgić i sur. (2019a) preporučuju i nižu dozu. Navode da bi (kao okvirna smjernica) kao doza koja bi trebala polučiti ergogeni učinak za većinu populacije mogle poslužiti dvije šalice kave (pretpostavljajući da jedna sadrži 100 mg kofeina) konzumirane 60 min prije vježbanja.

Grgić i sur. (2019a) navode da doza može ovisiti o genetskim faktorima (Jenkins i sur., 2008; Pickering i Kiely, 2018), tipu aktivnosti (Grgić, 2018c; Grgić i sur., 2019b; Pallarés i sur., 2013), tipu mišićne akcije (Tallis i Yavuz, 2018) i izvoru kofeina (Wickham i Spriet, 2018).

McLellan i sur. (2016) drže da stimulirajuća doza ovisi o cirkulirajućoj koncentraciji kofeina u plazmi koja je dostatna da blokira adenozične receptore, a koja iznosi otprilike 15 - 20  $\mu\text{M}$ . Ističu primjere u kojima ergogeni učinci nisu postignuti s dozom od 10  $\mu\text{M}$  koncentracije kofeina u plazmi (Van Soeren i Graham, 1998), kao i da je postignut stimulirajući efekt s dozom 3 mg/kg kada je koncentracija kofeina u plazmi dostigla 18  $\mu\text{M}$  (Graham i Spriet, 1995). Grgić i sur. (2019b) preporučuju raspon od 3 - 9 mg/kg kofeina kao optimalnu dozu kod treninga s otporom, s oprezom za krajnje granice (pogotovo kod osoba veće tjelesne mase).

Odabir optimalne doze za izvedbu balističkih pokreta izazovan je zbog činjenice da ne postoji mnogo istraživanja s različitim dozama te da su istraživanja provedena na različitim populacijama. Kod izvedbe balističkih pokreta donjeg dijela tijela (promatrane kroz visinu vertikalnog skoka) u preglednim radovima (Polito, 2016; Grgić, 2018a) većinom je korištena samo jedna doza kofeina (najčešće u dozi od 6 mg/kg). Dostupna su 2 rada (Arazi i sur., 2016a; Ellis i sur., 2019) u kojima su autori analizirali različite doze kofeina. U istraživanju Araza i sur. (2016a) korištene su doze od 2 i 5 mg/kg te se nisu pokazale ergogenima na uzorku od 10 sportašica. Kod Ellisa i sur. (2019), promatrana je izvedba nakon 3 različite doze (1, 2 i 3 mg/kg) te je zabilježen ergogen učinak samo sa dozom od 3 mg/kg (prosječno povećanje u visini skoka je iznosilo +3.6 cm u odnosu na placebo). Međutim, doza od približno 2 mg/kg pokazala se ergogenom kod Ranchordasa i sur. (2019). U navedenome istraživanju korištena je apsolutna doza od 200 mg kofeina u obliku žvakaćih guma te je dobivena statistički značajna razlika u odnosu na placebo, ali upitno je koliko je poboljšanje bitno u praktičnome smislu s obzirom na to da je prosječno akutno povećanje u visini skoka iznosilo +1.5 cm (čime je upitno značenje za svakodnevni rad u praksi). Alternative izvore (kofeinske žvakaće gume i kofeinski gel) su također koristili Venier i sur. (2019a, 2019b) u dozi od 300 mg (relativna doza  $\sim 3.5$  mg/kg), a povećanja u izvedbi su iznosila +4.6% (Venier i sur., 2019a) i +3.3% (Venier i sur., 2019b) u odnosu na placebo izvedbu. Za izvedbu balističkih pokreta gornjeg dijela tijela, Wilk i sur. (2020) su jedini koristili 2 doze kofeina (3 i 6 mg/kg) te su zabilježili slična poboljšanja kod obje doze prilikom izbačaja šipke s ravne klupe (kada su u pitanju prosječna brzina šipke i prosječni izlaz snage).

Kod jakosti mišića donjeg dijela tijela, Grgić i Mikulić (2017) su proveli testiranje koje je također uključivalo izvedbu stražnjeg čučnja sa slobodnim utezima za procjenu mišićne jakosti donjeg dijela tijela. Međutim, koristili su samo jednu dozu kofeina (6 mg/kg) i dobiveno je poboljšanje od ~3%. Kada je u pitanju utjecaj korištenja različitih doza kofeina na 1RM jakost, Arazi i sur. (2016a) nisu uočili značajne razlike u odnosu na placebo s dvije doze kofeina (2 i 5 mg/kg). Za jakost gornjeg dijela tijela, Wilk i sur. (2019a, 2019b) testirali su i više doze kofeina (9 i 11 mg/kg) kod izvedbe potiska s klupe te su uočili statistički značajne razlike u odnosu na placebo po pitanju 1RM jakosti.

Kod mišićne izdržljivosti mišića donjeg i gornjeg dijela tijela, Grgić i Mikulić (2017) navode da nisu uočili statistički značajne razlike u odnosu na placebo s dozom od 6 mg/kg dok su Polito i sur. (2019) zabilježili značajne razlike u odnosu na placebo izvedbu za obje doze kofeina (3 i 6 mg/kg) pri izvedbi više serija do mišićnog otkaza za mišiće gornjeg dijela tijela. Više doze (9 i 11 mg/kg) spominju Wilk i sur. (2019a, 2019b) pri testiranju mišićne izdržljivosti mišića gornjeg dijela tijela, ali bez statistički značajnih razlika u odnosu na placebo izvedbu.

Kao jedan od problema u radu o preporukama za buduća istraživanja o utjecaju kofeina, Pickering i Grgić (2019) ističu da ih je većina rađena na manje od 20 ispitanika (Davis i Green, 2009; Desbrow i sur., 2012; Glaister i sur., 2012; Jenkins i sur., 2008; Pasma i sur. 1995; Stadheim i sur., 2014; Trevino i sur., 2015), te bi navedeno moglo objasniti nejasne nalaze zbog nedovoljne statističke snage. Potrebna su daljnja istraživanja da bi se stiglo do jasnijih zaključaka, a u praktičnome smislu, idealno bi bilo da svaki pojedinac isproba više doza kofeina (po navedenim preporukama) na različitim aktivnostima i temeljem rezultata koje postiže i subjektivnog dojma, sam procijeni koja doza (i iz kojeg izvora) mu najviše odgovara.

### **2.3. UTJECAJ KOFEINA NA IZVEDBU MIŠIĆA GORNJEG I DONJEG DIJELA TIJELA**

Stimulirajući utjecaj kofeina na izvedbu bio je tema brojnih istraživanja tako da se pojavila potreba da se procijeni je li stimulirajući utjecaj neovisan o veličini i lokaciji mišića. Na temelju dostupnih rezultata na mišićima gornjeg i donjeg dijela tijela, u preglednome radu

Grgić i sur. (2019b) navode da bi se izraženiji učinak na mišiće donjeg dijela tijela mogao očitovati zbog potencijalno većeg prostora za napredak tijekom proizvodnje maksimalne sile (u usporedbi s drugim mišićnim skupinama).

Kada je balistička izvedba u pitanju, u prilog tom navodu možemo izdvojiti istraživanje Ranchordasa i sur. (2019) na ragbi igračima, gdje su autori zabilježili statistički značajnu razliku u odnosu na placebo izvedbu s dozom od približno 2 mg/kg kofeina. U tom istraživanju testirana je balistička izvedba mišića donjeg dijela tijela kroz maksimalnu visinu skoka. S druge strane, u istraživanju Grgića i Mikulića (2017) za balističku izvedbu mišića gornjeg dijela tijela (kroz test bacanja medicine s prsa) navodi se statistički značajna razlika u odnosu na placebo izvedbu s dozom od 6 mg/kg kofeina. U tome istraživanju je korištena samo jedna doza pa je spekulativno bi li poboljšanja bila ostvarena i s nižim dozama, a kao naznaku te mogućnosti Wilk i sur. (2020) navode ostvarena poboljšanja s 3 i 6 mg/kg kofeina na prosječni izlaz snage i prosječnu brzinu šipke (ali ne i na vršni izlaz snage i vršnu brzinu) prilikom izvođenja više serija izbačaja šipke s prsa.

U pogledu utjecaja kofeina na jakost mišića, meta-analiza Grgića i sur. (2018a) navodi da je poboljšanje u 1RM jakosti mišića gornjeg dijela tijela iznosilo +3.4% te jakosti mišića donjeg dijela tijela +2.9%. Navedeni rezultati su oprečni stavu o pojačanom učinku kofeina na izvedbu mišića donjeg dijela tijela, no ograničenje tih istraživanja je manji broj ispitanika u istraživanjima. Od recentnijih istraživanja, Wilk i sur. (2019a, 2019b) navode da su ipak moguća poboljšanja u mišićnoj jakosti kod izvedbe potiska s klupe (kod visokih habitualnih konzumenata), no samo ako se koriste visoke doze kofeina (9 i 11 mg/kg).

Za mišićnu izdržljivost mišića gornjeg i donjeg dijela tijela, Polito i sur. (2016) u meta-analizi ne navode razlike između veličine mišića i regija tijela. Statistički značajne razlike u izvedbi, s dozom od 6 mg/kg kofeina u odnosu na placebo, nisu uočili ni Grgić i Mikulić (2017) kada su testirali mišićnu izdržljivost mišića gornjeg i donjeg dijela tijela.

Analizirajući dosadašnja istraživanja, uočljiva je potreba za dodatnim istraživanjima koja će pobliže objasniti postoje li razlike u odgovorima na kofein između raznih regija tijela te treba li prilikom analize, osim o regiji tijela, obratiti pozornost i na sposobnost koja se testira za tu regiju tijela.



## 2.4. GENOTIPSKE RAZLIKE U ODGOVORIMA NA KOFEIN

Suplementacija kofeinom može polučiti različite učinke na pojedince. Neka istraživanja čak navode da ima pojedinaca koji ne reaguju (eng. *non-responders*) na kofein (Desbrow i sur., 2009; Jackman i sur., 1996; Spriet i sur., 1992). Navedeni radovi analizirali su učinak kofeina na aerobne sposobnosti, a primjer varijacije u odgovorima na kofein navode i Grgić i Mikulić (2017) pri treningu s otporom. Većina ispitanika u njihovom istraživanju ostvarila je poboljšanja konzumacijom kofeina (svladali su veće opterećenje), dok su tri ispitanika ostvarila lošiju izvedbu pod utjecajem kofeina, a tri su imala podjednaku izvedbu prilikom konzumacije placeba i kofeina. Potencijalne genetske varijacije u stimulirajućim odgovorima kofeina na izvedbu bile su predmet istraživanja tri pregledna rada (Pickering i Kiely, 2018; Fulton i sur., 2018; Southward i sur., 2018). Pickering i Grgić napominju da je CYP1A2 najbolje istražen provedbom 9 istraživanja (Algrain i sur., 2016; Giersch i sur., 2018; Guest i sur., 2018; Klein i sur., 2012; Pataky i sur., 2016; Puente i sur., 2018; Rahimi, 2019; Salinero i sur., 2017; Womack i sur., 2012) koja su promatrala učinke kofeina na izvedbu i otkrila da je povezan s metabolizmom kofeina, ali ograničenje radova je malen broj ispitanika, a što bi moglo utjecati na statističku snagu istraživanja i kvalitetnije zaključke (dobiveni su oprečni rezultati).

U istraživanju Guesta i sur. (2018) proučavan je učinak kofeina na AA, AC i CC genotipe kod zadatka u kojemu je cilj bio završetak dionice od 10 km (biciklizam). Vrijeme je mjereno nakon konzumacije placeba te doza od 2 i 4 mg/kg kofeina. Zanimljivo, doze kofeina od 2 i 4 mg/kg pokazale su se ergogenima samo za AA genotip (4.8% i 6.8%), bez učinka za AC, a kod CC je zabilježeno povećanje vremena potrebnog za završetak dionice nakon konzumacije 4 mg/kg (13.7% u odnosu na placebo). Autori navode da osobe s AA genotipom imaju brži metabolizam kofeina, što bi potencijalno objasnilo zašto su osobe s tim genotipom poboljšale izvedbu nakon 60 minuta, ali ostaje pitanje je li vrijeme bilo ključni faktor, odnosno bi li iste učinke ostvarili i sudionici s drugim genotipima (AC i CC) da su u izvedbu zadatka krenuli kasnije (npr. nakon isteka 90 ili 120 minuta). Također, ostaje pitanje jesu li razlike određene genetskim polimorfizmima ili nekim drugim faktorima koji su utjecali na izvedbu.

Prema radu Gu i sur. (1992) CYP1A2 je odgovoran za proizvodnju citokroma P450 1A2, enzima koji je zaslužan za ~95% metabolizma kofeina, a prema radu Sachse i sur.

(1999) ispitanici s AA genotipom mogu metabolizirati kofein brže od ostala 2 genotipa te stimulirati veću proizvodnju enzima. Kako bi dodatno istražili taj utjecaj, u nedavno objavljenome radu Grgić i sur. (2020a) su odlučili istražiti utjecaj konzumacije kofeina na 20 ispitanika iskusnih u treningu s otporom koji su identificirani kao ADORA2A C nosioci alela (CC/CT genotip). Ispitanici su testirani u dva navrata nakon konzumacije placeba ili kapsule koje je sadržavala 3 mg/kg kofeina. Testovima su mjerili brzinu pokreta, izlaz snage i mišićnu izdržljivost (pri izvedbi potiska s klupe, skoka s pripremom i Wingate testa). Autori navode da je od 25 analiziranih varijabli ergogeni učinak uočen u 21 varijabli (s veličinom učinka od 0.14 do 0.96) te da su učinci bili slični onima u literaturi u kojoj nisu specificirane genetske razlike, a što upućuje na to da ADORA2A C nosioci alela također mogu ostvariti koristi. Iz navedenih rezultata se zaključuje da je stimulirajući učinak vidljiv i kod CC genotipa.

U preglednome radu Pickering i Grgić (2019), prema radu Womacka i sur. (2012), navode da CYP1A2 utječe na daljnju razgradnju metabolita (paraksantina, teobromina i teofilina) koji imaju stimulirajući učinak kod konzumacije kofeina, a što ujedno predstavlja i potencijalni mehanizam za poboljšanje sposobnosti kod AA genotipa (koji ima bržu razgradnju). Također navode i da bi CC genotip kod dugotrajnih aerobnih aktivnosti potencijalno mogao iskusiti učinke produžene vazokonstrikcije (budući da je kofein vazokonstriktor) koji bi mogli utjecati na smanjenje izvedbe (Guest i sur., 2018). Pickering i Grgić (2019) ističu mogućnost doprinosa razlikama između pojedinaca zbog jednonukleotidnog polimorfizma unutar dopaminergičkih gena - DRD2 i COMT (Brathwaite i sur., 2011; Childs i sur., 2008), adenzina - AMPD1 (De Caterina i El-Sohemy, 2016) i adrenergičkih sistema - ADRA1A, ADRA2B, ADRB1, ADRB2, i ADRB3 (De Caterina i El-Sohemy, 2016). Ubrzanim napretkom tehnologije, znanja o genima bi trebala biti dostupnija, testiranja jeftinija te se nadamo da ćemo uskoro moći shvatiti bolje učinak kofeina na različite genome i potencijalno shvatiti kako poboljšati tjelesnu izvedbu kod sva tri genoma.

## **2.5. VRIJEME KONZUMACIJE KOFEINA, KONZUMACIJA U ODNOSU NA DOBA DANA**

Većina istraživanja u pregledu Grgića i sur (2019a) koristila je konzumaciju kofeina 60 minuta prije vježbanja pa je potrebno istražiti je li moguće stimulirajući učinak ostvariti ako se kofein konzumira ranije ili kasnije. Navedeno vrijeme koristi se jer je Graham (2001) zabilježio da su nakon 60 minuta vrijednosti kofeina u plazmi blizu maksimalnih. Prema McLellan i sur. (2016), postoje istraživanja koja ukazuju i da vježbanje može utjecati na senzitivnost adenozijskih receptora (sniziti prag), pa tako mala doza konzumirana na početku vježbanja/zagrijevanja (Hogervorst i sur., 2008; Kovacs i sur., 1998; Lane i sur., 2014) može biti jednako efikasna kao jednaka ili veća doza konzumirana jedan sat prije vježbanja (Conway i sur., 2003; Cox i sur., 2002; Ryan i sur., 2013). Langfort i sur. (1993) su proveli istraživanje u kojem su uočili da jedan sat vježbanja utječe na adenozijske receptore u odnosu na inzulin kod *m. soleus* na životinjama (štakorima), tako da je moguće da se osjetljivost adenozijskih receptora na kofein mijenja i tijekom nekoliko sati nakon vježbanja. Važno je naglasiti i da je kofeinski izvor u dosadašnjim istraživanjima najčešće bila kofeinska kapsula što utječe na vrijeme apsorpcije kofeina. Primjerice, kofeinske žvakaće gume i gelovi se puno brže apsorbiraju te optimalno vrijeme konzumacije ovisi o izvoru kofeina (Wickham i Spriet, 2018).

Ergogeni učinak kofeina bi mogao ovisiti ne samo o vremenu konzumacije prije aktivnosti, već i dobu dana u kojem se konzumira, a s obzirom da je poslijepodne čovjek obično budniji i spremniji za aktivnosti. Pickering i Grgić (2019) u preglednom radu navode da je utvrđeno da cirkadijski ritam utječe na tjelesnu izvedbu (Reilly i Waterhouse, 2009) te ističu nekoliko istraživanja prema kojima je moguće očekivati poboljšanu izvedbu u poslijepodnevnom satima u odnosu na jutarnje (Fernandes i sur., 2014; Racinais i sur., 2010; Reilly i Waterhouse, 2009). Kad je u pitanju učinak kofeina, Mora-Rodríguez i sur. (2015) su izvodili testiranja ispitanika u kojima su procjenjivali izvedbu čučnja s različitim postocima od jednog maksimalnog ponavljanja (1RM, 25%, 50%, 75% i 90% 1RM) u različito doba dana (u 8 sati ujutro i u 18 sati). Pritom su dobili rezultate koji pokazuju da se izvedba nakon konzumacije kofeina poboljšala samo u jutarnjim satima, dok je u večernjim izostao ergogeni učinak. Kao potencijalni mehanizam navodi se smanjenje mogućnosti aktivacije mišića u jutarnjim satima koja bi mogla biti povećana konzumacijom kofeina, što posljedično dovodi

do poboljšanja izvedbe. Slični učinci već su poznati kod vožnje bicikla u istraživanju Atkinsona i sur. (2005).

Veći ergogeni učinak kofeina također je utvrđen u istraživanju Boyetta i sur. (2016), u kojem su autori promatrali koje je vrijeme potrebno da se završi dionica od 3 km kod vožnje bicikla. U jutarnjim satima zabilježeno je veće poboljšanje izvedbe (+2.3%) u odnosu na večernje (+1.4%). Međutim, Pickering i Grgić (2019) ističu postojanje radova koji su promatrali sprintersku i biciklističku izvedbu na 3 km te da nisu uočene razlike u stimulirajućem utjecaju kofeina u odnosu na doba dana (Lopes-Silva i sur., 2019; Saunders i sur. 2018). Kod konzumacije kofeina pažnju treba usmjeriti i na potencijalne nuspojave (poput povećanja budnosti) koje bi mogle utjecati na kvalitetan odmor ako se kofein konzumira u popodnevnim satima (Mora-Rodríguez i sur., 2015). S druge strane, Beaumont i sur. (2004) drže da bi djelotvornost kofeina mogla pomoći sportašima koji često mijenjaju vremenske zone u smislu prilagodbe kod pospanosti u danu, a Lagarde i sur. (2001) uočavaju i poboljšanje kod umora izazvanog putovanjem kroz vremenske zone (eng. jet-lag).

## **2.6. HABITUALNI UNOS KOFEINA**

Termin habitualni unos označava radnju koja se događa redovito, odnosno u ovome slučaju označava da osoba ima naviku redovite (tj. svakodnevne) konzumacije kofeina (eng. „habit“ = hrv. „navika“). Kofein je supstanca koju konzumira oko 80% svjetske populacije pa je samim time i informacija o učinku habitualne konzumacije kofeina praktično veoma bitna (Heckman i sur., 2010). Dagera i sur. (1999) objavili su istraživanje u kojem su promatrali metabolički odgovor ljudskog mozga nakon doze od 10 mg/kg kod regularnih konzumenata kofeina (grupe koje konzumira visoke doze kofeina) i tzv. netolerantne grupe (koja je značajno smanjila upotrebu kofeina zbog negativnih psiholoških učinaka povezanih s anksioznošću i nelagodom). U svakoj grupi je promatrano 9 ispitanika, a rezultati govore da su se laktati u mozgu povećali samo kod netolerantne grupe što je također rezultiralo značajnim psihološkim i fiziološkim nemirom nakon konzumacije kofeina. Nakon 4 - 8 tjedana apstinencije od kofeina, 5 ispitanika iz grupe koja je prethodno konzumirala visoke količine kofeina ponovno su podvrgnuti ispitivanju i ustanovljeno je da je količina laktata u mozgu ovaj put bila slična kao kod netolerantne grupe, a koji rezultati upućuju na gubitak

tolerancije na kofein u ljudskom mozgu. S obzirom na takve rezultate, autori ističu mogućnost postojanja drugih mehanizama osim metaboličkih koji su povezani s tolerancijom na kofein.

Također, u preglednome radu Aguilar-Navarro i sur. (2019) nalaze, prema radovima Beaumonta i sur. (2017) i Bella i McLellana (2002), da bi habitualni učinak mogao izazvati toleranciju na kofein kada se uzima kroz duži period. Osim toga, navode i druga istraživanja koja pokazuju da je učinak kofeina na aerobnu izvedbu (u dozama od 3 - 6 mg/kg) kod habitualnih konzumenata sličan kao i kod osoba koje nisu konzumenti ili uzimaju male doze kofeina (Dodd i sur., 1991; Gonçalves i sur., 2017). U radu Robertsona i sur. (1981) ističe se da se habitualni unos i tolerancija na akutne učinke razvija s ponavljanjima i redovitim unosom, pri čemu kao primjer navode porast krvnog tlaka kod novih konzumenata, dok se kod habitualnih konzumenata razvija tolerancija, uslijed čega konzumacija više ne rezultira porastom krvnog tlaka.

U preglednome radu Turnbulla i sur. (2017) autori navode da bi tolerancija na kofein mogla rezultirati desenzibilizacijom učinka kofeina kod habitualnih konzumenata, uključujući i pojedince koji su genetski predodređeni (barem za CYP1A2 koji se smatra važnim u procesu). Nadalje, Turnbull i sur. (2017) opisuju tzv. simptome koji nastaju nakon prestanka konzumacije kofeina (eng. caffeine withdrawal symptoms) koji se javljaju 12 - 24 sata nakon prestanka konzumacije s vrhuncem između 20 - 48 sati, a popraćeni su umorom, nervozom, depresivnim ponašanjem, anksioznošću te glavoboljom. Međutim, Turnbull i sur. (2017) objašnjavaju da navedeni simptomi ne spadaju u ovisnosti jer ih ne karakterizira kompulzivno ponašanje u potrazi za drogom i nemogućnost prestanka konzumiranja. Morelli i Simola (2011) nalaze da se navedeni simptomi razlikuju između pojedinaca, a većinom su kratkoročni i nisu štetni. Problem kod simptoma koji nastaju nakon prestanka konzumacije kofeina je činjenica da je većina istraživanja provedena na životinjskim modelima s dozama koje su nerealne za istraživanja na ljudima (194 mg/kg/dan) (Kaplan i sur., 1993).

U preglednome radu Pickeringa i Kielya (2019) u kojemu su postavili pitanje: „Što bi trebali učiniti s habitualnim unosom kofeina kod sportaša?“ autori kao ključne zaključke ističu da dosadašnji rezultati upućuju na to da kontinuirana konzumacija kofeina smanjuje ergogeni učinak kofeina, ali da se to smanjenje potencijalno može nadoknaditi s povećanom dozom te da se čini da nema prednosti kada se prekine konzumacija kofeina neposredno prije natjecanja. Dostupno je samo nekoliko istraživanja koja su promatrala utjecaj prekida

konzumacije kofeina prije natjecanja na tjelesne sposobnosti (Irwin i sur., 2011; Van Soeren i Graham, 1998) u kojima je promatran učinak na dugotrajnu biciklističku izvedbu, no nisu dobivene značajne razlike u odnosu na placebo. U istraživanju Van Soerena i Grahama provodila su se testiranja nakon 0, 2 i 4 dana perioda apstinencije od unosa kofeina prije izvođenja testa s dozom od 6 mg/kg. Ispitanici su imali jako visok habitualni unos (prosječno 761 mg/dan) te je uočeno poboljšanje u odnosu na placebo, ali bez značajnih razlika između dana testiranja.

U drugom istraživanju Irwina i sur. 12 treniranih biciklista bilo je podijeljeno u 2 grupe koje su se tokom 4 dana suzdržale od unosa kofeina (iz ostalih namirnica) te su dobivale ili placebo ili kapsule s dozom od 1.5 mg/kg kofeina dnevno. Peti dan su provedena mjerenja (s dozom od 3 mg/kg unesenom 90 min prije testiranja) u kojima je bio cilj odraditi određenu distancu što brže (ekvivalentno vožnji bicikla u trajanju 60 min na intenzitetu od 75% vršnog izlaza snage). Ispitanici su imali prosječni unos kofeina od 240 mg/dan te su dobivena značajna poboljšanja u izvedbi kod obje grupe, ali bez značajne razlike između grupa.

Kod balističke izvedbe mišića gornjeg dijela tijela Wilk i sur. (2020) su pri izbačaju šipke zabilježili značajna poboljšanja kod visokih habitualnih konzumenata s dozama od 3 i 6 mg/kg kofeina, dok su kod balističke izvedbe donjeg dijela tijela Venier i sur. (2019a, 2019b) uočili značajna poboljšanja kod niskih do umjerenih habitualnih konzumenata.

Lara i sur. (2019) sugeriraju da bi habitualni unos mogao imati utjecaj na akutne učinke kofeina na tjelesnu izvedbu, a isto sugerira i istraživanje Wilka i sur. (2019a, 2019b) u kojemu su korištene visoke doze kofeina (9 i 11 mg/kg) na visokim habitualnim konzumentima, pri čemu su statistički značajne razlike u izvedbi u odnosu na placebo uočene kada je u pitanju jakost mišića, no ne i mišićna izdržljivost mišića gornjeg dijela tijela.

Problem kod habitualnog unosa je i postavljanje granice koja dijeli niske, umjerene i visoke habitualne konzumente kofeina. Na primjer, u istraživanju Lara i sur. (2019) granicu za konzumente s niskim unosom kofeina postavili su na < 50 mg/dan, Beaumont i sur. (2017) < 75 mg/dan, a Gonçalves i sur. (2017) na  $\leq 101$  mg/dan. Potrebna su daljnja istraživanja s kvalitetnijim mjerama i standardiziranim protokolima kako bi se utvrdile granice za habitualni unos te utječe li habitualna konzumacija kofeina na veličinu akutnog učinka kofeina na tjelesnu izvedbu.

## **2.7. UTJECAJ KOFEINA NA SUBJEKTIVNI OSJEĆAJ OPTEREĆENJA I PERCEPCIJU BOLI**

Prema preglednome radu Grgića i sur. (2019b) subjektivni osjećaj opterećenja se većinom procjenjuje originalnom Borgovom ljestvicom brojevima od 6 - 20 (Borg, 1982) temeljenoj na otkucajima srca, u kojoj donja vrijednost (6) predstavlja stanje mirovanja, a vršna vrijednost (20) stanje krajnjeg napora. U praksi se koristi i modificirana verzija ljestvice s brojevima od 1 - 10. U meta-analizi koji su proveli Doherty i Smith (2005) na 21 istraživanju koja su uključivala aerobne aktivnosti, zabilježeno je da je subjektivni osjećaj opterećenja bio 5.6% manji nakon konzumacije kofeina uz 11.2% poboljšanja sposobnosti. Daljnjom regresijskom analizom utvrđeno da se subjektivni osjećaj opterećenja može povezati s 29% varijance kod poboljšanja izvedbe, a koji rezultati prema autorima idu u prilog tvrdnji o centralnom utjecaju kofeina na sposobnosti. Što se tiče treninga s otporom, većina dostupnih istraživanja navedenih u preglednome radu Grgića i sur. (2019b) ne podupire te tvrdnje (Astorino i sur., 2010; Da Silva i sur., 2015; Duncan i Oxford, 2011; Green i sur., 2007; Hudson i sur., 2008; Woolf i sur., 2008, 2009), ali važno je spomenuti i da su u nekoliko istraživanja uz uočena povećanja u jakosti uočena i smanjenja subjektivnog osjećaja opterećenja (Duncan i Oxford, 2012; Duncan i sur., 2013; Grgić i Mikulić, 2017).

Autori preglednog rada (Grgić i sur., 2019b) navode i da bi razlike u izboru vježbi mogle utjecati na odgovore zbog količine mišićne mase koja je veća kod kompleksnih vježbi. Sukladno navedenim rezultatima istraživanja, smanjenje subjektivnog osjećaja opterećenja potencijalno bi moglo utjecati na ergogeni učinak kofeina, ali potrebna su daljnja istraživanja za konačne zaključke.

McLellan i sur. (2016) u preglednome radu zaključuju da se razine adenzina povećavaju tijekom mišićnih kontrakcija (Fredholm, 1995; Marshall, 2007), da je bol povezana s adenzinskim vezanjem na A1 receptore (Gaspardone i sur., 1995; Sawynok, 1998) te da je stoga razumljivo pretpostaviti da kofein može smanjiti osjećaj boli kod različitih oblika vježbanja. Kao primjer je navedeno smanjenje boli nakon konzumacije kofeina kod raznih oblika vježbanja, npr. umjerene (Duncan i Hankey, 2013; Ganio i sur., 2011; Motl i sur., 2006; O'Connor i sur., 2004) i visoko intenzivne vožnje bicikla (Gliotoni i sur., 2009; Gliotoni i Motl, 2008), treninga s otporom (Maridakis i sur., 2007) i slično.

Grgić i sur. (2019b) napominju i da su zabilježena istraživanja u kojima je uočeno smanjenje percepcije boli bez značajnih učinaka na izvedbu (Arazi i sur., 2016a; Grgić i Mikulić, 2017) te također radovi u kojima je situacija bila obrnuta - nije bilo smanjenja u percepciji boli, no uočeno je poboljšanje u mišićnoj jakosti (Sabblah i sur., 2015; Tallis i Yavuz, 2018). Ističu i da je u radovima Duncana i Oxforda (2012), Duncana i sur., (2013), Sabblaha i sur., (2015) te Tallisa i Yavuz (2018) uočeno smanjenje osjećaja boli, ali i smanjenje subjektivnog osjećaja opterećenja pa je teško razlučiti što je dovelo do poboljšanja. Na temelju trenutnih dokaza u svim istraživanjima čini se da bi smanjenje osjećaja boli (uz ostale mehanizme) moglo doprinijeti poboljšanoj izvedbi.

## **2.8. OGRANIČENJA DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA I OTVORENA PITANJA**

Brojna istraživanja su provedena o utjecaju kofeina na tjelesnu izvedbu zbog čega je kofein jedan od najbolje istraženih dodataka prehrani, no usprkos tome postoji mnogi upitnici kod konačnih preporuka. Pickering i Grgić (2019) su napravili pregled dosadašnjih saznanja i predložili buduće smjerove za istraživanja kofeina kada je u pitanju tjelesno vježbanje. Prema autorima je prvenstveno potrebno razjasniti potencijalni stimulirajući utjecaj kofeina u odnosu na:

- spol,
- izvedbu u određenom dijelu dana,
- genotip,
- habitualni unos,
- trenažni status,
- utjecaj kofeina na anksioznost kod izvedbe te
- na oporavak poslije vježbanja.



De Salles Painelli i sur. (2020) su istaknuli dodatnu važnost usmjeravanja istraživanja na učinak samog očekivanja konzumacije kofeina koji bi mogao polučiti placebo učinak. Predlažu također i obraćanje dodatne pažnje na učinkovitost zasljepljivanja (s obzirom na potencijalne nuspojave kod viših doza), kao i na uvođenje dodatnog kontrolnog testiranja kod provođenja istraživanja. Autori originalnog rada odgovorili su komentarom (Pickering i Grgic, 2020) da bi potencijalni novi smjerovi u tom kontekstu mogli biti i utjecaj genotipa na situacije u kojima se očekuje konzumacija kofeina, a u stvarnosti je konzumacija placeba, kao i odgovor na pitanje razlikuje li se veličina očekivanja konzumacije kofeina između senzornih signala (npr. okusa, mirisa i sl.). Nakon pregleda meta-analiza Grgić i sur. (2019a) su, osim navedenih područja, kao dodatna istaknuli i učinke nakon konzumacije kofeina iz različitih izvora, s obzirom na to da je većina istraživanja koristila kofein u obliku kapsula. Puno je istraživanja provedeno na akutnim učincima kofeina, no autori ističu da nedostaju istraživanja koja bi promatrala kronične učinke, a s obzirom da su pojedinci koji koriste kofein za akutna poboljšanja dugoročno zainteresirani za njegovu konzumaciju.

Kao dodatne smjerove vrijedilo bi istaknuti da, iako su preporučene doze u rasponu od 3 - 9 mg/kg (Grgić i sur., 2019b), ostaje nejasno koje su optimalne doze kofeina za akutna poboljšanja u mišićnoj izdržljivosti, jakosti, snazi i balističkoj izvedbi, s obzirom da Spriet (2014) ukazuje na istraživanja koja potvrđuju da se koristi mogu ostvariti i s nižim dozama s malo (ili nimalo) nuspojava. Također, nejasan je učinak kofeina na izvedbu u zadacima koji angažiraju gornji naspram donji dio tijela. Postoji pretpostavka da kofein ima veći učinak na miškulaturu donjeg dijela tijela (Grgic i Pickering, 2019; Shield i Zhou, 2004) te su potrebna dodatna istraživanja koja dodatno pojašniti postoje li razlike, te jesu li te razlike specifične samo za određene sposobnosti (npr. mišićnu jakost ili mišićnu izdržljivost). Napretkom tehnologije i porastom broja istraživanja, uskoro bi mnoga pitanja mogla imati konkretnije odgovore.

### 3. CILJ I HIPOTEZE RADA

Primarni cilj ovog istraživanja bio je ispitati akutne učinke tri različite doze kofeina (2, 4, i 6 mg/kg) na izvedbu balističkih pokreta, mišićnu jakost i mišićnu izdržljivost u osoba muškog spola iskusnih u treningu s otporom.

Sekundarni cilj bio je usporediti akutne učinke konzumacije kofeina između ispitanika s niskim naspram onih s umjereno do visokim habitualnim unosom kofeina.

Postavljene hipoteze istraživanja glasile su:

- H1: Tjelesna izvedba pod vidom izvedbe balističkih pokreta, mišićne jakosti i mišićne izdržljivosti će se u promatranom uzorku ispitanika akutno povećati samo s unosom najviše doze kofeina (6 mg/kg).
- H2: Akutna poboljšanja pod vidom izvedbe balističkih pokreta, mišićne jakosti i mišićne izdržljivosti ostvarit će se kod ispitanika klasificiranih kao niski i kod ispitanika klasificiranih kao umjereno do visoki habitualni konzumenti kofeina, no veličina učinka bit će veća kod ispitanika klasificiranih kao niski habitualni konzumenti kofeina.

## 4. METODE RADA

### 4.1. ISPITANICI

Kriteriji za uključivanje ispitanika u istraživanje bili su: (a) muški spol, dob 18 - 45 godina; (b) odsustvo mišićno-koštanih ozljeda; i (c) prethodno iskustvo u treningu s otporom u trajanju od barem godine dana i s učestalošću od barem dva treninga s otporom tjedno. Isključujući kriteriji bili su: (i) uporaba anaboličkih steroida i/ili (ii) korištenje kofeina kao dodatka prehrani u posljednjih 6 mjeseci prije početka istraživanja. Ispitanici koji su koristili kofein u obliku dodatka prehrani su isključeni jer potencijalno mogu lakše identificirati uzimanje kofeina što može narušiti dvostruko-slijepi dizajn istraživanja (Saunders i sur., 2017). Nije bilo specifičnih ograničenja u vezi pušenja, dodatnog korištenja dodataka prehrani ili alkohola za vrijeme trajanja istraživanja.

S očekivanom veličinom učinka  $d=0.40$  (Polito i sur., 2016) za mišićnu izdržljivost donjeg dijela tijela, alpha razinom od 0.05, statističkom snagom od 0.80, jednom grupom s 4 mjerenja te korelacijom između mjerenja od 0.80 (Grgic i Mikulic, 2017), procijenjena potrebna veličina uzorka bila je 15 ispitanika (G\*Power, version 3; Universität Düsseldorf, Düsseldorf, Germany).

Zbog potencijalnog osipanja ispitanika koje se može očekivati tijekom longitudinalnih istraživanja, u početku je u istraživanje uključeno 26 ispitanika. Tijekom provedbe eksperimenta 6 je ispitanika odustalo zbog privatnih razloga te je u konačnu analizu za dio istraživanja koji se odnosi na utjecaj kofeina na izvedbu balističkih pokreta uključeno 20 ispitanika (aritmetička sredina (AS)  $\pm$  standardna devijacija (SD): dob:  $25 \pm 5$  godina, visina  $184 \pm 5$  cm, tjelesna masa  $87 \pm 10$  kg). Pritom je svih 20 ispitanika završilo sva testiranja za izvedbu balističkog pokreta gornjeg dijela tijela (bacanje medicine iz sjeda), dok su pri izvedbi balističkog pokreta donjeg dijela tijela (vertikalni objenožni skok) tri ispitanika imala manjih problema sa zglobovima gležnja pa nisu proveli sva testiranja u cijelosti. Sukladno navedenome, za izvedbu balističkih pokreta gornjeg dijela tijela u završne analize je ušlo 20, a za izvedbu balističkih pokreta donjeg dijela tijela 17 ispitanika.

U drugom navratu obavljeno je dodatno prikupljanje ispitanika za dio istraživanja koji se odnosi na utjecaj kofeina na jakost i mišićnu izdržljivost. Za ovaj dio istraživanja koji se

odnosi na utjecaj kofeina na jakost i mišićnu izdržljivost prikupljeno je ukupno 32 ispitanika. Tijekom trajanja istraživanja ukupno 4 ispitanika su odustala zbog privatnih razloga te je ukupno 28 ispitanika završilo testiranja koja se odnose na utjecaj kofeina na jakost i mišićnu izdržljivost (AS  $\pm$  SD: dob:  $25 \pm 6$  god, visina:  $185 \pm 6$  cm, tjelesna masa:  $89 \pm 11$  kg). Svih 28 ispitanika uključeno je u završne analize za jakost i mišićnu izdržljivost gornjeg dijela tijela, no s obzirom da zbog prolaznih bolnih stanja tijekom testiranja neki ispitanici nisu dovršili sva testiranja za jakost i mišićnu izdržljivost donjeg dijela tijela, u završne analize je uključeno 25 ispitanika za jakost i 22 ispitanika za mišićnu izdržljivost donjeg dijela tijela.

## **4.2. PRISTUP PROBLEMU, VRSTA I EKSPERIMENTALNI NACRT ISTRAŽIVANJA**

Ovo je randomizirano, dvostruko slijepo, placebo kontrolirano istraživanje s ukriženim ustrojem (eng. *cross-over design*).

Većinu testiranja je proveo autor rada, a u mjerenjima su asistirala još dvojica magistara kineziologije s višegodišnjim dijagnostičkim iskustvom, a provedeno je i pilot testiranje za usuglašavanje kriterija između mjeritelja. Ispitanici su realizirali ukupno pet dolazaka u prostoriju u kojoj se obavljalo testiranje (teretana) i to nakon minimalno 3 sata posta. Sva ispitivanja provedena su u isto vrijeme dana za svakog ispitanika kako bi se osiguralo da rezultati nisu pod utjecajem cirkadijskog ritma. Testiranja su bila odvojena najmanje 4, a najviše 10 dana. Prvi dolazak na testiranje služio je upoznavanju s vježbama u protokolu (opisano u nastavku) i odgovaranju na standardizirani upitnik o unosu kofeina kojim je procijenjen habitualni unos kofeina (Bühler i sur., 2013).

Nakon uvodnog testiranja, četiri glavna testiranja (tri testiranja s kofeinom i placebo testiranje) provedena su na način da su ispitanici bili nasumično raspoređeni (randomizirani) po dolascima od strane osobe koja nije bila uključena u istraživanje i to korištenjem softvera dostupnog na [www.randomization.com](http://www.randomization.com). Dvadeset četiri sata prije glavnog testiranja od ispitanika je zatraženo da se suzdrže od unosa alkohola te sudjelovanja u bilo kojem obliku naporne tjelesne aktivnosti. Nadalje, ispitanici su bili zamoljeni da se suzdržavaju od

konzumacije kofeina 12 sati prije testiranja (primili su popis najčešćih namirnica koje sadrže kofein; Slika 1).

Poluživot kofeina je generalno četiri do šest sati (Graham, 2001), stoga bi 12 sati apstinencije od konzumacije trebalo biti dovoljno za potpunu eliminaciju kofeina iz organizma. Ispitanici su bili zamoljeni da prate ukupni unos energije 24 sata prije svakog eksperimentalnog ispitivanja pomoću aplikacije za praćenje prehrane (MyFitnessPal). Za tri testiranja učinaka kofeina kapsule su sadržavale doze od 2, 4 ili 6 mg kofeina (Proteos – Proteka, Split) po kg tjelesne mase dok je placebo kapsula sadržavala dekstrozu (200 mg). S obzirom na to da se pokazalo da konzumacija doze od 15 g ugljikohidrata po satu može polučiti ergogene učinke na anaerobnu izvedbu (Krings i sur., 2016.), a da se za optimalnu izvedbu u dugotrajnim aktivnostima preporučuje konzumacija od 60 g ugljikohidrata po satu (Cermak i van Loon, 2013.), navedena doza od 200 mg ugljikohidrata nema nikakvog značajnog utjecaja na izvedbu. Međutim, za placebo ne možemo tvrditi da je sasvim neutralan. Pokazalo se naime da, u slučaju kada se očekuje konzumacija kofeina, placebo može poboljšati (u odnosu na izvedbu bez ikakve konzumacije) npr. visinu vertikalnog skoka (Grgić i sur. 2020b), ukupan mišićni rad prilikom izvođenja ekstenzije potkoljenice na trenažeru (Pollo i sur., 2008) te biciklističku izdržljivost na 10 km (Beedie i sur., 2006), a potencijalno bi moglo doći i do nocebo učinka tj. pogoršanja izvedbe ako osoba shvati da nije konzumirala kofein (Duncan i sur., 2009).

Sve kapsule bile su identičnog izgleda, kofeinski prah i dekstroza mjereni su pomoću pouzdane digitalne vage. Osoba zadužena za davanje kapsula nije bila uključena u provođenje testiranja. Nakon konzumacije kapsule, ispitanici su mirovali 60 minuta. Na isteku, kada su vrijednosti kofeina u plazmi očekivano bile blizu maksimalnih (Graham, 2001), testiranje je počelo. Kako bi procijenili učinkovitost zasljepljivanja, 60 min nakon konzumacije kapsule ispitanici su odgovorili na standardizirano pitanje koje glasi: "Koji ste dodatak prehrani danas konzumirali?" Bila su tri moguća odgovora: (a) kofein; (b) placebo; (c) ne znam. Ispitanici su bili u mogućnosti navesti odgovor te mišljenje o dozi kofeina (ako se odluče za kofein). Pitanje je ponovljeno po završetku testiranja.

Istraživanje se organizacijski provodilo u dva navrata (proljeće 2018. i proljeće 2019. godine). Etičko odobrenje zatraženo je i dobiveno od strane Povjerenstva za znanost i etiku Kineziološkog fakulteta u Zagrebu (na sjednici održanoj 15. veljače 2019., broj odobrenja:

49/2019). Sva testiranja bila su nadzirana i svi ispitanici bili su informirani o zahtjevima, koristima i rizicima te su potpisali informirani pristanak za sudjelovanje u istraživanju.

### **4.3. PROCJENA HABITUALNOG UNOSA KOFEINA**

Kvalificirani nutricionist procijenio je dnevni unos kofeina temeljem odgovora na upitnik (Prilog 1). Ispitanici koji su unosili  $\leq 100$  mg/dan kofeina dnevno bili su kategorizirani kao niski habitualni konzumenti, a oni koji su koristili iznad 100 mg/dan su kategorizirani kao umjereni do visoki habitualni konzumenti kofeina po uzoru na prethodno objavljeno istraživanje (Gonçalves i sur., 2017).

Kod izvedbe balističkih pokreta gornjeg dijela tijela, 14 ispitanika je klasificirano kao niski (habitualni unos kofeina:  $27 \pm 36$  mg/dan; raspon: 0 do 90 mg/dan), a 6 ispitanika klasificirano je kao umjereni do visoki habitualni konzumenti (habitualni unos kofeina:  $358 \pm 210$  mg/dan; raspon: 135 do 642 mg/dan).

Kod izvedbe balističkih pokreta donjeg dijela tijela, 12 ispitanika je klasificirano kao niski (habitualni unos kofeina:  $21 \pm 30$  mg/dan; raspon: 0 do 80 mg/dan), a 5 ispitanika je klasificirano kao umjereni do visoki habitualni konzumenti (habitualni unos kofeina:  $312 \pm 199$  mg/dan; raspon: 135 do 642 mg/dan).

Kod jakosti gornjeg dijela tijela, 19 ispitanika je klasificirano kao niski (habitualni unos kofeina:  $27 \pm 32$  mg/dan; raspon: 0 do 90 mg/dan), a 9 ispitanika klasificirano je kao umjereni do visoki habitualni konzumenti (habitualni unos kofeina:  $299 \pm 189$  mg/dan; raspon: 134 do 642 mg/dan).

Kod jakosti donjeg dijela tijela, 17 ispitanika je klasificirano kao niski (habitualni unos kofeina:  $27 \pm 30$  mg/dan; raspon: 0 do 80 mg/dan ), a 8 ispitanika klasificirano je kao umjereni do visoki habitualni konzumenti (habitualni unos kofeina:  $313 \pm 197$  mg/dan; raspon: 134 do 642 mg/dan).

Kod mišićne izdržljivosti gornjeg dijela tijela, 19 ispitanika je klasificirano kao niski (habitualni unos kofeina:  $27 \pm 32$  mg/dan; raspon: 0 do 90 mg/dan ), a 9 ispitanika

klasificirano je kao umjereni do visoki habitualni konzumenti (habitualni unos kofeina:  $299 \pm 189$  mg/dan; raspon: 134 do 642 mg/dan).

Kod mišićne izdržljivosti donjeg dijela tijela, 14 ispitanika je klasificirano kao niski (habitualni unos kofeina:  $24 \pm 30$  mg/dan; raspon: 0 do 80 mg/dan ), a 8 ispitanika klasificirano je kao umjereni do visoki habitualni konzumenti (habitualni unos kofeina:  $313 \pm 197$  mg/dan; raspon: 134 do 642 mg/dan).

#### **4.4. PROCJENA IZVEDBE BALISTIČKIH POKRETA**

Ispitanici su provodili samostalno zagrijavanje u trajanju od 10 minuta. Testovi izvedbe balističkih pokreta izvođeni su prvi kako bi se smanjio potencijalni umor u idućim testovima. Procjena izvedbe gornjeg dijela tijela provedena je pomoću testa bacanje medicine iz sjeda sukladno protokolu Clemonsa i sur. (2010). Ukratko, za ovaj test klupa je postavljena pod nagibom od oko  $45^\circ$  i ispitanici su koristili medicinsku loptu od devet kilograma. Nakon dva probna pokušaja, izveli su tri glavna pokušaja s ciljem bacanja medicinske lopte što je dalje moguće. Odmor između pokušaja trajao je 2 minute. Najbolji pokušaj korišten je za analizu. Iz rezultata pilot testiranja provedenog na tri ispitanika koji su proveli test dva puta na različite dane, izračunati koeficijent varijacije za daljinu izbačaja iznosio je 2.5%.

Za procjenu izvedbe donjeg dijela tijela korišten je objenožni vertikalni skok s pripremom (eng. *countermovement jump*, *CMJ*). (Cormie i sur., 2007). Za ovaj test, ispitanici su na početku izvedbe stajali uspravno pokraj uređaja za mjerenje (stalka s letvicama) sa stavom u širini ramena i ispruženom desnom rukom prema gore kako bi bila izmjerena inicijalna visina, nakon čega su pokušali skočiti što je više moguće. Pritom bi se ispitanici spustili u polučučanj i uz zamah ruku probali pomaknuti najvišu letvicu. Kod svakog testiranja izveden je prvo jedan probni skok, a zatim tri skoka s pripremom između kojih je bila pauza od 2 minute. Uputa mjeritelja je bila da sudionik stoji uspravno pokraj uređaja za mjerenje (stalka s letvicama) sa stavom u širini ramena te ispruži desnu ruku prema gore kako bi utvrdili inicijalnu visinu. Nakon mjerenja, instrukcija je bila da skoči što je više moguće. Ispitanici su se spuštali u polučučanj te su uz zamah ruku probali pomaknuti najvišu letvicu. Razmak između inicijalne oznake u stajanju i visine pomaknute najviše letvice označavao je

visinu skoka. Pilot testiranjem na tri ispitanika provedenom u dva navrata na različite dane, izračunati koeficijent varijacije za visinu skoka iznosio je 1.6%.

#### **4.5. PROCJENA JAKOSTI I MIŠIĆNE IZDRŽLJIVOSTI**

Za procjenu jakosti i mišićne izdržljivosti gornjeg, odnosno donjeg, dijela tijela korišteni su potisak s ravne klupe i stražnji čučanj. Jakost se testirala prva prema Baechle i Earle (2000) protokolu. Ispitanici su izvodili zagrijavanje od 8 - 10 ponavljanja samo sa šipkom od 20 kg. Nakon toga, ispitanici su izvodili 8 - 10 ponavljanja s 50% od njihovog procijenjenog 1RM, 3. seriju s 75% od njihovog procijenjenog 1RM u 3 - 5 ponavljanja, 4. seriju 1 ponavljanje s 95% 1RM. Nakon toga, izvodio se 1RM test (1RM - najveća masa tereta koje se može podići u jednom maksimalnom koncentričnom ponavljanju). Za idući 1RM, opterećenje se povećalo ili smanjilo ovisno o tome je li ispitanik uspješno podigao teret ili ne.

Svi 1RM pokušaji provedeni su unutar 5 pokušaja s odmorom od 3 - 5 minuta između pokušaja. Nakon konačnog 1RM pokušaja, ispitanici su odmarali 5 min i zatim napravili test mišićne izdržljivosti koji se sastojao od maksimalnog broja ponavljanja do trenutnog mišićnog otkaza s vanjskim opterećenjem postavljenim na 60% od 1RM. U ekscentričnoj fazi, instrukcija kod potiska s klupe je bila da se šipka spušta do prsa (bez naglašenog luka u donjem dijelu leđa), a kod čučnja su natkoljenice trebale biti paralelne s podlogom da bi se ponavljanje priznalo. Test je prekinut kad ispitanici nisu više mogli podići uteg kroz cijeli opseg pokreta, kad su podizali kukove od klupe u izvedbi potiska s klupe, kad su naglašavali luk u donjem dijelu leđa u izvedbi potiska s klupe, kad su imali nedovoljnu dubinu čučnja pri izvedbi stražnjeg čučnja ili kad nisu mogli održavati ritam od 1 - 2 sekunde za koncentrični i ekscentrični dio pokreta. U slučaju korištenja dizačkog pojasa (5 ispitanika), uvjetovano je da ga ispitanici koriste kod svih testiranja.



## **4.6. PROCJENA SUBJEKTIVNOG OSJEĆAJA OPTEREĆENJA I PERCEPCIJE BOLI**

Unutar 5 sekundi od uspješnog 1RM pokušaja i nakon izvedbe testova mišićne izdržljivosti, ispitanici su bili zamoljeni da iskažu svoju razinu subjektivnog osjećaja opterećenja (Cook i sur., 1998) i percepcije boli na relevantnoj ljestvici (Borg, 1970). Prije prvog testiranja ispitanicima su predložene instrukcije o korištenju ljestvica (Prilog 2 i 3) te su prije svakog idućeg testiranja ponovo upoznati s uputama o korištenju.

## **4.7. PROCJENA UČINKOVITOSTI ZASLJEPLJIVANJA**

Učinkovitost zasljepljivanja provjerena je uz pomoć Bang Blinding Indexa (BBI) (Bang i sur., 2010) za sva tri potencijala odgovora na kofein (2, 4 i 6 mg/kg) ujedinjena u jedan odgovor na kofein.

## **4.8. STATISTIČKA OBRADA REZULTATA**

Nakon procjene normalnosti distribucije (Shapiro-Wilkovim testom) svi rezultati prikazani su kao  $AS \pm SD$ . Jednosmjerna analiza varijance (ANOVA) za ponavljana mjerenja korištena je za usporedbu rezultata između eksperimentalnih uvjeta (placebo, 2 mg/kg, 4 mg/kg i 6 mg/kg kofeina), posebno za gornji i donji dio tijela. U slučaju značajnog glavnog učinka, usporedba izvedbe između svake doze kofeina i placeba (tj. 2 mg/kg kofeina naspram placeba, 4 mg/kg kofeina naspram placeba i 6 mg/kg kofeina naspram placeba) radila se Dunnett-ovim post-hoc testom. Statistička značajnost postavljena je na  $p < 0.05$ . S obzirom na to da su rađene opetovane usporedbe,  $p$  vrijednost je prilagođena korištenjem Holmove korekcije (kako bi se izbjegla pogreška tipa I). Cohenov  $d$  izračunat je za procjenu veličine učinka. Veličine učinka od  $<0.20$ ,  $0.20-0.49$ ,  $0.50-0.79$  i  $\geq 0.8$  smatrane su trivijalnim, malim, umjerenim i velikim učincima (Cohen, 1988). Uz veličine učinaka, izračunata je relativna promjena (u %) u tjelesnoj izvedbi s pojedinim dozama kofeina.

Za testiranje razlika u akutnim učincima kofeina između skupine niskih naspram skupine umjereno do visokih habitualnih korisnika kofeina, korištena je  $2 \times 4$  ANOVA za ponavljana mjerenja sa skupinom po habitualnom unosu kao faktorom između ispitanika (2 razine: niski i umjereno do visoki habitualni konzumenti kofeina) i eksperimentalnim uvjetom kao faktorom unutar ispitanika (4 razine: placebo, 2, 4 i 6 mg/kg kofeina).

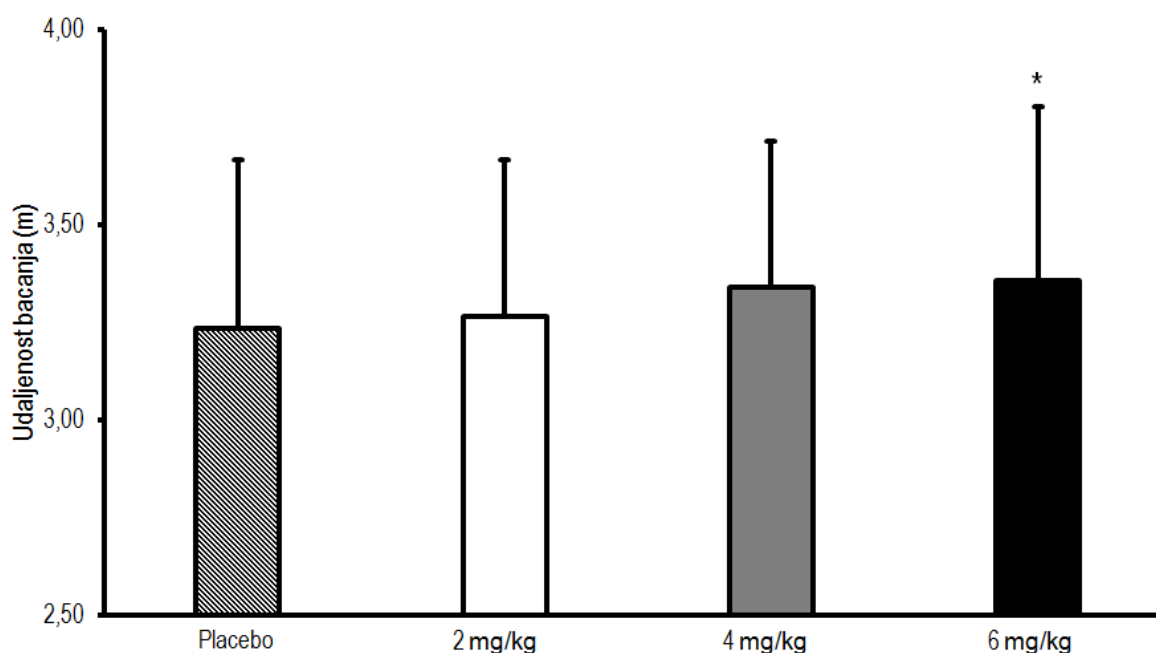
Sve analize obavljene su koristeći statistički program Statistica (TIBCO Statistica™ 13.3.0.).

## 5. REZULTATI

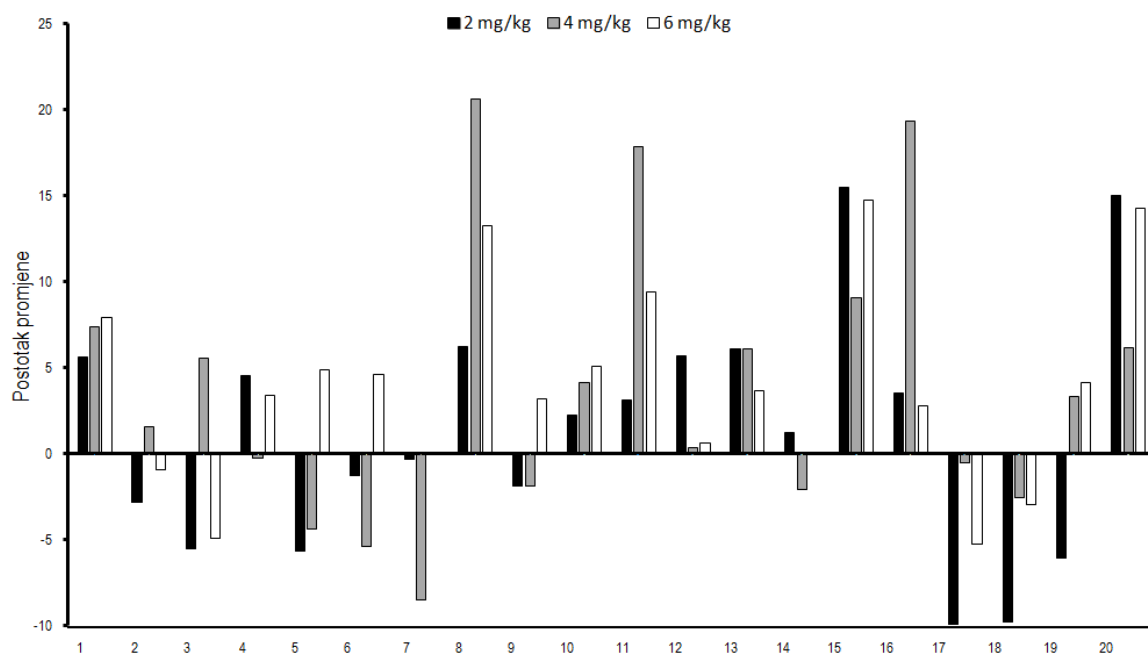
### 5.1. TESTOVI IZVEDBE BALISTIČKIH POKRETA

#### 5.1.1. BACANJE MEDICINKE IZ SJEDA

Statistički značajan glavni efekt ( $p=0.034$ ) uočen je za duljinu medicine bačene iz sjeda. Usporedbom parova (Slika 2) dobivena je značajna razlika samo između placeba i doze od 6 mg/kg kofeina ( $p=0.032$ ,  $d=0.29$ , +3.7%). Usporedba između placeba i doze od 2 mg/kg kofeina nije bila značajna ( $p=0.845$ ;  $d=0.07$ ; +0.9%), kao ni usporedba između placeba i doze od 4 mg/kg kofeina ( $p=0.072$ ;  $d=0.25$ ; +3.1%). Individualni odgovori ispitanika prikazani su na Slici 3.



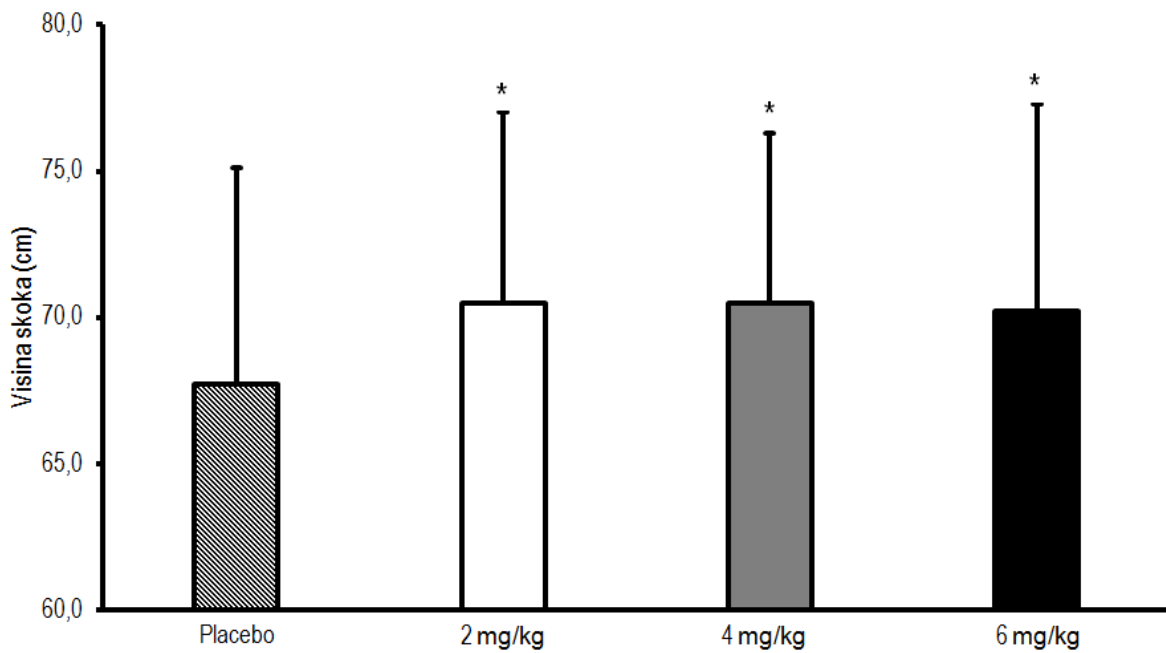
**Slika 2.** Razlike između rezultata u placebo uvjetu i uvjetima tri doze kofeina kod testa bacanje medicine iz sjeda. Stupci su aritmetičke sredine, a pripadajuće okomite crte standardne devijacije. \*Označava značajnu ( $p<0.05$ ) razliku u odnosu na placebo.



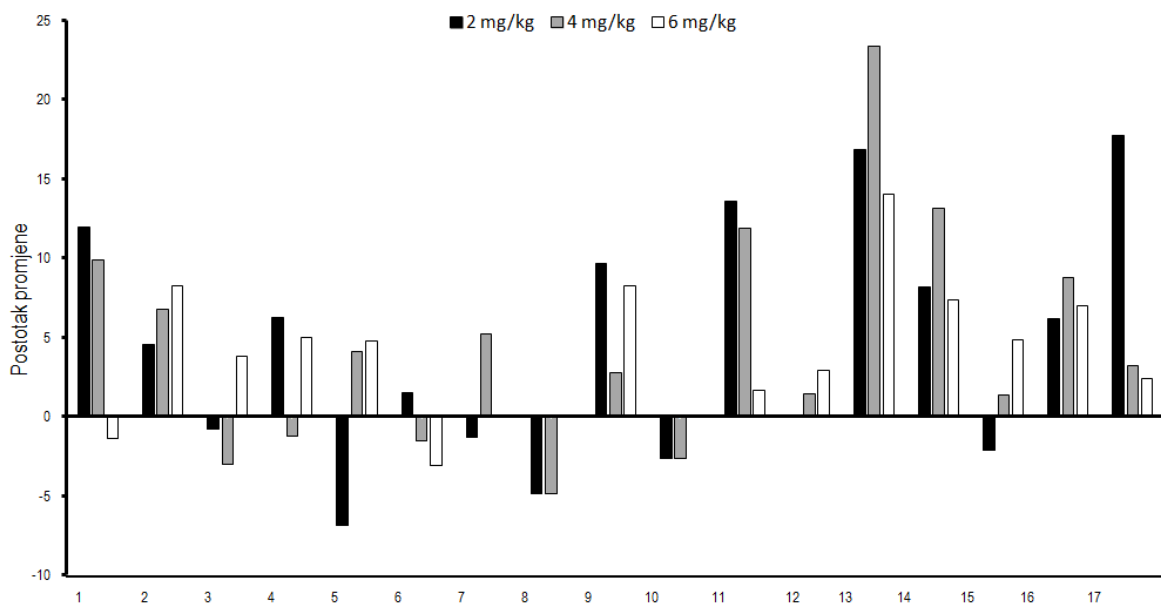
**Slika 3.** Individualni odgovori na konzumaciju kofeina za izvedbu bacanja medicine iz sjeda. Podaci su prezentirani kao postotak promjene (na osi y) nakon konzumacije kofeina u odnosu na placebo. Individualni odgovori ispitanika (1-20) su prikazani na osi x.

### 5.1.2. VERTIKALNI OBJENOŽNI SKOK

Statistički značajan glavni efekt ( $p=0.019$ ) uočen je za visinu vertikalnog skoka. Usporedbom parova (Slika 4) otkrivene su značajne razlike između placeba i doze od 2 mg/kg kofeina ( $p=0.022$ ;  $d=0.40$ ; +4.1%), placeba i doze od 4 mg/kg kofeina ( $p=0.022$ ;  $d=0.42$ ; +4.1%) te placeba i doze od 6 mg/kg kofeina ( $p=0.044$ ;  $d=0.35$ ; +3.7%). Individualni odgovori ispitanika prikazani su na Slici 5.



**Slika 4.** Razlike između rezultata u placebo uvjetu i uvjetima tri doze kofeina kod testa vertikalni objenožni skok. Stupci su aritmetičke sredine, a pripadajuće okomite crte standardne devijacije. \*Označava značajnu ( $p < 0.05$ ) razliku u odnosu na placebo.

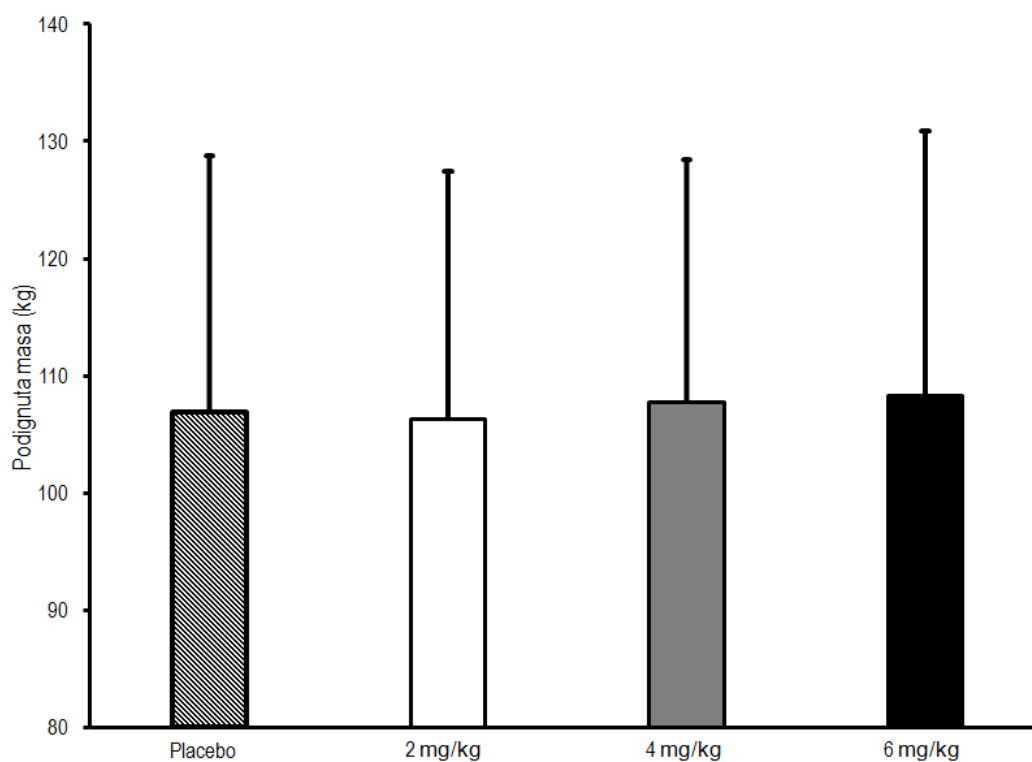


**Slika 5.** Individualni odgovori na konzumaciju kofeina za izvedbu vertikalnog objenožnog skoka. Podaci su prezentirani kao postotak promjene (na osi y) nakon konzumacije kofeina u odnosu na placebo. Individualni odgovori ispitanika (1-17) su prikazani na osi x.

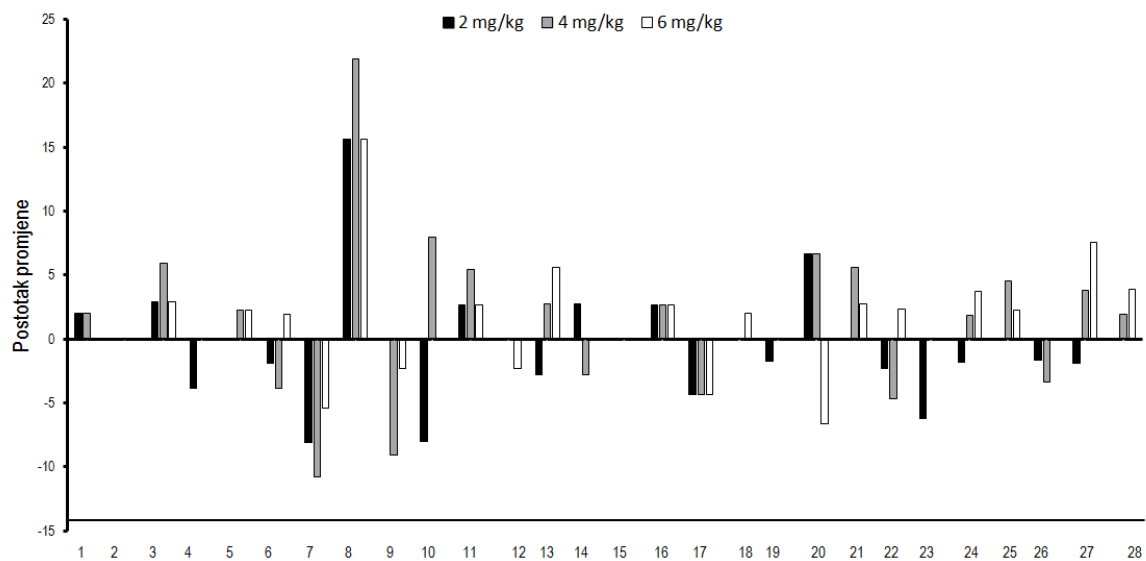
## 5.2. TESTOVI MIŠIĆNE JAKOSTI

### 5.2.1. POTISAK S RAVNE KLUPE (1RM)

Za 1RM test potiska s ravne klupe (kao mjere jakosti gornjeg dijela tijela) nije uočen značajan glavni efekt ( $p=0.080$ ). Sukladno tom nalazu, nije rađena post hoc analiza usporedbe parova. Usporedba parova prikazana je na Slici 6, individualni odgovori ispitanika prikazani su na Slici 7.



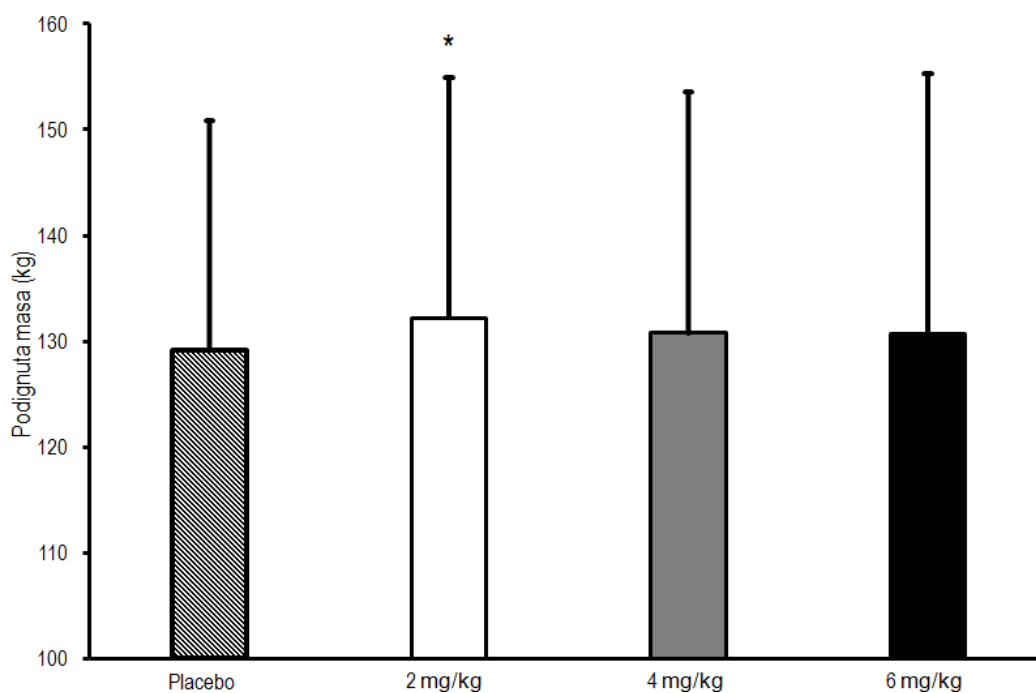
**Slika 6.** Razlike između rezultata u placebo uvjetu i uvjetima tri doze kofeina kod testa potisak s ravne klupe (1RM). Stupci su aritmetičke sredine, a pripadajuće okomite crte standardne devijacije.



**Slika 7.** Individualni odgovori na konzumaciju kofeina za izvedbu 1RM potiska s ravne klupe. Podaci su prezentirani kao postotak promjene (na osi y) nakon konzumacije kofeina u odnosu na placebo. Individualni odgovori ispitanika (1-28) su prikazani na osi x.

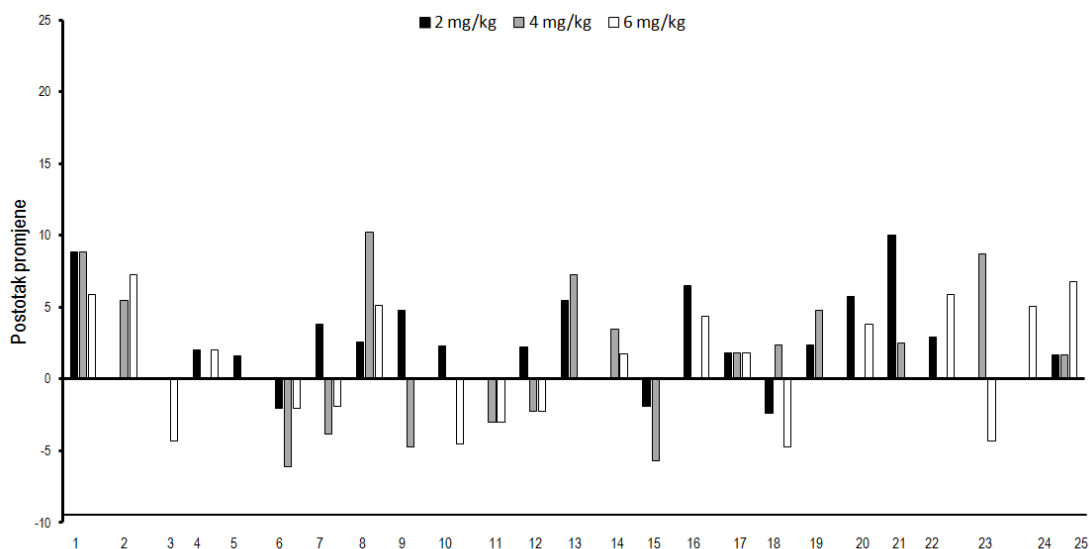
### 5.2.2. STRAŽNJI ČUČANJ (1RM)

Za 1RM test stražnjeg čučnja (procjena jakosti donjeg dijela tijela) uočen je značajan glavni efekt ( $p=0.018$ ). U usporedbi s placebo uvjetom, doza od 2 mg/kg kofeina akutno je poboljšala jakost donjeg dijela tijela ( $d=0.13$ ; +3.0 kg;  $p=0.009$ ), dok značajne razlike nisu uočene u usporedbi placeba i doza od 4 mg/kg ( $d=0.07$ ; +1.6 kg;  $p=0.159$ ) i 6 mg/kg kofeina ( $d=0.06$ ; +1.5 kg;  $p=0.185$ ). Usporedba parova prikazana je na Slici 8, individualni odgovori ispitanika prikazani su na Slici 9.



**Slika 8.** Razlike između rezultata u placebo uvjetu i uvjetima tri doze kofeina kod testa stražnji čučanj (1RM). Stupci su aritmetičke sredine, a pripadajuće okomite crte standardne devijacije. \*Označava značajnu ( $p < 0.05$ ) razliku u odnosu na placebo.



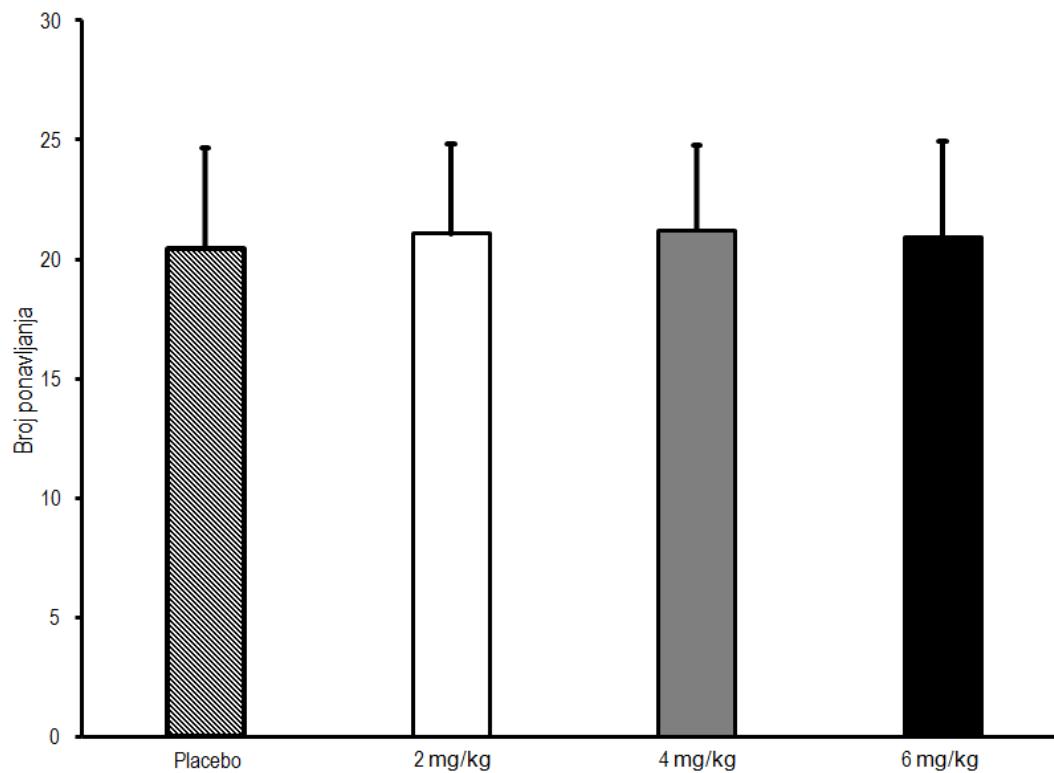


**Slika 9.** Individualni odgovori na konzumaciju kofeina za izvedbu 1RM stražnjeg čučnja. Podaci su prezentirani kao postotak promjene (na osi y) nakon konzumacije kofeina u odnosu na placebo. Individualni odgovori ispitanika (1-25) su prikazani na osi x.

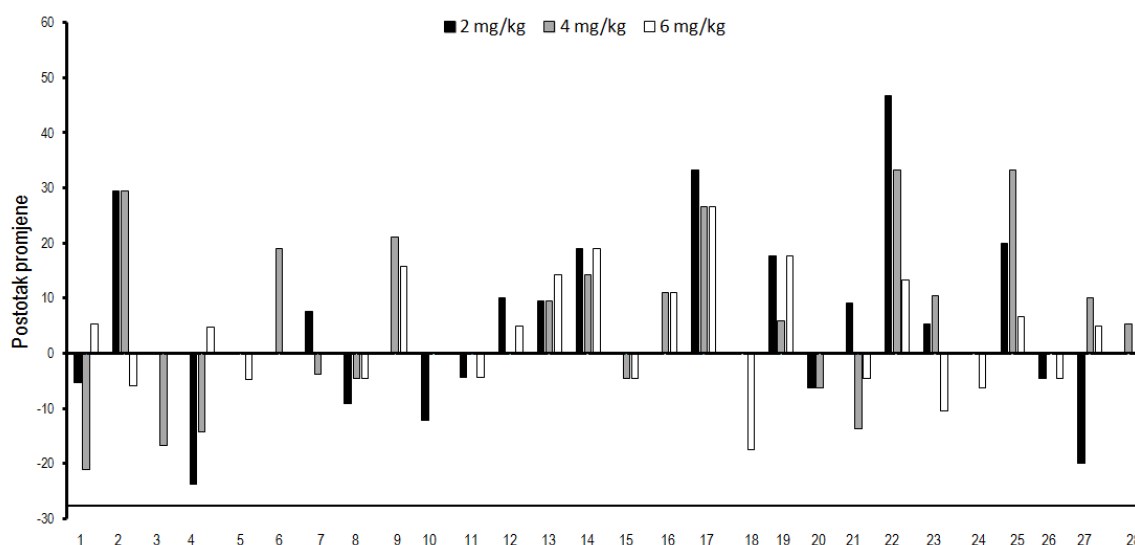
## 5.3. TESTOVI MIŠIĆNE IZDRŽLJIVOSTI

### 5.3.1. PONAVLJANJA S 60% 1RM NA POTISKU S RAVNE KLUPE

Kod izvedbe ponavljanja potiska s ravne klupe s 60% 1RM (do momentalnog mišićnog otkaza), nije uočen značajan glavni efekt ( $p=0.449$ ) te stoga nije provedena dodatna post hoc analiza. Usporedba parova prikazana je na Slici 10, individualni odgovori ispitanika prikazani su na Slici 11.



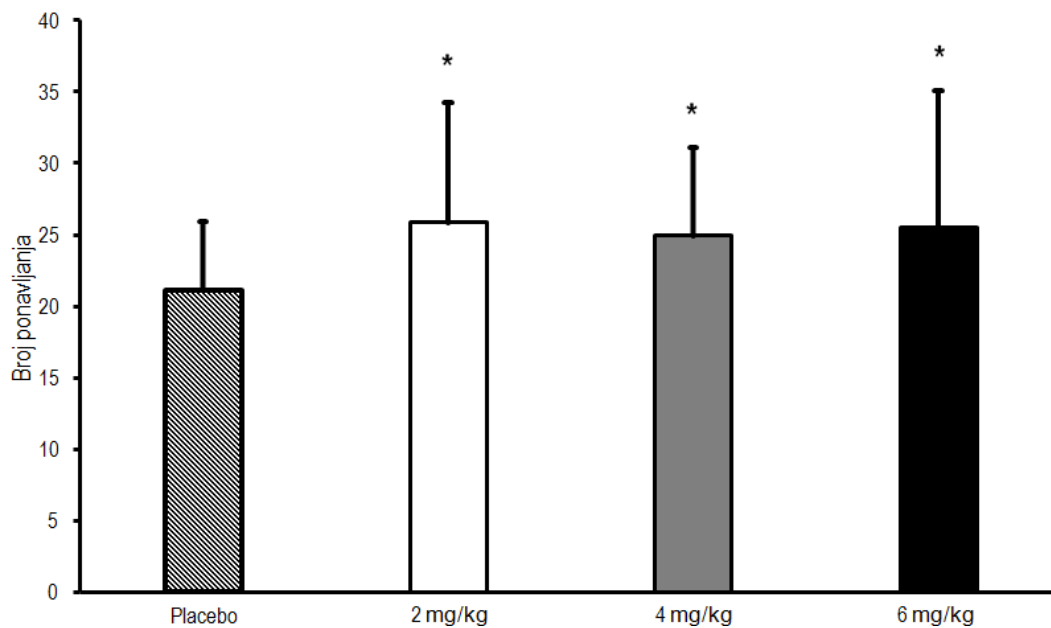
**Slika 10.** Razlike između rezultata u placebo uvjetu i uvjetima tri doze kofeina kod izvedbe ponavljanja s 60% 1RM na potisku s ravne klupe. Stupci su aritmetičke sredine, a pripadajuće okomite crte standardne devijacije.



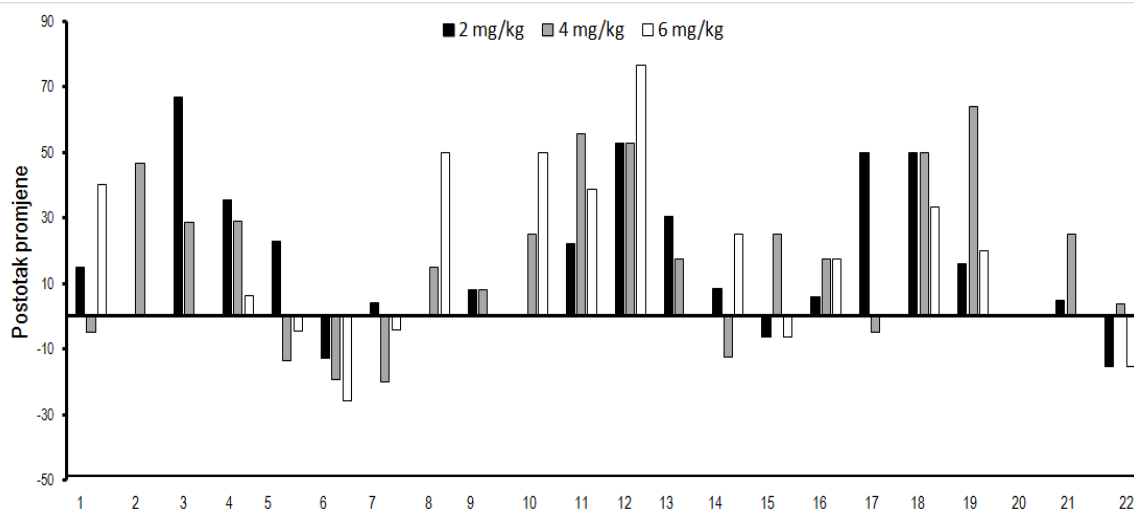
**Slika 11.** Individualni odgovori na konzumaciju kofeina za izvedbu broja ponavljanja sa 60% 1RM kod potiska s klupe. Podaci su prezentirani kao postotak promjene (na osi y) nakon konzumacije kofeina u odnosu na placebo. Individualni odgovori ispitanika (1-28) su prikazani na osi x.

### 5.3.2. PONAVLJANJA S 60% 1RM NA STRAŽNJEM ČUČNJU

Kod izvedbe ponavljanja stražnjeg čučnja s 60% 1RM (do momentalnog mišićnog otkaza) uočen je značajan glavni efekt ( $p=0.021$ ). Post hoc analiza ukazala je da, u usporedbi s placebom, poboljšanja izvedbe ostvarena su sa sve 3 doze kofeina: s 2 mg/kg ( $d=0.67$ ; +4.8 ponavljanja;  $p=0.008$ ), 4 mg/kg ( $d=0.68$ ; +3.9 ponavljanja;  $p=0.032$ ) i 6 mg/kg ( $d=0.56$ ; +4.4 ponavljanja;  $p=0.014$ ). Usporedba parova prikazana je na Slici 12, individualni odgovori ispitanika prikazani su na Slici 13.



**Slika 12.** Razlike između rezultata u placebo uvjetu i uvjetima tri doze kofeina kod izvedbe ponavljanja s 60% 1RM na stražnjem čučnju. Stupci su aritmetičke sredine, a pripadajuće okomite crte standardne devijacije. \*Označava značajnu ( $p < 0.05$ ) razliku u odnosu na placebo.



**Slika 13.** – Individualni odgovori na konzumaciju kofeina za izvedbu broja ponavljanja sa 60% 1RM kod stražnjeg čučnja. Podaci su prezentirani kao postotak promjene (na osi y) nakon konzumacije kofeina u odnosu na placebo. Individualni odgovori ispitanika (1-22) su prikazani na osi x. Napomena: Rezultati ispitanika broj 20 nisu prikazani zbog velikog postotka promjene (~300% s dozom od 6 mg/kg kofeina), s obzirom da bi isti onemogućili pregled rezultata ostalih ispitanika.

## 5.4. SUBJEKTIVNI OSJEĆAJ OPTEREĆENJA I PERCEPCIJA BOLI

Za usporedbu subjektivnog osjećaja opterećenja i percepcije boli nakon testova jakosti i mišićne izdržljivosti pri četiri uvjeta (placebo, 2, 4, 6 mg/kg kofeina) nijedna usporedba nije ukazala na značajnu razliku ( $p > 0.05$  za sve). Svi rezultati u vezi sa subjektivnim osjećajem opterećenja i percepcije boli prezentirani su u Tablici 2.

**Tablica 2.** Sažetak rezultata za iskazani subjektivni osjećaj opterećenja i percepciju boli ispitanika uz pripadajuće testove jakosti i mišićne izdržljivosti kroz četiri uvjeta (placebo, 2, 4, i 6 mg/kg kofeina).

| Varijable   | Kontrolno mjerjenje | Mjerjenje s dozama kofeina |                         |                         |
|---|---------------------|----------------------------|-------------------------|-------------------------|
|   | Placebo             | 2 mg/kg                    | 4 mg/kg                 | 6 mg/kg                 |
| 1RM stražnji čučanj (kg)                          | 129.2 ± 21.7        | 132.2 ± 22.7 <sup>a</sup>  | 130.8 ± 22.8            | 130.7 ± 24.6            |
| SOO (ljestvica 6-20)                              | 17.0 ± 2.0          | 17.0 ± 1.8                 | 16.9 ± 1.8              | 16.4 ± 2.2              |
| PB (ljestvica 0-10)                               | 2.3 ± 2.8           | 2.8 ± 2.8                  | 2.2 ± 2.5               | 2.1 ± 2.5               |
| 1RM potisak s ravne klupe (kg)                    | 106.9 ± 21.9        | 106.3 ± 21.1               | 107.8 ± 20.7            | 108.3 ± 22.5            |
| SOO (ljestvica 6-20)                              | 15.9 ± 2.8          | 15.3 ± 2.8                 | 15.7 ± 2.6              | 15.9 ± 2.7              |
| PB (ljestvica 0-10)                               | 1.4 ± 2.2           | 1.9 ± 2.5                  | 1.8 ± 2.2               | 1.6 ± 1.9               |
| Stražnji čučanj – ponavljanja s 60% 1RM (n)       | 21.1 ± 4.9          | 25.9 ± 8.4 <sup>a</sup>    | 25.0 ± 6.1 <sup>a</sup> | 25.5 ± 9.5 <sup>a</sup> |
| SOO (ljestvica 6 - 20)                            | 16.9 ± 2.4          | 17.0 ± 2.3                 | 17.1 ± 2.6              | 17.2 ± 2.4              |
| PB (ljestvica 0 - 10)                             | 3.2 ± 2.7           | 3.5 ± 3.1                  | 3.5 ± 3.1               | 3.0 ± 3.0               |
| Potisak s ravne klupe – ponavljanja s 60% 1RM (n) | 20.5 ± 4.2          | 21.1 ± 3.8                 | 21.2 ± 3.6              | 20.9 ± 4.0              |
| SOO (ljestvica 6 - 20)                            | 17.0 ± 2.4          | 16.6 ± 2.4                 | 16.9 ± 2.4              | 17.0 ± 2.5              |
| PB (ljestvica 0 - 10)                             | 2.3 ± 2.7           | 2.5 ± 3.2                  | 2.3 ± 2.2               | 2.3 ± 2.7               |

Svi rezultati su prikazani kao aritmetička sredina (AS) ± standardna devijacija (SD), SOO: subjektivni osjećaj opterećenja, PB: percepcija boli, 1RM: jedno maksimalno ponavljanje; <sup>a</sup> značajna razlika u odnosu na placebo

## **5.5. UČINKOVITOST ZASLJEPLJIVANJA**

### **5.5.1. IZVEDBA BALISTIČKIH POKRETA**

Analizirani su odgovori ispitanika prije i poslije testiranja. Prije testiranja 45% ispitanika uspješno je identificiralo placebo kapsulu, 45% ispitanika dozu kofeina od 2 mg/kg, 25% ispitanika dozu kofeina od 4 mg/kg i samo 10% ispitanika dozu kofeina od 6 mg/kg.

Poslije testiranja uočen je porast prepoznavanja većine doza te je 55% ispitanika uspješno identificiralo placebo kapsulu, 50% ispitanika dozu kofeina od 2 mg/kg, 20% ispitanika dozu kofeina od 4 mg/kg, a 25% ispitanika dozu kofeina od 6 mg/kg. Prema Bangovom indeksu zasljepljivanja (eng. *Bang's Blinding Index*) zasljepljivanje je označeno kao uspješno.

### **5.5.2. JAKOST I MIŠIĆNA IZDRŽLJIVOST**

Analizirani su odgovori ispitanika prije i poslije testiranja. Prije testiranja je samo 1% ispitanika uspješno identificiralo placebo kapsulu, 11% ispitanika dozu kofeina od 2 mg/kg, 29% ispitanika dozu kofeina od 4 mg/kg i 21% ispitanika dozu kofeina od 6 mg/kg.

Poslije testiranja uočen je porast te je 14% ispitanika uspješno identificiralo placebo kapsulu, 32% ispitanika dozu kofeina od 2 mg/kg, 29% ispitanika dozu kofeina od 4 mg/kg, a 25% ispitanika dozu kofeina od 6 mg/kg. Prema Bangovom indeksu zasljepljivanja (eng. *Bang's Blinding Index*) zasljepljivanje je označeno kao uspješno.

## **5.6. USPOREDBA IZMEĐU SKUPINA HABITUALNIH KONZUMENATA KOFEINA**

Kriterij prema kojemu se razlikuju dvije skupine ispitanika po habitualnom unosu kofeina je unos kofeina od 100 mg/dan. Unos  $\leq 100$  mg/dan označavao je skupinu niskih habitualnih konzumenata, a  $>100$  mg/dan skupinu umjereno do visokih habitualnih konzumenata. Zbog objektivnih razloga (bolovi, odustajanja) nisu svi ispitanici odradili sve testove te je zbog toga prikazan broj ispitanika za svaki test.

Za analizu razlika kroz uvjete između dviju skupina korištena je dvosmjerna ANOVA (skupina  $\times$  uvjet) za ponovljena mjerenja:

- Faktor skupine (dvije razine; niski i umjereno-do-visoki habitualni konzumenti)
- Faktor uvjeta (četiri razine; placebo, 2, 4 i 6 mg/kg kofeina)

### **5.6.1. IZVEDBA BALISTIČKIH POKRETA**

Kod izvedbe balističkih pokreta gornjeg dijela tijela, 14 ispitanika je klasificirano kao niski (habitualni unos kofeina:  $27 \pm 36$  mg/dan; raspon: 0 do 90 mg/dan), a 6 ispitanika klasificirano je kao umjereni do visoki habitualni konzumenti (habitualni unos kofeina:  $358 \pm 210$  mg/dan; raspon: 135 do 642 mg/dan). Analiza je pokazala da nije bilo statistički značajne interakcije između skupine po habitualnom unosu i eksperimentalnih uvjeta ( $p=0.829$ ).

Kod izvedbe balističkih pokreta donjeg dijela tijela, 12 ispitanika je klasificirano kao niski (habitualni unos kofeina:  $21 \pm 30$  mg/dan; raspon: 0 do 80 mg/dan), a 5 ispitanika je klasificirano kao umjereni do visoki habitualni konzumenti (habitualni unos kofeina:  $312 \pm 199$  mg/dan; raspon: 135 do 642 mg/dan). Analiza je pokazala da nije bilo statistički značajne interakcije između skupine po habitualnom unosu i eksperimentalnih uvjeta ( $p=0.245$ ).

### 5.6.2. JAKOST

Kod jakosti gornjeg dijela tijela, 19 ispitanika je klasificirano kao niski (habitualni unos kofeina:  $27 \pm 32$  mg/dan; raspon: 0 do 90 mg/dan ), a 9 ispitanika klasificirano je kao umjereni do visoki habitualni konzumenti (habitualni unos kofeina:  $299 \pm 189$  mg/dan; raspon: 134 do 642 mg/dan). Analiza je pokazala da nije uočen značajan ( $p= 0.503$ ) interakcijski efekt između faktora grupe i faktora uvjeta.

Kod jakosti donjeg dijela tijela, 17 ispitanika je klasificirano kao niski (habitualni unos kofeina:  $27 \pm 30$  mg/dan; raspon: 0 do 80 mg/dan ), a 8 ispitanika klasificirano je kao umjereni do visoki habitualni konzumenti (habitualni unos kofeina:  $313 \pm 197$  mg/dan; raspon: 134 do 642 mg/dan). Analiza je pokazala da nije uočen značajan ( $p=0.763$ ) interakcijski efekt između faktora grupe i faktora uvjeta.

### 5.6.3. MIŠIĆNA IZDRŽLJIVOST

Kod mišićne izdržljivosti gornjeg dijela tijela, 19 ispitanika je klasificirano kao niski (habitualni unos kofeina:  $27 \pm 32$  mg/dan; raspon: 0 do 90 mg/dan), a 9 ispitanika klasificirano je kao umjereni do visoki habitualni konzumenti (habitualni unos kofeina:  $299 \pm 189$  mg/dan; raspon: 134 do 642 mg/dan). Analiza je pokazala da nije uočen značajan ( $p=0.548$ ) interakcijski efekt između faktora grupe i faktora uvjeta.

Kod mišićne izdržljivosti donjeg dijela tijela, 14 ispitanika je klasificirano kao niski (habitualni unos kofeina:  $24 \pm 30$  mg/dan; raspon: 0 do 80 mg/dan), a 8 ispitanika klasificirano je kao umjereni do visoki habitualni konzumenti (habitualni unos kofeina:  $313 \pm 197$  mg/dan; raspon: 134 do 642 mg/dan). Analiza je pokazala da nije uočen značajan ( $p=0.763$ ) interakcijski efekt između faktora grupe i faktora uvjeta.



## 6. RASPRAVA

### 6.1. UČINAK KOFEINA NA IZVEDBU BALISTIČKIH POKRETA

Izvedba balističkih pokreta koristi se zbog povećane brzine izvedbe i mišićne aktivacije u odnosu na klasične rutine u treningu s otporom te se zbog toga često predstavlja kao vrlo bitna u treningu snage (Newton i sur., 1996). U ovome istraživanju testirani su učinci tri različite doze kofeina (2, 4 i 6 mg/kg) na izvedbu balističkih pokreta bacanja medicine iz sjeda i vertikalnog objenožnog skoka. Navedeni testovi su prethodno korišteni i u istraživanju Grgića i Mikulića (2017), također na treniranim muškim ispitanicima.

Rezultati ovog istraživanja ukazuju da su statistički značajna poboljšanja kod izvedbe bacanja medicine iz sjeda zabilježena samo kod doze od 6 mg/kg kofeina (~4%). Slično poboljšanje spominju Grgić i Mikulić (2017) u svome istraživanju što navodi da je navedena doza dovoljna za postizanje ergogenih učinaka na treniranim muškim ispitanicima. S obzirom na to da je u tome istraživanju korištena samo jedna doza, ostaje nepoznato bi li i niže doze (npr. od 2 ili 4 mg/kg) ili više doze (>6 mg/kg) potencijalno jednako utjecale na izvedbu balističkih pokreta gornjeg dijela tijela kroz test bacanja medicine iz sjeda. Postoji dokumentirano još samo istraživanje Martineza i sur. (2016) koje je promatralo izvedbu kroz isti test. U tome istraživanju nije zabilježen ergogeni učinak kofeina na izvedbu, no s obzirom da su autori koristili kofeinski dodatak prehrani kod kojeg nije specificirana količina kofeina u napitku, usporedba s rezultatima ovog istraživanja je otežana. Uz razumnu pretpostavku da je količina kofeina u tome napitku bila manja od doze od 6 mg/kg, prema tome se čini se da je (za većinu muške populacije iskusne u treningu s otporom) za postizanje ergogenog učinka kofeina na balističku izvedbu mišića gornjeg dijela tijela potrebna viša doza (barem 6 mg/kg).

Međutim, kod rezultata ovog istraživanja vidljiv je doza-odgovor učinak kofeina. Poboljšanja s dozom od 4 mg/kg (+3.1% u odnosu na placebo), iako nisu bila statistički značajna, bila su puno sličnija dozi od 6 mg/kg (+3.7% u odnosu na placebo) nego dozi od 2 mg/kg (+0.9% u odnosu na placebo). Štoviše, čak 5 ispitanika (Slika 3) ostvarilo je svoje najbolje rezultate s navedenom dozom od 4 mg/kg (neki čak i poboljšanja ~20% u odnosu na placebo izvedbu) što upućuje na to da su poboljšanja u izvedbi moguća i s nižim dozama te da postoje velike individualne varijacije u odgovoru na kofein između ispitanika. Razlozi tih varijacija mogu biti različiti, npr. pušenje (Aldridge i sur., 1981) ili genetske razlike (Guest i

sur., 2018), a navedeni učinak također može ovisiti i o habitualnoj konzumaciji kofeina (Pickering i Kiely, 2019).

Navedeni rezultati mogu biti od velike koristi za te ispitanike i pomoći im u odabiru adekvatne doze koja će polučiti ergogeni učinak na izvedbu, bez potencijalnih nuspojava koje se vežu za više doze (Grgić i sur., 2019b). Osim spoznaja da je kod određenih pojedinaca dovoljna i niža doza za ergogeni učinak, vrijedi također istaknuti i da je zabilježeno smanjenje izvedbe s dozom od 6 mg/kg kod pojedinih ispitanika (Slika 3). Navedeno dodatno potvrđuje potrebu za individualnim doziranjem kofeina i individualnim testiranjem doza kofeina na treninzima prije važnog natjecanja kako bi se prevenirali eventualni neželjeni učinci konzumacije.

Osim bacanja medicine iz sjeda, za procjenu snage gornjeg dijela tijela Cormie i sur. (2011) te Newton i sur. (1996) preporučuju test izbačaj šipke u potisku s klupe, pri čemu Cormie i sur. (2011) preporučuju opterećenja od 0-50% 1RM izvođena maksimalnom brzinom kao optimalna za poboljšanje izlaza snage. Kako bi istražili izvedbu balističkih pokreta kroz izbačaj šipke na Smith mašini, Wilk i sur. (2020) su na grupi treniranih ispitanika s visokim habitualnim unosom kofeina ( $443 \pm 142$  mg/dan) proučavali utjecaj doza od 3 i 6 mg/kg kofeina na izlaz snage i brzinu šipke prilikom izvođenja testa. Kod svakog dolaska ispitanici su izvodili 5 serija s 2 ponavljanja testa (s otporom od 30% 1RM). U usporedbi s placebo, uočena su statistički značajna poboljšanja u prosječnoj brzini i prosječnom izlazu snage (no nisu uočena poboljšanja u odnosu na povećanje vršne brzine i vršni izlaz snage) tijekom izvedbe balističkih pokreta. Njihovi rezultati upućuju na to da bi poboljšanja kod visokih habitualnih konzumenata mogla biti uočena i s nižim dozama od 6 mg/kg (kao što je vidljivo kod određenih ispitanika i u ovome istraživanju). Zbog različitog testa (i različitog opterećenja) daljnje usporedbe između istraživanja su ograničene, ali vrijedi napomenuti da i Wilk i sur. (2020) dodatno ističu velike varijacije tijekom izvedbe kod ispitanika - doza kofeina od 3 mg/kg izazvala je poboljšanje u izvedbi (i kod prosječne brzine šipke i kod prosječnog izlaza snage) kod većine ispitanika, kod nekih ispitanika nije bilo značajne promjene, a kod nekih su čak zabilježeni lošiji rezultati s dozom od 6 mg/kg. Slične individualne varijacije koje spominju autori zabilježene su i u ovome istraživanju (Slika 3) što navodi na potencijalni utjecaj genetskih faktora (Guest i sur., 2018) i upućuje da doze treba individualizirati i prilagoditi pojedincu. Budući da je istraživanje Wilka i sur. (2020) bilo prvo istraživanje koje je proučavalo učinak kofeina na nekoliko serija izvedbe balističkih pokreta, potrebna su daljnja istraživanja u tom smjeru.

Za balističku izvedbu donjeg dijela tijela značajna poboljšanja zabilježena su sa sve tri doze kofeina. Akutna poboljšanja izvedbe balističkih pokreta nakon konzumacije kofeina, u odnosu na placebo, iznosila su ~4%. Kako bismo stavili te rezultate u kontekst literature, može nam poslužiti meta-analiza Grgića i sur. (2018a) u kojoj su autori analizirali utjecaj kofeina na snagu (procijenjenu visinom vertikalnog skoka) i zaključili da se akutna poboljšanja nakon konzumacije kofeina mogu usporediti s rezultatima nakon ~4 tjedna pliometrijskog treninga (Hedges-ov  $g=0.17$ , +3%; Markovic, 2007).

Kada se analiziraju individualni rezultati ispitanika (Slika 5), vidljivo je da su i ovdje također prisutne velike varijacije u izvedbi kod različitih doza kofeina. Zabilježeno je i da su određeni ispitanici ostvarili značajno veća poboljšanja s najnižom dozom od 2 mg/kg u odnosu na dozu od 6 mg/kg kofeina. Kada je u pitanju najniža doza korištena u istraživanju (2 mg/kg kofeina), od novijih radova može se istaknuti istraživanje Ranchordasa i sur. (2019) provedeno na aktivnim igračima ragbija. Ispitanici su koristili apsolutnu dozu (200 mg kofeina, relativna doza ~2.3 mg/kg) u obliku žvakaćih guma te ostvarili akutno poboljšanje u izvedbi od +3.6% (kofein:  $43.7 \pm 7.6$  cm naspram placeba:  $42.2 \pm 6.2$  cm;  $d=0.22$ ).

U ovome istraživanju vrijedi istaknuti i da je kod nekoliko ispitanika (Slika 5) uočeno (osim značajnog poboljšanja izvedbe vertikalnog objenožnog skoka s dozom od 2 mg/kg) i smanjenje izvedbe s dozom od 6 mg/kg kofeina u odnosu na placebo izvedbu. Navedeno upućuje na potencijalne nuspojave kod viših doza koje su vjerojatno utjecale na pojedine ispitanike. Ovi rezultati su veoma važni za rad u svakodnevnom trenažnim i natjecateljskim aktivnostima te sugeriraju potrebu da svaki pojedinac isproba različite doze kofeina kako bi uočio omogućava li mu kofein (i u kojoj dozi) postizanje ergogenog učinka. Nadalje, s obzirom na to da je opaženo da je izvedba s placeboom kod pojedinih ispitanika bila bolja nego s nižim dozama kofeina (uz iznimke u kojima je rezultat bio i bolji nego s dozom od 6 mg/kg; Slika 3 i Slika 5), navedeno upućuje i na potencijalni utjecaj tzv. očekivanog učinka kofeina. Naime, Grgić i sur. (2020b) su promatrali učinak kofeina (doze od 6 mg/kg) i placeboa na visinu vertikalnog skoka, i opazili poboljšanje izvedbe u oba slučaju u odnosu na kontrolnu izvedbu (izvedbu bez konzumacije). Izostanak kontrolnog testiranja (testiranja bez prethodne konzumacije bilo kofeina bilo placeboa) može se smatrati ograničenjem ovog istraživanja jer bi navedeno dodatno objasnilo potencijalni utjecaj placeboa u navedenim aktivnostima.

Kada se uspoređuju dobivena poboljšanja iz ovog istraživanja s rezultatima drugih istraživanja, treba spomenuti da su gotovo sva istraživanja iz spomenute meta-analize Grgića i sur. (2018a), kao i u preglednome radu Polita i sur. (2016), koristila jednokratnu dozu kofeina (većinom 6 mg/kg), dok nijedno istraživanje nije uključivalo doza-činak (eng. dose-response) dizajn istraživanja. Grgić i Mikulić (2017) imali su najbliži dizajn ovome istraživanju te su koristili isti test i istu dozu (6 mg/kg kofeina), na sličnome broju muških ispitanika iskusnih u treningu s otporom, ali nisu zabilježili statistički značajnu razliku u balističkoj izvedbi donjeg dijela tijela u odnosu na placebo izvedbu. Od četiri istraživanja u kojima je korištena doza kofeina od 6 mg/kg (Ali i sur., 2016; Andrade-Souza, 2015; Grgić i Mikulić, 2017; Foskett i sur., 2009) samo su Foskett i sur. (2009) uočili značajna poboljšanja s navedenom dozom u odnosu na placebo izvedbu. Navedeni rezultati su neočekivani i mogli bi biti potencijalno objašnjeni (u nedostatku jasnijih dokaza) drugačijim genetskim profilom ispitanika ili potencijalnim nuspojavama kod viših doza. Navedena saznanja dodatno ističu potrebu testiranja izvedbe s više različitih doza kako bi se izbjeglo stjecanje (pogrešnog) dojma da kofein ne djeluje ergogeno na balističku izvedbu donjeg dijela tijela kod određene osobe.

Kod različitih doza, dostupno je istraživanje Arazia i sur. (2016a) u kojemu su koristili dvije doze kofeina (tj. 2 i 5 mg/kg), ali taj rad na uzorku 10 karatistica nije pokazao značajan učinak konzumacije kofeina na izvedbu vertikalnog skoka. Daljnje usporedbe između rezultata ovog istraživanja i istraživanja Arazia i sur. (2016a) su otežane zbog različitog spola i dobi ispitanika (Dorsch i Bell, 2005), ali zbog činjenice da autori navode da je dobiveno povećanje od +4 cm ( $d=0.95$ ) s dozom od 5 mg/kg kofeina u odnosu na placebo i 2 mg/kg, može se pretpostaviti da bi povećanjem broja ispitanica potencijalno zabilježili i statistički značajan učinak (te da bi poboljšanja bila slična navedenima u ovome istraživanju).

Po saznanju autora, dostupan je još samo jedan rad Ellisa i sur. (2019) u kojemu su korištene različite doze kofeina. U istraživanju Ellisa i sur. testirano je 15 elitnih nogometaša (dob:  $16 \pm 1$  god) te je napravljena usporedba izvedbe vertikalnog objenožnog skoka nakon konzumacije kofeina u dozama od 1, 2 i 3 mg/kg. Zabilježeno je da su poboljšanja uočena samo s dozom od 3 mg/kg kofeina (+3.6 cm). Ovi rezultati također idu u prilog tezi da za poboljšanje visine vertikalnog skoka možda nisu potrebne više doze kofeina. Dodatnu potvrdu toga pružaju nam istraživanja Veniera i sur. (2019a, 2019b) s obzirom na to da su autori zabilježili slična poboljšanja u izvedbi vertikalnog skoka kod niskih habitualnih konzumenata iskusnih u treningu s otporom. Koristili su druge izvore kofeina (kofeinske

žvakaće gume i kofeinski gel) u apsolutnoj dozi od 300 mg (relativna doza ~3.5 i ~3.3 mg/kg), a poboljšanja su iznosila +4.6% (d=0.27) (Venier i sur., 2019a) i +3.3% (d=0.18) (Venier i sur., 2019b).

Na temelju rezultata ovog istraživanja na balističku izvedbu gornjeg i donjeg dijela tijela, kao i na rezultatima citiranih autora ostalih istraživanja, može se uočiti da je pozitivan učinak kofeina na izvedbu balističkih pokreta dominantno izražen kod mišića donjeg dijela tijela, kao što sugeriraju i meta-analize koje su proučavale utjecaj kofeina tijekom maksimalne proizvodnje sile (Grgić i Pickering, 2019; Warren i sur., 2010). Potencijalno objašnjenje za to nude Grgić i sur. (2019b) u preglednome radu o učinku kofeina na izvedbu u treningu s otporom, u kojem objašnjavaju da zbog niže razine aktivacije mišića donjeg dijela tijela tijekom maksimalne proizvodnje sile (u usporedbi s drugim mišićnim grupama) ostaje više prostora za napredak, što posljedično objašnjava veći ergogeni učinak kofeina kod vježbi koje uključuju donji dio tijela. Treba spomenuti i da bi objašnjenje kod pojedinaca koji nisu ostvarili poboljšanja u izvedbi nakon konzumacije kofeina moglo biti to da su koristili doze koje im ne odgovaraju ili da jednostavno nisu dovoljno puta testirani. Naime, u istraživanju Del Cosa i sur. (2019) ispitanici su konzumirali dozu od 3 mg/kg kofeina i bili testirani 8 puta kroz modificirani Wingate test (15 sec) u istim uvjetima. U odnosu na placebo, autori napominju da je ergogeni učinak kofeina varirao između 1 i 9%, a da je poboljšanje u prosječnoj snazi zabilježeno najmanje 3 do 8 puta. U navedenome istraživanju svi ispitanici bili su niski habitualni konzumenti kofeina što ostavlja pitanje bi li ista doza bila dovoljna za pozitivne učinke i kod visokih habitualnih konzumenta. Potrebno je na individualnoj razini procijeniti potencijalnu korist za aktivnosti. Za vrhunske sportaše i natjecanja u kojima nijanse odlučuju o poretku, svako poboljšanje u izvedbi, ma koliko malo bilo, je važno. Ipak, treba biti oprezan pri prijenosu zaključaka ovog istraživanja na vrhunske sportaše s obzirom da oni nisu činili istraživački uzorak.

## **6.2. UČINAK KOFEINA NA MIŠIĆNU JAKOST**

Rezultati ovog istraživanja upućuju da statistički značajne razlike u izvedbi s kofeinom, u odnosu na placebo, nisu uočene kod jakosti mišića gornjeg dijela tijela (p=0.080). Detaljnije analizirajući individualne rezultate ispitanika (Slika 7), može se uočiti

da je 7 ispitanika svoje najbolje rezultate ostvarilo s dozom kofeina od 6 mg/kg te da je ukupna prosječna podignuta masa s dozom kofeina od 6 mg/kg bila +1.4 kg u odnosu na placebo (Tablica 2). Navedeno sugerira da kod nekih pojedinaca navedena doza potencijalno može čini razliku u izvedbi, ali da trebaju sami odlučiti kakav je za njih omjer uloženog i dobivenog tj. kolika je praktična korist kozumacije kofeina, posebice kad se uzmu u obzir potencijalne nuspojave.

Kada se uspoređuju rezultati 1RM jakosti kod izvedbe potiska s ravne klupe u ovom istraživanju s rezultatima drugih istraživanja na muškim treniranim ispitanicima, treba spomenuti da postoje istraživanja koja navode statistički značajnu razliku u odnosu na placebo izvedbu (Arazi i sur., 2016b; Sabblah i sur., 2015; Williams i sur. 2008), ali i da postoje i istraživanja u kojima nije uočena razlika u izvedbi (Astorino i sur., 2008; Eckerson i sur., 2012; Grgić i Mikulić, 2017). Potencijalna objašnjenja za navedene razlike bi mogli potražiti u broju ispitanika (u istraživanjima u kojima su zabilježeni značajni učinci bilo je <15 ispitanika), dok je primjerice u istraživanju Astorina i sur. (2008) sudjelovao veći broj ispitanika (n= 22), kao i u ovome istraživanju (n=28). Mogli bi se dalje zapitati je li doza ta koja uvjetuje razliku, međutim, vidljivo je da su poboljšanja ostvarena s dozom kofeina ~3.6 mg/kg (Williams i sur. 2008), kao i da kada je korištena doza od 6 mg/kg nije uočena značajna razlika (Astorino i sur., 2008; Grgić i Mikulić, 2017). Nadalje, postoji i pitanje habitualnog unosa kofeina. Ispitanici u istraživanjima kod kojih su zabilježeni značajni učinci kofeina bili su bili klasificirani kao niski habitualni konzumenti (Williams i sur, 2008) ili nije bio naveden njihov status po habitualnom unosu (Arazi i sur.. 2016b; Sabblah i sur., 2015), dok Astorino i sur. (2008) navode da su ispitanici imali umjereni habitualni unos. Za usporedbu, u ovom istraživanju nisu uočene statistički značajne razlike između skupine niskih i umjereni do visokih habitualnih konzumenta kofeina (vidjeti poglavlje 6.5.), ali moguće da je navedeno rezultat malog broja umjereni do visokih habitualnih konzumenta kofeina (19 naspram 9) i visoke varijacije u unosu kofeina kod umjereni do visokih habitualnih konzumenata ( $299 \pm 189$  mg/dan).

Potencijalno rješenje ovog izazova moglo bi dati novije istraživanje Wilka i sur. (2019a, 2019b). To je jedino istraživanje (uz rezultate ovog istraživanja) u kojem su se koristile različite doze kofeina kada je u pitanju testiranje 1RM jakosti gornjeg dijela tijela. Wilk i sur. (2019a, 2019b) primijenili su visoke doze kofeina (9 i 11 mg/kg) kod 16 ispitanika iskusnih u treningu s otporom pri izvedbi potiska s klupe. Svi ispitanici bili su visoki habitualni konzumenti kofeina ( $411 \pm 136$  mg/dan) te su uočene statistički značajne razlike u

odnosu na placebo u 1RM jakosti. Rezultati rada Wilka i sur. (2019a, 2019b) navode da bi (potencijalno) smanjeni utjecaj kofeina na jakost mišića gornjeg dijela tijela mogao biti potaknut visokim dozama kofeina. Naravno, kod visokih doza kofeina mogu se očekivati i naglašenije nuspojave, pa treba dobro procijeniti rizike i potencijalne dobrobiti navedenih doza. Smanjeni učinak kofeina na jakost mišića gornjeg dijela tijela je u skladu s meta-analizama o učinku kofeina na izvedbu (Grgić i Pickering, 2019; Warren i sur., 2010), ali ne i meta-analizom Grgića i sur (2018a) u kojoj autori navode suprotan učinak kod proučavanja učinka kofeina na 1RM jakost.

Kod jakosti mišića donjeg dijela tijela statistički značajne razlike u odnosu na placebo uočene su samo sa dozom od 2 mg/kg (+3.0 kg). Kod doza od 4 i 6 mg/kg također su uočena poboljšanja (+1.6 kg i +1.5 kg) u izvedbi stražnjeg čučnja (Tablica 2), ali poboljšanja nisu bila statistički značajna. Kao i u prethodnim analizama individualnih odgovora, uočene su velike varijacije između ispitanika što opet sugerira važnost individualnog testiranja i provjere odgovora na kofein. Samo još jedno istraživanje bavilo se učincima različitih doza kofeina na jakost mišića donjeg dijela tijela mjerenu 1RM testom. Arazi i sur. (2016a) koristili su test nožnog potiska na 10 karatistica (adolescentska dob). Ispitanice su bile niske habitualne konzumentice kofeina, a s dozama kofeina koje su koristile (2 i 5 mg/kg) nisu uočene značajne razlike na izvedbu. Veličina učinka iznosila je 0.35, što potencijalno upućuje da bi statistička značajnost razlika vjerojatno bila uočena s većim brojem ispitanica. Osim različitog broja ispitanika kod istraživanja Arazia i sur. (2016a) i ovog istraživanja, važno je istaknuti i različitu dob, spol i razinu treniranosti u odnosu na ispitanike u ovome istraživanju ( $25 \pm 6$  god, muški spol, ispitanici iskusni u treningu s otporom), s naglaskom da bi ti čimbenici mogli utjecati na drugačije rezultate (Pickering i Grgić, 2019).

Izvedba stražnjeg čučnja sa slobodnim utezima za procjenu mišićne jakosti donjeg dijela tijela koristila se još u istraživanjima Grgića i Mikulića (2017) te Martina (2015). U istraživanju Grgića i Mikulića (2017) korištena je samo jedna doza kofeina (6 mg/kg) i dobiveno je poboljšanje od ~3% u odnosu na placebo kod 17 ispitanika iskusnih u treningu s otporom. U navedenom istraživanju ispitanici su bili niski habitualni konzumenti, a autori su prijavili smanjenje subjektivnog osjećaja opterećenja u odnosu na placebo. Za usporedbu, u ovome istraživanju nije uočeno smanjenje subjektivnog osjećaja opterećenja, moguće i zbog različitog redoslijeda testova u istraživanjima (u njihovom istraživanju izvedba stražnjeg čučnja je bila provedena prije izvedbe potiska s klupe, čime je potencijalno smanjena akumulacija umora). Može se samo pretpostaviti da bi i u tome istraživanju niža doza kofeina

bila dovoljna za poboljšanja (s obzirom na lakši raspored kada su u pitanju testiranja). Istraživanje Martina (2015) navodi da bi to moglo biti tako s obzirom na to da je zabilježeno poboljšanje, odnosno statistički značajna razlika u izvedbi, nakon konzumacije kofeinskog gela (apsolutna doza od 75 mg, relativna doza ~0.9 mg/kg) u odnosu na placebo gel na uzroku od 12 studenata.

Radi lakšeg sagledavanja širih spoznaja, može se navesti da su rezultati u ovom istraživanju u skladu sa zaključcima prijašnje meta-analize Grgića i sur. (2018a) o pozitivnom učinku kofeina na mišićnu jakost testiranu putem 1RM testa, gdje je uočena veličina učinka kofeina na jakost mišića donjeg dijela tijela iznosila 0.15. U rezultatima ovog istraživanja, veličina učinka kofeina na jakost mišića donjeg dijela tijela je manja (0.07 do 0.15), a prosječna veća podignuta kilaža od 3 kg (s 2 mg/kg kofeina) kod stražnjeg čučnja može biti praktično važna samo kod vrhunskih sportaša, primjerice, natjecatelja u dizanju utega i powerliftingu. Uočena razlika između prvog i drugog powerlifting natjecatelja na Svjetskome Powerlifting natjecanju 2018. godine iznosila je 2.8% kod muškaraca i 4.7% kod žena (Grgic i sur., 2019c). Kao dodatna informacija može se navesti da Pethick i sur. (2018) ističu da bi konzumacija kofeina mogla pozitivno utjecati i na pojavu smanjene proizvodnje sile prouzročene umorom, što svakako može biti praktično korisna informacija za osobe koje se natječu u sportovima jakosti (primjerice dizači utega), ali treba biti i svjestan da se rezultati ovog istraživanja ne mogu uzeti kao mjerodavni za navedene natjecatelje.

U budućim istraživanjima potrebno je istražiti jakosne razlike u odgovoru na kofein između različitih regija tijela, pogotovo kod različitih skupina ispitanika po habitualnom unosu kofeina, kao i obratiti pozornost na velike individualne varijacije (Slika 7 i Slika 9) kod odabira doza. Slično kao i kod poboljšanja u izvedbi balističkih pokreta, i ova poboljšanja od prosječno ~2% kod jakosti mišića donjeg dijela tijela vjerojatno nisu od veće trenažne važnosti za populaciju rekreativnih vježbača i konkretnu praktičnu primjenjivost potrebno je procijeniti na individualnoj razini.



### 6.3. UČINAK KOFEINA NA MIŠIĆNU IZDRŽLJIVOST

Za učinak kofeina na mišićnu izdržljivost mišića gornjeg dijela tijela nije uočena statistički značajna razlika u odnosu na placebo (nije bilo značajnog glavnog efekta ANOVA-e,  $p=0.449$ ) te nisu provedene dodatne post-hoc analize. Detaljnijom analizom broja ponavljanja vježbe s određenom dozom kofeina (Tablica 2), može se vidjeti da su sve razlike u broju ponavljanja bila unutar jednog ponavljanja što nam govori da, uz izostanak statističke značajnosti, nema ni individualnih poboljšanja kod različitih doza koja bi upućivala na razlike koje bi vježbači eventualno mogli primijeniti u radu.

Identične zaključke rezultatima ovog istraživanja, za učinak kofeina na mišićnu izdržljivost mišića gornjeg dijela tijela, dobili su Grgić i Mikulić (2017) kada su provodili istraživanje na 17 ispitanika iskusnih u treningu s otporom koristeći isti test (potisak s ravne klupe sa 60% 1RM). Razlika između ovog istraživanja i istraživanja Grgića i Mikulića (2017) je u tome što je u njihovom istraživanju korištena samo jedna doza kofeina (6 mg/kg) u usporedbi s placeboom te da su u istraživanju Grgića i Mikulića ispitanici bili niski habitualni konzumenti kofeina (prosjeak 58 mg/dan). Wilk i sur. (2019a, 2019b) su također proveli testiranje mišićne izdržljivosti nakon mišićne jakosti gornjeg dijela tijela, ali na visokim habitualnim konzumentima iskusnim u treningu s otporom. Autori su koristili visoke doze od 9 i 11 mg/kg te nisu uočene statistički značajne razlike u odnosu na placebo pri opterećenju od 50% 1RM kod izvedbe potiska s ravne klupe do trenutnog mišićnog otkaza, kao ni u ovom istraživanju. Navedeni rezultati ova tri istraživanja sugeriraju da je učinak kofeina smanjen kada je u pitanju mišićna izdržljivost mišića gornjeg dijela tijela, ali pitanje je bi li isti takvi nalazi bili uočeni i da su niski habitualni konzumenti koristili visoke doze ili da su u protokolu bile samo visoke doze s mišićnom izdržljivošću gornjeg dijela tijela (bez da je prethodno testirana mišićna jakost). Naime, Grgić i Mikulić (2017) objašnjavaju izostanak ergogenog učinka konzumacije kofeina generalno povećanim umorom koji nastaje kada se testiranje mišićne izdržljivosti provodi nakon testiranja mišićne jakosti, a slično navode i Astorino i sur. (2007b) te Goldstein i sur. (2010a). Isti slučaj bi mogao biti i kod ovog istraživanja kada je u pitanju učinak kofeina na mišićnu izdržljivost mišića gornjeg dijela tijela, s obzirom da su testiranja mišićne izdržljivosti provedena nakon testiranja mišićne jakosti.

Trenutno nema istraživanja na visokim dozama kofeina kod ispitanika s visokim habitualnim unosom kofeina (kada se mišićna izdržljivost testira prva), ali mogu se navesti istraživanja Duncana i Oxforda (2011) te Duncana i sur. (2013) s malo nižim dozama na umjerenim habitualnim konzumentima kofeina. U tim istraživanjima kofeinska doza je iznosila 5 mg/kg, ispitanici su biliiskusni u treningu s otporom, a mišićna izdržljivost mišića gornjeg dijela tijela je testirana prva kroz broj ponavljanja do otkaza pri izvođenju potiska s ravne klupe. Ostvarena su značajna poboljšanja u odnosu na placebo izvedbu, što navodi na zaključak da je jako bitno provodi li se testiranje mišićne izdržljivosti mišića gornjeg dijela tijela prvo. U prilog toj tvrdnji ide i istraživanje Polita i sur. (2019) koje je jedno od rijetkih (uz istraživanje Wilka i sur. (2019a, 2019b) i ovo istraživanje) koristilo više doza kofeina. Polito i sur. (2019) su prikupili 14 ispitanikaiskusnih u treningu s otporom i testirali njihovu izvedbu nakon akutne konzumacije kofeina u dozama od 3 i 6 mg/kg. Ispitanici su izvodili tri vježbe za gornji dio tijela (potisak s prsa, rameni potisak i pregib podlaktice) kroz tri serije s 70% 1RM do trenutnog mišićnog otkaza te su autori prijavili značajne razlike u odnosu na placebo izvedbu za obje doze. Potencijalno objašnjenje za razlike između tih rezultata i rezultata ovog istraživanja je moguće pronaći i u različitom dizajnu istraživanja. Naime, u ovom istraživanju ispitanici su provodili jednu seriju vježbe do trenutnog mišićnog otkaza, dok su u istraživanju Polita i sur. ispitanici izvodili ukupno 9 serija (tri po vježbi). Zabilježeno je da kofein može utjecati na smanjeni umor u kontraktilnim svojstvima mišića (Pethick i sur., 2018), što bi moglo objasniti razlike zabilježene između provođenja jedne i tri serije, ali na rezultate ovog istraživanja prethodno testiranje jakosti je vjerojatno imalo veći učinak i izazvalo barem djelomični lokalni mišićni zamor. Preporuke za rad u praksi za trenirane ispitanike bi se mogle usmjeriti prema tome da, ako je cilj raditi primjerice hipertrofijski trening s većim brojem ponavljanja, da se u početku treninga izbjegava niski broj ponavljanja (s velikim opterećenjem) kako bi se omogućio veći volumen kasnije u treningu.

Za učinak kofeina na mišićnu izdržljivost mišića donjeg dijela tijela uočena je statistički značajna razlika kod izvedbe za sve tri doze kofeina u odnosu na placebo. Ukupna razlika u broju ponavljanja u odnosu na placebo bila je slična kod sve tri doze (+4.8, + 3.9 i +4.4 za 2, 4 i 6 mg/kg kofeina), a navedena akutna promjena može se usporediti sa poboljšanjima nakon 8 tjedana treninga s otporom (Schoenfeld i sur., 2016). Prosječna veličina učinka za mišićnu izdržljivost mišića donjeg dijela tijela je varirala od 0.56 - 0.67, što se može smatrati indikacijom umjerenog učinka. Navedena poboljšanja najveća su od svih

primijenjenih testova u ovom istraživanju te se čini da bi mogla imati najveću primjenjivost u treningu treniranih ispitanika s obzirom da se u tipičnom treningu rekreativnih vježbača provodi veći broj ponavljanja u seriji.

Kod analize individualnih rezultata (Slika 13) vidljivo je i da je doza od 6 mg/kg kofeina izazvala povećanja kod većine ispitanika, ali i da je kod 5 ispitanika izvedba bila lošija u odnosu na placebo izvedbu. Navedeno sugerira da bi više doze mogle imate nuspojave koje bi mogle remetiti izvedbu te da bi za postizanje erogenog učinka kofeina mogli učinkovito koristiti niže doze.

Dostupna su dva istraživanja (Grgić i Mikulić, 2017; Astorino i sur., 2007b) u kojima je korišten sličan protokol (ako se izuzme činjenica da je u tim istraživanjima korištena samo jedna doza kofeina od 6 mg/kg). U navedenim istraživanjima koristio se broj ponavljanja do otkaza s istim intenzitetom (60% 1 RM-a), ispitanici su bili iskusni u treningu s otporom, a za provjeru mišićne izdržljivosti korištene su kompleksne vježbe – čučanj (Grgić i Mikulić, 2017) i nožni potisak (eng. leg press) (Astorino i sur., 2007b) koje su provedene nakon testiranja 1RM jakosti (kao i u ovom istraživanju). Oba navedena istraživanja su zabilježila poboljšanja u izvedbi u odnosu na placebo izvedbu, ali za razliku od rezultata ovog istraživanja, navedena poboljšanja nisu bila statistički značajna.

U sagledavanju šire slike, kada je u pitanju mišićna izdržljivost mišića donjeg dijela tijela, može pomoći meta-analiza Polita i sur. (2016) u kojoj je dobivena značajna razlika između kofeinske i placebo izvedbe, a veličina učinka za učinak kofeina na mišićnu izdržljivost mišića donjeg dijela tijela iznosila je 0.42. Navedeno sugerira da je vjerojatnije da će se ostvariti poboljšanja kod mišića donjeg dijela tijela konzumacijom doze od 6 mg/kg kofeina. Neslaganje između uočene statistički značajne razlike kod sve tri doze kofeina u odnosu na placebo u ovome istraživanju, te izostanku statistički značajne razlike između placeba i doze od 6 mg/kg kofeina u testu mišićne izdržljivosti donjeg dijela tijela u istraživanjima Grgića i Mikulića (2017) te Astorina i sur. (2007b) je iznenađujuće. Kada navedenim sličnostima u dizajnu istraživanja pridodamo i sličan habitualni unos kofeina kod ispitanika, razlike u dobivenim rezultatima mogu se potencijalno pripisati nuspojavama koje su remetele izvedbu pri višim dozama te velikim individualnim varijacijama kod ispitanika. S obzirom na to da su u tim istraživanjima autori koristili samo jednu dozu, ostaje i pitanje bi li rezultati izostali i da su koristili različite doze. Navedene nuspojave i velike varijacije u

izvedbi bi mogle biti pod utjecajem genetskih faktora (Guest i sur., 2008) te je za očekivati da će u budućnosti znanost imati odgovore i na ta pitanja.

Kao dodatnu napomenu može se navesti i da su u rezultatima ovog istraživanja uočene i velike varijacije u izvedbi testova mišićne izdržljivosti (Slika 11 i Slika 13) kod ispitanika (kod jednog ispitanika čak do ~300% u odnosu na placebo kod doze od 6 mg/kg za mišićnu izdržljivost mišića donjeg dijela tijela), što potencijalno dovodi u pitanje motivaciju ispitanika.

Kada se usporede rezultati za gornji naspram donji dio tijela iz ovog istraživanja, vrijedi ukazati i na to da su uočeni različiti učinci kofeina na mišićnu izdržljivost mišića različitih regija tijela. Prethodno su Warren i sur. (2010) naveli da su potencijalni učinci konzumacije kofeina izraženiji na većim mišićnim skupinama zbog „većeg prostora za napredak“, ali te tvrdnje nisu poduprte rezultatima meta-analize Polita i sur. (2016) koji ne navode značajne razlike između tjelesnih regija, odnosno veličine mišića, kada je u pitanju utjecaj kofeina na mišićnu izdržljivost. Vrijedi spomenuti da je u meta-analizi Polita i sur. (2016) uočen nejednak broj ispitanika u analiziranim skupinama (14 naspram 24 ispitanika kada je u pitanju usporedba donjeg naspram gornjeg dijela tijela te 5 naspram 37 ispitanika kada su u pitanju male u odnosu na velike mišićne skupine), kao i to da nisu analizirali učinak habitualnog unosa kofeina na izvedbu, što potencijalno ograničava donošenje čvrstih zaključaka. Nedovoljno jasni zaključci upućuju na potrebu za daljnjim istraživanjima koja bi utvrdila razlike između učinka kofeina na mišićnu izdržljivost mišića gornjeg naspram mišića donjeg dijela tijela (naročito kod visokih habitualnih konzumenata kofeina) te usporedila razlike kod provođenja jedne i više serija vježbi do trenutnog mišićnog otkaza.

Ukupno analizirajući rezultate, ostvarena poboljšanja u izvedbi mišića donjeg dijela tijela mogu biti praktično važna za vježbače u treningu s otporom na način da će im omogućiti veći volumen u treningu, pri čemu je takav učinak konzumacije kofeina na izvedbu često i razlog konzumacije kofeina kod te populacije vježbača. Što se tiče izvedbe mišića gornjeg dijela tijela, iako u ovome istraživanju nisu zabilježena značajna poboljšanja, moguće da su izostala samo zbog toga što su testiranja provedena nakon testiranja mišićne jakosti (Grgić i sur., 2019b), a navedeno upućuje da bi konzumacija kofeina prije klasičnog treninga s otporom u teretani mogla imati koristi za prosječnog rekreativnog vježbača i kada je u pitanju izvedba mišića gornjeg dijela tijela (ili da barem neće negativno utjecati na izvedbu).

## **6.4. UČINAK KOFEINA NA SUBJEKTIVNI OSJEĆAJ OPTEREĆENJA I PERCEPCIJU BOLI**

Prilikom analize pojedinačnih odgovora dobivenih nakon testiranja jakosti i mišićne izdržljivosti (za gornji i donji dio tijela) nije uočen značajan glavni efekt između uvjeta testiranja (placeba, 2, 4 i 6 mg/kg kofeina) kada su u pitanju subjektivni osjećaj opterećenja i percepcija boli. U razgovoru prilikom testiranja, nekolicina ispitanika je spominjala povećanu pobuđenost nakon konzumacije kapsule (iako nisu znali koji je bio sastav i doza kapsule), ali očito da navedeno nije imalo utjecaja na smanjenje subjektivnog osjećaja opterećenja ili percepcije boli pri izvedbi testova.

U prethodnim istraživanjima zabilježena je povezanost boli s adenozijskim vezanjem na A1 receptore (Gaspardone i sur., 1995; Sawynok, 1998) i čini se da bi kofein mogao smanjiti osjećaj boli kod različitih oblika vježbanja. Kao dokazi koji upućuju na to (u treningu s otporom) mogu se navesti istraživanja Duncana i Oxforda (2012), Duncana i sur., (2013), Sabblaha i sur., (2015) te Tallisa i Yavuz (2018) kod kojih je uočeno smanjenje osjećaja boli. Remeteći faktor je to da je u tim istraživanjima uz smanjenje percepcije boli uočeno i smanjenje subjektivnog osjećaja opterećenja pa nije jasno što bi točno moglo biti povezano s poboljšanjem u izvedbi. Potencijalni razlog zašto je u ovome istraživanju izostao navedeni učinak bi mogao biti i individualni način percepcije boli. Naime, određeni broj ispitanika je u razgovoru kod testiranja navodio da percepciju boli neodjeljivo povezuju s boli kod ozljede (umjesto mišićne boli) te su zbog toga navodili iste ocjene kod raznih testiranja. Također, remeteći faktor za izostanak statističke značajnosti razlika bi mogao biti i korištenje više testova u istom dolasku (testovi izvedbe balističkih pokreta, jakosti i mišićne izdržljivosti).

Ukupno gledajući, navedeni rezultati ovog istraživanja sugeriraju da učinak kofeina na središnji živčani sustav nije odgovoran za poboljšanje sposobnosti, već da bi ergogeni učinak kofeina na mišićnu jakost i mišićnu izdržljivost mišića donjeg dijela tijela mogao biti objašnjen nekim drugim mehanizmom, primjerice uključivanjem većeg broja motoričkih jedinica ili povećanim otpuštanjem kalcija iz sarkoplazmatskog retikuluma (Bazzucchi i sur., 2011; McLellan i sur., 2016). Dosadašnji radovi na aerobnim sposobnostima upućivali su na mogućnost da subjektivan osjećaj opterećenja može biti smanjen nakon konzumacije kofeina (Doherty i Smith, 2005), ali većina istraživanja u treningu s otporom, kao ni rezultati ovog

istraživanja, ne podupiru te tvrdnje (Astorino i sur., 2010; Da Silva i sur., 2015; Duncan i Oxford, 2011; Green i sur., 2007; Hudson i sur., 2008; Woolf i sur., 2008, 2009).

Kod istraživanja kod kojih su uz povećanja u jakosti uočena i smanjenja subjektivnog osjećaja opterećenja (Duncan i Oxford, 2012; Duncan i sur., 2013; Grgić i Mikulić, 2017), najbliži dizajn istraživanja ovome istraživanju imali su Grgić i Mikulić (2017). Oni su uočili smanjenje subjektivnog osjećaja opterećenja kod izvedbe čučnja prilikom testiranja jakosti, ali ne i kod izvedbe potiska s klupe. Veličina učinka je bila mala pa kada se analiziraju ti rezultati zajedno s rezultatima ovog istraživanja, može se pretpostaviti da ako kod određenih pojedinaca i dođe do smanjenja subjektivnog osjećaja opterećenja prilikom konzumacije kofeina, da navedeno neće imati veliki utjecaj na rezultate treninga s otporom kod rekreativne populacije.

Kao poticaj za daljnja istraživanja, ostaje pitanje bi li isti rezultati bili ostvareni i da su korištene više doze (npr. 9 ili 11 mg/kg kofeina) s obzirom na da je uočena poveznica boli s adenozičkim vezanjem na A1 receptore (Gaspardone i sur., 1995; Sawynok, 1998). Postoji dokumentirano istraživanje Wilka i sur. (2019a, 2019b) o učinku kofeina na jakost mišića gornjeg dijela u kojem se navode poboljšanja u odnosu na placebo izvedbu (s dozama kofeina od 9 i 11 mg/kg), ali u tome istraživanju autori nisu zabilježili individualne odgovore po pitanju subjektivnog osjećaja opterećenja ili percepcije boli.

## **6.5. USPOREDBA IZMEĐU SKUPINA HABITUALNIH KONZUMENATA KOFEINA**

U literaturi je dokumentirano da habitualni unos kofeina može utjecati na fiziološke i kognitivne odgovore nakon akutne konzumacije kofeina (Bangsbo i sur., 1992; Fredholm i sur., 1999; Svenningsson i sur., 1999), iako mehanizmi u pozadini ostaju nerazjašnjeni. Analiza habitualnog unosa kofeina u ovome istraživanju provedena je od strane kvalificiranog nutricionista prema standardiziranome upitniku (FFQ) o unosu kofeina u posljednja 24 sata (Bühler i sur., 2013). Navedeni upitnik validiran je na uzorku od preko 200 studenata (oba spola) slične dobi ispitanicima u ovome istraživanju. Gonçalves i sur. (2017) koristili su adaptiranu verziju upitnika u kojem su procjenjivali unos na temelju 6 analiza

unosa kroz dane, a identičan upitnik koji je korišten u ovome istraživanju (procjena unosa u posljednja 24 sata), korišten je i u istraživanju Grgića i Mikulića (2020) na muškarcima iskusnim u treningu s otporom. Postoje i drugi upitnici koji se koriste za procjenu habitualnog unosa, ali Pickering i Grgić (2019) navode da za većinu tih upitnika nema informacija o validaciji. Kemijski sastav namirnica analiziran je na temelju radova Bühler i sur. (2013), Đureković i sur. (2019) i podataka dostupnih na internetskoj stranici: [caffeineinformer \(https://www.caffeineinformer.com/the-caffeine-database\)](https://www.caffeineinformer.com/the-caffeine-database). Vrijednosti kofeina u navedenim namirnicama su iste ili niže u usporedbi s namirnicama dostupnima na hrvatskome tržištu prema istraživanju Niseteo i sur. (2012). S obzirom na to da ne postoji veliki broj istraživanja koja su procjenjivala habitualni unos kofeina, ne postoje standardne granice za podjelu konzumenata s obzirom na unos kofeina. Npr. Beaumont i sur. (2017) su granicu za ispitanike s niskim unosom kofeina postavili na < 75 mg/dan, Lara i sur. (2019) granicu su postavili na < 50 mg/dan, a Dodd i sur. (1991) kao konzumente kofeina navode osobe koje su konzumirale iznad 300 mg/dan. Ispitanici u ovom istraživanju su po uzoru na istraživanje Gonçalvesa i sur. (2017) svrstani u dvije skupine: ako su unosili  $\leq 100$  mg/dan kofeina dnevno kategorizirani su kao niski habitualni konzumenti, a ako su unosili >100 mg/dan kategorizirani su kao umjereni do visoki habitualni konzumenti kofeina. Navedena granica u istraživanju izražena je u apsolutnim vrijednostima (mg/dan) radi lakše usporedbe s rezultatima ostalih istraživanja.

U rezultatima ovog istraživanja nisu uočeni značajni „grupa  $\times$  uvjet“ interakcijski efekti za izvedbu balističkih pokreta, kao ni za mišićnu jakost ili za mišićnu izdržljivost u usporedbi dviju skupina habitualnih konzumenata kofeina. Rezultati istraživanja, dakle, ukazuju da potencijalno nema razlika u akutnim učincima kofeina na navedene segmente tjelesne izvedbe između niskih i umjereni do visokih habitualnih konzumenata kofeina iskusnih u treningu s otporom. Međutim, novije istraživanje Lare i sur. (2019) navodi suprotne zaključke i objašnjava mogućnost smanjenja akutnog ergogenog učinka kofeina kod visokog habitualnog unosa kofeina. Autori su proveli značajno istraživanje u kojem je grupa od 11 aktivnih pojedinaca provodila protokol u kojem su bili podijeljeni u dvije skupine. Jedna skupina je uzimala dozu kofeina od 3 mg/kg/dan kroz 20 dana, a druga grupa je unosila placebo te su promatrani vršni izlaz snage u progresivnome testu opterećenja te u modificiranome (15 sec) Wingate testu. Autori ističu da je u oba testa ergogeni učinak kofeina u odnosu na placebo zabilježen tijekom prvih dana eksperimenta što sugerira bi se

ergogeni učinak kofeina mogao smanjiti s habitualnim unosom. Također, istraživanje Wilka i sur. (2019a, 2019b) provedeno za mišićnu jakost podupire te tvrdnje.

Za stavljanje istraživanja u kontekst literature može se iskoristiti pregledni rad Pickeringa i Kielya (2019) o habitualnom učinku kofeina, u kojem se navodi da dosadašnja istraživanja ukazuju na mogućnost utjecaja visokog habitualnog unosa kofeina na smanjenje akutnog ergogenog učinka kofeina kod pojedinaca. Moguće da u ovome istraživanju nisu uočene značajne razlike između skupine niskih i skupine umjereno do visokih habitualnih konzumenata kofeina zbog različitog broja ispitanika u skupinama, a što je otežalo usporedbu. Naime, kod testova u kojima je ispitivan učinak kofeina na mišićnu jakost i mišićnu izdržljivost gornjeg dijela tijela broj ispitanika je bio 19 naspram 9 (niski naspram umjereno do visoki habitualni konzumenti kofeina), dok je kod izvedbe balističkih pokreta donjeg dijela tijela samo pet ispitanika bilo označeno kao umjereno do visoki habitualni konzumenti kofeina.

Vrijedi također istaknuti da su u ovome istraživanju zabilježene velike varijacije u prosječnom dnevnom unosu kofeina kod umjereno do visokih habitualnih konzumenata kofeina, npr. kod jakosti mišića gornjeg dijela tijela prosječni unos kofeina po ispitaniku ispitanika je iznosio  $299 \pm 189$  mg/dan (raspon: 134 do čak 642 mg/dan), što dodatno otežava konkretne zaključke.

Dostupno je još 7 istraživanja koja su uspoređivala akutne učinke kofeina na tjelesnu izvedbu kod barem dvije grupe ispitanika po habitualnom unosu kofeina (Grgic i Mikulic 2020; Gonçalves i sur. 2017; Bell i McLellan, 2002; Dodd. i sur. 1991; Jordan i sur. 2012; Evans i sur. 2018; Tarnopolsky i Cupido, 2000). Čak pet istraživanja (Grgic i Mikulic 2020; Gonçalves i sur. 2017; Dodd. i sur. 1991; Jordan i sur. 2012; Tarnopolsky i Cupido, 2000) nije uočilo značajne razlike između grupa, a jedino istraživanje koje je proučavalo izvedbu u treningu s otporom bilo je istraživanje Grgića i Mikulića (2020). Ispitanici su bili klasificirani kao niski (n=13) i umjereno do visoki habitualni konzumenti (n=11) i korištena je doza od 3 mg/kg kofeina koja potencijalno nije dovoljna da bi izazvala erogeni učinak kod viših habitualnih konzumenata. Sličnost između tog istraživanja i ovog je da su korišteni isti testovi za balističku izvedbu donjeg dijela tijela i mišićnu izdržljivost mišića gornjeg dijela tijela na ispitanicima iskusnim u treningu s otporom. Na temelju ovih dvaju istraživanja koja su radila direktnu usporedbu habitualnih konzumenata u treningu s otporom, čini se da za navedene izvedbe habitualni unos kofeina nema veliku ulogu, barem kada su u pitanju niski i umjereno



do visoki habitualni konzumenti. U literaturi nedostaje istraživanja koja su uspoređivala učinak habitualnog unosa kofeina na više skupina habitualnih konzumenata kada je u pitanju trening i izvedba s otporom te će za detaljnija saznanja biti potrebna istraživanja koja će uključiti visoke habitualne konzumente i visoke doze kofeina.

Kada je u pitanju izvedba balističkih pokreta mišića gornjeg dijela tijela, u rezultatima ovog istraživanja dobiveno je statistički značajno poboljšanje u izvedbi samo sa dozom od 6 mg/kg u odnosu na placebo izvedbu, a Wilk i sur. (2020) su pri izbačaju šipke na Smith mašini zabilježili značajna poboljšanja u prosječnoj brzini šipke i prosječnome izlazu snage kod visokih habitualnih konzumenata ( $443 \pm 142$  mg/dan) s dozama od 3 i 6 mg/kg kofeina. Zbog malog broja ispitanika (6) kod ovog istraživanja u skupini umjereno do visokih konzumenata kofeina i korištenja različitih testova, mogućnost daljnjih usporedbi je ograničena. Grgić i Mikulić (2017) su proveli isti test (bacanje medicinke iz sjeda) kao i u ovom istraživanju i također su zabilježili značajna poboljšanja kod niskih habitualnih konzumenta s dozom od 6 mg/kg kofeina. Ostaje pitanje bi li s većom dozom od 6 mg/kg bila uočena i veća poboljšanja u ovome istraživanju, kao i u istraživanju Grgića i Mikulića (2017).

Kod izvedbe balističkih pokreta mišića donjeg dijela tijela, dobivena su poboljšanja za sve tri doze kofeina (sa sličnim poboljšanjem u relativnom iznosu). Grgić i Mikulić (2017) nisu zabilježili značajna poboljšanja kod niskih habitualnih konzumenata (s dozom od 6 mg/kg kofeina) provodeći isti test (vertikalni objenožni skok). S druge strane, Venier i sur. (2019a, 2019b) su uočili značajna poboljšanja kod niskih do umjerenih habitualnih konzumenata kod apsolutnih doza (300 mg, relativna doza  $\sim 3.5$  i  $\sim 3.3$  mg/kg) za kofeinske žvakaće gume i gelove. Moguće da zbog genetskih razlika kod ispitanika (Pickering i Grgić, 2019) nisu uočene promjene u istraživanju Grgića i Mikulića (2017), ali ostaje za istražiti izvedbu balističkih pokreta mišića donjeg dijela tijela na visokim habitualnim konzumentima kofeina.

Kod jakosti mišića i mišićne izdržljivosti mišića gornjeg dijela tijela, značajni učinci nisu ostvareni ni s jednom dozom. Grgić i Mikulić (2017) također nisu ostvarili značajan učinak kod niskih habitualnih konzumenata s jednom dozom od 6 mg/kg kofeina, a Wilk i sur. (2019a, 2019b) su odlučili koristiti visoke doze kofeina (9 i 11 mg/kg) na visokim habitualnim konzumentima ( $411 \pm 136$  mg/dan) za testiranja mišićne jakosti i mišićne izdržljivosti mišića gornjeg dijela tijela. Naime, Pickering i Kiely (2019) su u preglednome radu naveli da bi kod visokih habitualnih konzumenata potencijalno bile potrebne više doze

kofeina za ergogeni učinak. Kada je u pitanju mišićna jakost (Wilk i sur., 2019a, 2019b), ostvarene su statistički značajne razlike u odnosu na placebo izvedbu što sugerira da bi se kod visokih habitualnih konzumenata trebale potencijalno koristiti i visoke doze kako bi se ostvarila poboljšanja u mišićnoj jakosti gornjeg dijela tijela. Kada je u pitanju mišićna izdržljivost mišića gornjeg dijela tijela, Wilk i sur. (2019a, 2019b) nisu uočili statistički značajne razlike u odnosu na placebo izvedbu ni s visokim dozama kofeina. Navedeni (smanjeni) utjecaj kofeina na mišićnu izdržljivost mišića gornjeg dijela tijela nije u skladu sa zaključcima meta-analize Grgića i sur. (2018a), iz čega se izvodi potreba za dodatnim istraživanjima koja će uključiti veći broj ispitanika, promatrati habitualni unos i genetske razlike kod pojedinaca te testiranja mišićne izdržljivosti provoditi zasebno (neće se provoditi poslije testiranja mišićne jakosti). Rezultati ovog i prethodno navedenih istraživanja (Wilk i sur., 2020; Grgić i Mikulić, 2017) o utjecaju kofeina na izvedbu balističkih pokreta, mišićnu jakost i mišićnu izdržljivost mišića gornjeg dijela tijela upućuju na moguću razliku kod habitualnog učinka konzumacije kofeina kada je u pitanju izvedba balističkih pokreta gornjeg dijela tijela u odnosu na mišićnu jakost i mišićnu izdržljivost mišića gornjeg dijela tijela. Poboljšana izvedba balističkih pokreta bi mogla biti rezultat učinka konzumacije kofeina na povećano otpuštanje kalcija iz sarkoplazmatskog retikuluma i povećanu aktivaciju motoričkih jedinica, što pospješuje mišićnu kontrakciju (Tarnopolsky, 2008; Bazzucchi i sur., 2011) te je potrebno istražiti kako habitualni unos kofeina utječe i na taj dio kod habitualnih konzumenta kofeina.

Za mišićnu jakost mišića donjeg dijela tijela uočeno je poboljšanje samo sa dozom od 2 mg/kg kofeina, dok su se sve tri doze pokazale ergogenima na mišićnu izdržljivost mišića donjeg dijela tijela. S obzirom da nedostaje istraživanja učinka kofeina na mišićnu jakost i mišićnu izdržljivost na visokim habitualnim konzumentima, ove rezultate treba uzeti s rezervom.

## **6.6. PREDNOSTI I OGRANIČENJA ISTRAŽIVANJA**

Prednosti istraživanja su sljedeća:

1. Upotreba tri doze kofeina (2, 4 i 6 mg/kg) za ispitivanje učinaka na izvedbu balističkih pokreta, jakost i mišićnu izdržljivost. U dosadašnjim istraživanjima

uglavnom je korištena jedna doza kofeina pa je ovo istraživanje, omogućujući izravnu usporedbu učinaka između različitih doza, dalo doprinos u smislu odgovora na pitanje „Koja je optimalna doza kofeina za poboljšanje tjelesne izvedbe?“.

2. Randomizirano i dvostruko slijepo istraživanje. Navedeni dizajn smatra se zlatnim standardom u istraživanjima ovog tipa. U proces je, osim mjeritelja, bila uključena i treća osoba koja je bila zadužena za kontrolu i odabir doza za testiranje te je bila jedina upućena u stvarnu dozu koje će ispitanici primiti prilikom dolaska na testiranje. Ovo je osiguralo očuvanje dvostruko slijepog istraživanja za njegovog trajanja, a učinkovitost zasljepljivanja dodatno je provjerena Bangovim indeksom zasljepljivanja. Randomizacija je provedena korištenjem softvera dostupnog na [www.randomization.com](http://www.randomization.com).
3. Upotreba validiranog upitnika za procjenu habitualnog unosa kofeina i, u tu svrhu, uključivanje kvalificiranog nutricionista u istraživanje. Nutricionist je preveo i prilagodio standardizirani upitnik (Food Frequency Questionnaire, FFQ) s kojim je procijenjen habitualni unos kofeina (validiran od strane Böhlera i sur., 2013).
4. Praćenje cirkadijskog ritma. Utvrđeno je da bi cirkadijski ritam (Reilly i Waterhouse, 2009) mogao utjecati na izvedbu te da bi potencijalni ergogeni učinak kofeina mogao biti izraženiji u jutarnjim satima (Mora-Rodríguez i sur., 2015) tako da je u istraživanju kontrolirano vrijeme dolaska te su svi ispitanici su odradili sva svoja testiranja u približno isto doba dana.
5. Provedba eksperimenta u standardiziranim uvjetima i uz korištenje standardiziranih protokola. Prostor u kojima su se provodila testiranja bili su primjereno opremljeni u skladu s potrebama istraživanja te su u istraživanju korišteni provjereni standardizirani protokoli za procjenu tjelesne izvedbe.

Ograničenja istraživanja uključuju:

1. Istraživanje je provedeno samo na muškarcima. Učinci kofeina na tjelesnu izvedbu kod osoba muškog spola potencijalno mogu biti različiti u odnosu na učinke kod osoba ženskog spola. Stoga, treba biti oprezan pri prijenosu zaključaka istraživanja na žensku populaciju.

2. Ispitanici su bili tjelesno aktivni muškarci iskusni u treningu s otporom, ali ne i sportaši natjecatelji. Pickering i Grgić (2019) navode da bi učinak kofeina na tjelesnu izvedbu mogao biti smanjen kod vrhunskih sportaša jer su bliže svojim granicama kad su u pitanju kapaciteti za tjelesnu izvedbu. Stoga treba biti oprezan pri prijenosu zaključaka istraživanja na populaciju sportaša natjecatelja, posebice elitnih sportaša.
3. Velika varijabilnost u korištenim kofeinskim namirnicama je mogla utjecati na procjenu kofeinskog unosa iskazanog u odgovorima u upitniku. Ispitanici su koristili različite namirnice i konzumirali različite tipove kave u različitim restoranima, a u istraživanju McCuskeru i sur. (2003) utvrđeno je da sadržaj kofeina može varirati čak i kada se kava konzumira u istome restoranu u različitim danima. Također, ispitanici su potencijalno mogli zaboraviti određene namirnice ili krivo procijeniti količinu prilikom prisjećanja.
4. Koncentracija kofeina u krvnoj plazmi nije mjerena pa ostaje nepoznato koliko je kofeina uspješno apsorbirano.
5. U istraživanju kojeg su proveli Guest i sur. (2018) autori navode da osobe s AA genotipom imaju brži metabolizam kofeina u odnosu na druge genotipove (AC i CC) pa ostaje pitanje je li svim ispitanicima odgovaralo vrijeme konzumacije kofeina od 60 minuta prije početka testiranja te koliko se kofeina u stvari apsorbiralo u tom vremenu.
6. Testiranja su provodila tri mjeritelja što je potencijalno moglo utjecati na kriterije kod izvedbe testova. Većina testiranja provedena je od strane autora i prije početka testiranja usuglašeni su kriteriji između trojice mjeritelja s višegodišnjim dijagnostičkim iskustvom, ali činjenica da je mjerenja provodilo više osoba može utjecati na kriterije kod tehnike izvođenja i posljedično na rezultate.
7. U istraživanje nije uvršteno dodatno kontrolno testiranje (bez ikakve prethodne konzumacije) koje bi pojasnilo utjecaj placeba na izvedbu, a navedeno bi moglo biti značajno obzirom da su Grgić i sur. (2020b) pokazali da i konzumacija placeba može poboljšati izvedbu balističkih pokreta u odnosu na kontrolno mjerenje.

## 6.7. TESTIRANJE POSTAVLJENIH HIPOTEZA

Prva hipoteza je pretpostavljala da će se tjelesna izvedba pod vidom izvedbe balističkih pokreta, jakosti i mišićne izdržljivosti akutno poboljšati samo s unosom najviše doze kofeina (6 mg/kg). Rezultati istraživanja djelomično potvrđuju prvu hipotezu. Kod izvedbe balističkih pokreta mišića gornjeg dijela tijela značajni učinci konzumacije kofeina uočeni su samo s dozom od 6 mg/kg, a kod izvedbe balističkih pokreta mišića donjeg dijela tijela značajni učinci konzumacije kofeina uočeni su sa sve tri doze (2, 4 i 6 mg/kg). Isti rezultati (akutno poboljšanje u izvedbi) sa sve tri doze kofeina ostvareni su i kada je u pitanju mišićna izdržljivost mišića donjeg dijela tijela. Kod mišićne jakosti mišića donjeg dijela tijela samo je doza od 2 mg/kg ostvarila statistički značajnu razliku u odnosu na placebo testiranje (iako su kod sve tri doze uočena poboljšanja). Akutna konzumacija triju doza kofeina nije se pokazala ergogenom na ispitanicima iskusnim u treningu s otporom u ovome istraživanju po pitanju mišićne jakosti i mišićne izdržljivosti mišića gornjeg dijela tijela u odnosu na placebo testiranje.

Druga hipoteza pretpostavljala je da će se akutna poboljšanja pod vidom izvedbe balističkih pokreta, mišićne jakosti i mišićne izdržljivosti ostvariti kod ispitanika klasificiranih kao niski i kod ispitanika klasificiranih kao umjereno do visoki habitualni konzumenti kofeina, no da će veličina učinka biti veća kod ispitanika klasificiranih kao niski habitualni konzumenti kofeina. Rezultati ukazuju da se druga hipoteza odbacuje. Naime, izostanak značajnog interakcijskog efekta između faktora skupine po habitualnom unosu i faktora eksperimentalnog uvjeta testiranja (placebo 2, 4, 6 mg/kg) ukazuje da nisu opažene razlike u izvedbi kroz eksperimentalne uvjete između ispitanika klasificiranih kao niski habitualni konzumenti kofeina i ispitanika klasificiranih kao umjereno do visoki habitualni konzumenti kofeina. U odnosu na navedeno, ističe se da su nejednak broj ispitanika po skupinama po habitualnom unosu kao i velike varijacije između ispitanika u habitualnom unosu kofeina (posebice u skupini umjereno do visokih habitualnih konzumenata kofeina) vjerojatno otežali ove usporedbe i testiranje postavljene hipoteze.

## 7. ZAKLJUČAK

Provedeno istraživanje je imalo za ciljeve: (1) ispitati akutne učinke tri različite doze kofeina (2, 4, i 6 mg/kg) na izvedbu balističkih pokreta, jakost i mišićnu izdržljivost u osoba muškog spola iskusnih u treningu s otporom te (2) usporediti akutne učinke konzumacije kofeina između ispitanika s niskim naspram onih s umjereno do visokim habitualnim unosom kofeina.

Rezultati ukazuju da akutna konzumacija kofeina može imati pozitivan utjecaj na tjelesnu izvedbu kod pojedinaca iskusnih u treningu s otporom. Kod izvedbe balističkih pokreta mišića gornjeg dijela tijela samo je doza kofeina od 6 mg/kg polučila poboljšanje izvedbe, dok su za izvedbu balističkih pokreta mišića donjeg dijela tijela sve tri doze kofeina bile učinkovite i to sa sličnim poboljšanjima u izvedbi. Veća doza kofeina nije, dakle, rezultirala boljom izvedbom u odnosu na niže doze. U suglasju s dosadašnjim istraživanjima, pokazalo se da je akutni učinak konzumacije kofeina izraženiji kod mišića donjeg naspram gornjeg dijela tijela.

Poboljšanja jakosti mišića donjeg dijela tijela procijenjenom 1RM izvedbom stražnjeg čučnja, u odnosu na placebo, uočena su kod doze kofeina od 2 mg/kg. Nasuprot tome, pri 1RM izvedbi potiska s ravne klupe kojim je procijenjena jakost mišića gornjeg dijela tijela nisu uočene značajne razlike u odnosu na placebo niti kod jedne doze kofeina. Doze od 2, 4 i 6 mg/kg kofeina pokazale su se učinkovitima za poboljšanje mišićne izdržljivosti mišića donjeg dijela tijela, no nijedna doza kofeina nije značajno utjecala na mišićnu izdržljivost mišića gornjeg dijela tijela. Slično kao i s nalazima za izvedbu balističkih pokreta, pokazalo se da je akutni učinak konzumacije kofeina u smislu jakosti i mišićne izdržljivosti izraženiji kod mišića donjeg naspram gornjeg dijela tijela. Ipak, tamo gdje je evidentan, akutni učinak kofeina na poboljšanje motoričkih dimenzija promatranih u ovom istraživanju općenito se može smatrati malim (+ ~2-4% u odnosu na placebo) te je potrebno na individualnoj razini procijeniti ima li i koliku vrijednost u praksi.

Habitualna konzumacija kofeina, čini se, nije utjecala na veličinu akutnih učinaka kofeina i taj nalaz je konzistentan za sve promatrane segmente tjelesne izvedbe u ovom istraživanju: za izvedbu balističkih pokreta, za jakost i za mišićnu izdržljivost. Ipak, ovaj se zaključak izvodi s dozom opreza s obzirom da su skupine ispitanika po habitualnom unosu bile značajno različitih veličina, a opažene su i velike varijacije između ispitanika u unosu

kofeina posebice kod ispitanika klasificiranih kao umjereno do visoki habitualni konzumenti kofeina.

## 8. PRAKTIČNE PREPORUKE

Unos kofeina već u relativnoj niskoj dozi od 2 mg/kg (1-2 šalice kave za osobu tjelesne mase 80 kg) može biti dostatan za ergogeni učinak kad je u pitanju izvedba balističkih pokreta, jakost i mišićna izdržljivost mišića donjeg dijela tijela kod vježbača iskusnih u treningu s otporom. Za akutna poboljšanja u izvedbi balističkih pokreta gornjeg dijela tijela potrebna je veća doza - 6 mg/kg. Zbog teškoća pri standardizaciji doza kod konzumacije kave, za sportaše i rekreativne vježbače zainteresirane za suplementaciju kofeinom, ipak se preporučuje konzumacija kofeina u prahu otopljenom u tekućini ili u obliku kapsula.

Preporučenim dozama kofeina za poboljšanje izvedbe pri treningu s otporom općenito se smatraju doze u rasponu od 3 – 9 mg/kg, s time da treba voditi računa da su više doze iz ovog raspona općenito povezane s izraženijim nuspojavama. Na temelju spoznaja ovog istraživanja i u kontekstu postojeće literature, kao općeniti savjet za unos kofeina s obzirom na velike varijacije u individualnim odgovorima ispitanika, čini se da je razumna opcija krenuti s niskom dozom od 2 mg/kg i to ~60 min prije početka vježbanja ako se kofein unosi u standardnom obliku praha u kapsulama ili praha otopljenog u tekućini. Potom, potrebno je pratiti fiziološke odgovore organizma i ostvarene rezultate te po potrebi povećati dozu.



## 9. LITERATURA

1. Aguilar-Navarro, M., Muñoz, G., Salinero, J. J., Muñoz-Guerra, J., Fernández-álvarez, M., Plata, M. D. M. i Del Coso, J. (2019). Urine caffeine concentration in doping control samples from 2004 to 2015. *Nutrients*, *11*(2), 1–11. <https://doi.org/10.3390/nu11020286>
2. Aldridge, A., Bailey, J. i Neims, A. H. (1981). The disposition of caffeine during and after pregnancy. *Seminars in Perinatology*, *5*(4), 310–314. Preuzeto s: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7302604>
3. Algrain, H. A., Thomas, R. M., Carrillo, A. E., Ryan, E. J., Kim, C.-H., Lettan, R. B. i Ryan, E. J. (2016). The Effects of a Polymorphism in the Cytochrome P450 CYP1A2 Gene on Performance Enhancement with Caffeine in Recreational Cyclists. *Journal of Caffeine Research*, *6*(1), 34–39. <https://doi.org/10.1089/jcr.2015.0029>
4. Ali., A, O'Donnell. J., Foskett., A. i Rutherford-Markwick., K. (2016). The influence of caffeine ingestion on strength and power performance in female team-sport players. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, *13*(46) <https://doi.org/10.1186/s12970-016-0157-4>
5. Alles, G. A. i Feigen, G. A. (1942). The influence of benzedrine on work-decrement and patellar reflex. *American Journal of Physiology-Legacy Content*, *136*(3), 392–400. <https://doi.org/10.1152/ajplegacy.1942.136.3.392>
6. Alpert, P. T. (2012). The Health Lowdown on Caffeine. *Home Health Care Management and Practice*, *24*(3), 156–158. <https://doi.org/10.1177/1084822311435543>
7. Andrade-Souza, V.A., Bertuzzi, R., de Araujo, G.G., Bishop, D. i Lima-Silva, A.E. (2015). Effects of isolated or combined carbohydrate and caffeine supplementation between 2 daily training sessions on soccer performance. *Applied Physiology Nutrition and Metabolism*, *40*(5), 457–463. <https://doi.org/10.1139/apnm-2014-0268>

8. Arazi, H., Hoseinihaji, M. i Eghbali, E. (2016a). The effects of different doses of caffeine on performance, rating of perceived exertion and pain perception in teenagers female karate athletes. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 52(4), 685–692. <https://doi.org/10.1590/s1984-82502016000400012>
9. Arazi, H., Dehlavinejad, N. i Gholizadeh, R. (2016b). The acute effect of caffeine supplementation on strength, repetition sustainability and work volume of novice bodybuilders. *Turkish Journal of Kinesiology*, 2(3), 43–48. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/264520>
10. Asmussen, E. i Bøje, O. (1948). The Effect of Alcohol and Some Drugs on the Capacity for Work. *Acta Physiologica Scandinavica*, 15(2), 109–113. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1948.tb00488.x>
11. Astorino, T. A., Rohmann, R. L., Firth, K. i Kelly, S. (2007a). Caffeine-Induced Changes in Cardiovascular Function during Resistance Training. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 17(5), 468–477. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.17.5.468>
12. Astorino, T. A., Rohmann, R. L. i Firth, K. (2007b). Effect of caffeine ingestion on one-repetition maximum muscular strength. *European Journal of Applied Physiology*, 102(2), 127–132. <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0557->
13. Astorino, T.A., Firth, K., Rohmann, R.L. (2008). Effect of caffeine ingestion on one-repetition maximum muscular strength. *European Journal of Applied Physiology*, 102(2), 127–132. <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0557-x>
14. Astorino, T. A., Terzi, M. N., Robertson, D. W. i Burnett, T. R. (2010). Effect of Two Doses of Caffeine on Muscular Function during Isokinetic Exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42(12), 2205–2210. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181e3a11d>
15. Atkinson, G., Todd, C., Reilly, T. i Waterhouse, J. (2005). Diurnal variation in

- cycling performance: Influence of warm-up. *Journal of Sports Sciences*, 23(3), 321–329. <https://doi.org/10.1080/02640410410001729919>
16. Baechle, T. R. i Earle, R. W. (2000). *Essentials of Strength Training and Conditioning* (2nd ed.). Champaign IL: Human Kinetics.
  17. Bang, H., Flaherty, S. P., Kolahi, J. i Park, J. (2010). Blinding assessment in clinical trials: A review of statistical methods and a proposal of blinding assessment protocol, *Clinical Research and Regulatory Affairs*, 27, 42–51. <https://doi.org/10.3109/10601331003777444>.
  18. Bangsbo, J., Jacobsen, K., Nordberg, N., Christensen, N. J. i Graham, T. (1992). Acute and habitual caffeine ingestion and metabolic responses to steady-state exercise. *Journal of Applied Physiology*, 72(4), 1297–1303. <https://doi.org/10.1152/jappl.1992.72.4.1297>
  19. Bazzucchi, I., Felici, F., Montini, M., Figura, F. i Sacchetti, M. (2011). Caffeine improves neuromuscular function during maximal dynamic exercise. *Muscle & Nerve*, 43(6), 839–844. <https://doi.org/10.1002/mus.21995>
  20. Beaumont, M., Batéjat, D., Piérard, C., Van Beers, P., Denis, J. B., Coste, O., Doireau, P., Chauffard, F., French, J. i Lagarde, D. (2004). Caffeine or melatonin effects on sleep and sleepiness after rapid eastward transmeridian travel. *Journal of Applied Physiology*, 96(1), 50–58. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00940.2002>
  21. Beaumont, R., Cordery, P., Funnell, M., Mears, S., James, L. i Watson, P. (2017). Chronic ingestion of a low dose of caffeine induces tolerance to the performance benefits of caffeine. *Journal of Sports Sciences*, 35(19), 1920–1927. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1241421>
  22. Bell, D. G. i McLellan, T. M. (2002). Exercise endurance 1, 3, and 6 h after caffeine ingestion in caffeine users and nonusers. *Journal of Applied Physiology*, 93(4), 1227–1234. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00187.2002>

23. Beedie, C.J., Stuart, E.M., Coleman, D.A. i Foad, A.J. (2006). Placebo effects of caffeine on cycling performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 38(12) 2159–2164. [https://doi.org/ 10.1249/01.mss.0000233805.56315.a9](https://doi.org/10.1249/01.mss.0000233805.56315.a9)
24. Benowitz, N. (1990). Clinical Pharmacology Of Caffeine. *Annual Review of Medicine*, 41(1), 277–288. <https://doi.org/10.1146/annurev.med.41.1.277>
25. Bhattacharya, S. K., Satyan, K. S. i Chakrabarti, A. (1997). Anxiogenic action of caffeine: an experimental study in rats. *Journal of Psychopharmacology*, 11(3), 219–224. <https://doi.org/10.1177/026988119701100304>
26. Borg, G. (1970). Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*, 2(2), 92–98. Preuzeto s: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/5523831>
27. Borg, G. A. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 14(5), 377–381. <https://doi.org/7154893>
28. Boyett, J., Giersch, G., Womack, C., Saunders, M., Hughey, C., Daley, H. i Luden, N. (2016). Time of Day and Training Status Both Impact the Efficacy of Caffeine for Short Duration Cycling Performance. *Nutrients*, 8(10), 639. <https://doi.org/10.3390/nu8100639>
29. Brathwaite, J.M., Da Costa, L.A. i El-Sohemy A. (2011). Catechol-O-methyltransferase genotype is associated with self-reported increased heart rate following caffeine consumption. *Journal of Caffeine Research* 1(2), 123–130. [https://doi.org/ 10.1089/jcr.2011.0015](https://doi.org/10.1089/jcr.2011.0015)
30. Bühler, E., Lachenmeier, D., Schlegel, K. i Winkler, G. (2013). Development of a tool to assess the caffeine intake among teenagers and young adults. *Ernahrungsumschau*, 61, 58–63. <https://doi.org/10.4455/eu.2014.011>
31. Burke, L. M. (2008). Caffeine and sports performance. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, 33(6), 1319–1324. <https://doi.org/10.1139/H08-130>

32. Cappelletti, S., Daria, P., Sani, G. i Aromatario, M. (2014). Caffeine: Cognitive and Physical Performance Enhancer or Psychoactive Drug? *Current Neuropharmacology*, 13(1), 71–88. <https://doi.org/10.2174/1570159x13666141210215655>
33. Carroll, T. J., Riek, S. i Carson, R. G. (2001). Neural Adaptations to Resistance Training. *Sports Medicine*, 31(12), 829–840. <https://doi.org/10.2165/00007256-200131120-00001>
34. Cermak, N. M. i van Loon L. J. (2013). The use of carbohydrates during exercise as an ergogenic aid. *Sports Medicine*, 43(11):1139–1155. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0079-0>.
35. Chesley, A., Hultman, E. i Spriet, L. L. (1995). Effects of epinephrine infusion on muscle glycogenolysis during intense aerobic exercise. *The American Journal of Physiology*, 268(1), 127-34. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.1995.268.1.E127>
36. Childs, E., Hohoff, C., Deckert, J., Xu, K., Badner, J. i De Wit, H. (2008). Association between ADORA2A and DRD2 Polymorphisms and Caffeine-Induced Anxiety. *Neuropsychopharmacology*, 33(12), 2791–2800. <https://doi.org/10.1038/npp.2008.17>
37. Clemons, J. M., Campbell, B. i Jeansonne, C. (2010). Validity and Reliability of a New Test of Upper Body Power. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(6), 1559–1565. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181dad222>
38. Cohen J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. New York, NY: Routledge Academic
39. Conway, K. J., Orr, R. i Stannard, S. R. (2003). Effect of a divided caffeine dose on endurance cycling performance, postexercise urinary caffeine concentration, and plasma paraxanthine. *Journal of Applied Physiology*, 94(4), 1557–1562. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00911.2002>

40. Cook, D. B., O'Connor, P. J., Oliver, S. E. i Lee, Y. (1998). Sex Differences in Naturally Occurring Leg Muscle Pain and Exertion During Maximal Cycle Ergometry. *International Journal of Neuroscience*, 95(3–4), 183–202.  
<https://doi.org/10.3109/00207459809003340>
41. Cormie, P., McBride, J. M. i McCaulley, G. O. (2007). Validation of Power Measurement Techniques in Dynamic Lower Body Resistance Exercises. *Journal of Applied Biomechanics*, 23(2), 103–118. <https://doi.org/10.1123/jab.23.2.103>
42. Cormie, P., McGuigan, M. R. i Newton, R. U. (2011). Developing Maximal Neuromuscular Power. *Sports Medicine*, 41(1), 17–38.  
<https://doi.org/10.2165/11537690-000000000-00000>
43. Cox, G. R., Desbrow, B., Montgomery, P. G., Anderson, M. E., Bruce, C. R., Macrides, T. A., Martin, D.T., Moquin, A., Roberts, A., Hawley, J.A. i Burke, L. M. (2002). Effect of different protocols of caffeine intake on metabolism and endurance performance. *Journal of Applied Physiology*, 93(3), 990–999.  
<https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00249.2002>
44. Da Silva, V. L., Messias, F. R., Zanchi, N. E., Gerlinger-Romero, F., Duncan, M. J. i Guimarães-Ferreira, L. (2015). Effects of acute caffeine ingestion on resistance training performance and perceptual responses during repeated sets to failure. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 55(5), 383–389. Preuzeto s:  
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26068323>
45. Dager, S. R., Layton, M. E., Strauss, W., Richards, T. L., Heide, A., Friedman, S. D., Artru, A.A., Hayes, C.E. i Posse, S. (1999). Human brain metabolic response to caffeine and the effects of tolerance. *The American Journal of Psychiatry*, 156(2), 229–237. <https://doi.org/10.1176/ajp.156.2.229>
46. Davis, J. K. i Green, J. M. (2009). Caffeine and Anaerobic Performance. *Sports Medicine*, 39(10), 813–832. <https://doi.org/10.2165/11317770-000000000-00000>
47. De Caterina, R. i El-Sohemy, A. (2016). Moving towards Specific Nutrigenetic

Recommendation Algorithms: Caffeine, Genetic Variation and Cardiovascular Risk. *Journal of Nutrigenetics and Nutrigenomics*, 9(2–4), 106–115.  
<https://doi.org/10.1159/000446801>

48. De Salles Painelli, V., Brietzke, C., Franco-Alvarenga, P. E., Canestri, R., Vinícius, Í. i Pires, F. O. (2020). Comment on: “Caffeine and Exercise: What Next?” *Sports Medicine*. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01278-9>
49. Del Coso, J., Lara, B., Ruiz-Moreno, C. i Salinero, J. (2019). Challenging the Myth of Non-Response to the Ergogenic Effects of Caffeine Ingestion on Exercise Performance. *Nutrients*, 11(4), 732. <https://doi.org/10.3390/nu11040732>
50. Del Coso, J., Muñoz, G. i Muñoz-Guerra, J. (2011). Prevalence of caffeine use in elite athletes following its removal from the world anti-doping agency list of banned substances. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, 36(4), 555–561.  
<https://doi.org/10.1139/h11-052>
51. Denoeud, F., Carretero-Paulet, L., Dereeper, A., Droc, G., Guyot, R., Pietrella, M., Zheng, C., Alberti, A., Anthony, F., Aprea, G., Aury, J.M., Bento, P., Bernard, M., Bocs, S., Campa, C., Cenci, A., Combes, M.C., Cruzillat, D., Da Silva, C., Daddiego, L., De Bellis, F., Dussert, S., Garsmeur, O., Gayraud, T., Guignon, V., Jahn, K., Jamilloux, V., Joët, T., Labadie, K., Lan, T., Leclercq, J., Lepelley, M., Leroy, T., Li, L.T., Librado, P, Lopez, L., Muñoz, A., Noel, B., Pallavicini, A., Perrotta, G., Poncet, V., Pot, D., Priyono, Rigoreau, M, Rouard, M., Rozas, J., Tranchant-Dubreuil, C, Van Buren, R., Zhang, Q., Andrade, A.C., Argout, X., Bertrand, B., de Kochko, A., Graziosi, G., Henry, R.J., Jayarama, Ming, R., Nagai, C., Rounsley, S., Sankoff, D., Giuliano, G., Albert, V.A., Wincker, P. i Lashermes, P. (2014). The coffee genome provides insight into the convergent evolution of caffeine biosynthesis. *Science*, 345(6201), 1181–1184.  
<https://doi.org/10.1126/science.1255274>
52. Desbrow, B., Barrett, C. M., Minahan, C. L., Grant, G. D. i Leveritt, M. D. (2009). Caffeine, Cycling Performance, and Exogenous CHO Oxidation. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(9), 1744–1751.

<https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181a16cf7>

53. Desbrow, B., Biddulph, C., Devlin, B., Grant, G. D., Anoopkumar-Dukie, S. i Leveritt, M. D. (2012). The effects of different doses of caffeine on endurance cycling time trial performance. *Journal of Sports Sciences*, 30(2), 115–120.  
<https://doi.org/10.1080/02640414.2011.632431>
54. Dodd, S. L., Brooks, E., Powers, S. K. i Tulley, R. (1991). The effects of caffeine on graded exercise performance in caffeine naive versus habituated subjects. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 62(6), 424–429.  
<https://doi.org/10.1007/BF00626615>
55. Doherty, M. i Smith, P. M. (2005). Effects of caffeine ingestion on rating of perceived exertion during and after exercise: a meta-analysis. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 15(2), 69–78. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2005.00445.x>
56. Dorsch, K. D. i Bell, A. (2005). Dietary supplement use in adolescents. *Current Opinion in Pediatrics*, 17(5), 653–657.  
<https://doi.org/10.1097/01.mop.0000172819.72013.5d>
57. Duncan, M. J. i Oxford, S. W. (2012). Acute caffeine ingestion enhances performance and dampens muscle pain following resistance exercise to failure. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 52(3), 280–285. Preuzeto s:  
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22648466>
58. Duncan, M. J. i Hankey, J. (2013). The effect of a caffeinated energy drink on various psychological measures during submaximal cycling. *Physiology & Behavior*, 116–117, 60–65. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2013.03.020>
59. Duncan, M. J., Stanley, M., Parkhouse, N., Cook, K. i Smith, M. (2013). Acute caffeine ingestion enhances strength performance and reduces perceived exertion and muscle pain perception during resistance exercise. *European Journal of Sport Science*, 13(4), 392–399. <https://doi.org/10.1080/17461391.2011.635811>



60. Duncan, M. J i Oxford, S. W. (2011). The Effect of Caffeine Ingestion on Mood State and Bench Press Performance to Failure. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(1), 178–185. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318201bddd>
61. Duncan, M.J., Lyons, M., Hankey, J. (2009). Placebo effects of caffeine on short-term resistance exercise to failure. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 4(2). 244–253. <https://doi.org/10.1123/ijsp.4.2.244>
62. Đureković, M., Komes, D., Perunović, A. L., Martinić, A., Vojvodić Cebin, A. i Šatalić, Z. (2019). Caffeine content in energy drinks: deviation of declared from analytical value. *Croatian Journal of Food Technology, Biotechnology and Nutrition*, 14(1-2), 17–23. <https://doi.org/10.31895/hcptbn.14.1-2.6>
63. Eckerson, J.M., Bull, A.J., Baechle, T.R., Fischer, C.A., O'Brien, D.C., Moore, G.A., Yee, J.C. i Pulverenti, T.S. Acute ingestion of sugar-free red bull energy drink has no effect on upper body strength and muscular endurance in resistance trained men. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(8), 2248–2254. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31827e14f2>
64. EFSA NDA Panel (EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies) (2015). Scientific Opinion on the safety of caffeine. *EFSA Journal* 2015; 13(5), 120 pp. doi:10.2903/j.efsa.2015.4102
65. Eichner, E. R. (2014). Fatal Caffeine Overdose and Other Risks from Dietary Supplements. *Current Sports Medicine Reports*, 13(6), 353–354. <https://doi.org/10.1249/jsr.0000000000000094>
66. El Yacoubi, M., Ledent, C., Parmentier, M., Costentin, J. i Vaugeois, J. M. (2000). The anxiogenic-like effect of caffeine in two experimental procedures measuring anxiety in the mouse is not shared by selective A<sub>2A</sub> adenosine receptor antagonists. *Psychopharmacology*, 148(2), 153–163. <https://doi.org/10.1007/s002130050037>
67. Ellis, M., Noon, M., Myers, T. i Clarke, N. (2019). Low Doses of Caffeine:

Enhancement of Physical Performance in Elite Adolescent Male Soccer Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(5), 569–575.  
<https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0536>

68. Endo, M. (1977). Calcium release from the sarcoplasmic reticulum. *Physiological Reviews*, 57(1), 71–108. <https://doi.org/10.1152/physrev.1977.57.1.71>
69. Evans, M., Tierney, P., Gray, N., Hawe, G., Macken, M. i Egan, B. (2018). Acute ingestion of caffeinated chewing gum improves repeated sprint performance of team sports athletes with low habitual caffeine consumption. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 28(3), 221–227.  
<https://doi.org/10.1123/ijsnem.2017-0217>
70. Fenster, L., Quale, C., Hiatt, R. A., Wilson, M., Windham, G. C. i Benowitz, N. L. (1998). Rate of caffeine metabolism and risk of spontaneous abortion. *American Journal of Epidemiology*, 147(5), 503–510.  
<https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aje.a009477>
71. Fernandes, A. L., Lopes-Silva, J. P., Bertuzzi, R., Casarini, D. E., Arita, D. Y., Bishop, D. J., i Lima-Silva, A. E. (2014). Effect of Time of Day on Performance, Hormonal and Metabolic Response during a 1000-M Cycling Time Trial. *PLOS ONE*, 9(10), e109954. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0109954>
72. Ferré, S., Fuxe, K., B. Fredholm, B., Morelli, M. i Popoli, P. (1997). Adenosine–dopamine receptor–receptor interactions as an integrative mechanism in the basal ganglia. *Trends in Neurosciences*, 20(10), 482–487. [https://doi.org/10.1016/S0166-2236\(97\)01096-5](https://doi.org/10.1016/S0166-2236(97)01096-5)
73. Fitt, E., Pell, D. i Cole, D. (2013). Assessing caffeine intake in the United Kingdom diet. *Food Chemistry*, 140(3), 421–426.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.07.092>
74. Foltz, E., Ivy, A. C. i Barborka, C. J. (1942a). The influence of amphetamin (benzedrine) sulfate, d-deoxyephedrine hydrochloride (pervitin), and caffeine upon

work output and recovery when rapidly exhausting work is done by trained subjects. *Journal of Laboratory and Clinical Medicine*, 28(1), 603–606.

75. Foltz, E., Ivy, A. C. i Barboroka, C. J. (1942b). The influence of amphetamine (benzedrine) sulphate and caffeine on the performance of rapidly exhausting work by untrained subjects. *Journal of Laboratory and Clinical Medicine*, 28(1), 601–603.
76. Foltz, E., Ivy, A. C. i Barboroka, C. J. (1942c). The use of double work periods in the study of fatigue and influence of caffeine on recovery. *American Journal of Physiology-Legacy Content*, 136(1), 79–86.  
<https://doi.org/10.1152/ajplegacy.1942.136.1.79>
77. Foskett, A., Ali, A. i Gant, N. (2009). Caffeine enhances cognitive function and skill performance during simulated soccer activity. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 19(4), 410–423. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.19.4.410>
78. Fredholm, B. B., Bättig, K., Holmén, J., Nehlig, A. i Zvartau, E. E. (1999). Actions of caffeine in the brain with special reference to factors that contribute to its widespread use. *Pharmacological Reviews*, 51(1), 83–133. Preuzeto s:  
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10049999>
79. Fredholm, B. B. (1995). Adenosine, Adenosine Receptors and the Actions of Caffeine. *Pharmacology & Toxicology*, 76(2), 93–101. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0773.1995.tb00111.x>
80. Fulgoni, V. L., Keast, D. R. i Lieberman, H. R. (2015). Trends in intake and sources of caffeine in the diets of US adults: 2001–2010. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 101(5), 1081–1087. <https://doi.org/10.3945/ajcn.113.080077>
81. Fulton, J., Dinas, P., Carrillo, A., Edsall, J., Ryan, E. i Ryan, E. (2018). Impact of genetic variability on physiological responses to caffeine in humans: a systematic review. *Nutrients*, 10(10), 1373 <https://doi.org/10.3390/nu10101373>
82. Ganio, M. S., Johnson, E. C., Lopez, R. M., Stearns, R. L., Emmanuel, H., Anderson,

- J. M., Casa, D.J., Maresh, C.M., Volek, J.S. i Armstrong, L. E. (2011). Caffeine lowers muscle pain during exercise in hot but not cool environments. *Physiology & Behavior*, *102*(3–4), 429–435. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2010.12.005>
83. Ganslen, R. V, Balke, B., Nagle, F. J. i Phillips, E. E. (1964). Effects of some tranquilizing, analeptic and vasodilating drugs on physical work capacity and orthostatic tolerance. *Aerospace Medicine*, *35*, 630–633. Preuzeto s: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14179389>
84. Gaspardone, A., Crea, F., Tomai, F., Versaci, F., Iamele, M., Gioffrè, G., Chiariello, L. i Gioffrè, P. A. (1995). Muscular and cardiac adenosine-induced pain is mediated by A1receptors. *Journal of the American College of Cardiology*, *25*(1), 251–257. [https://doi.org/10.1016/0735-1097\(94\)00352-Q](https://doi.org/10.1016/0735-1097(94)00352-Q)
85. Giersch, G. E. W., Boyett, J. C., Hargens, T. A., Luden, N. D., Saunders, M. J., Daley, H., Hughey, C.A., El-Soheymy, A. i Womack, C. J. (2018). The Effect of the CYP1A2 –163 C > A Polymorphism on Caffeine Metabolism and Subsequent Cycling Performance. *Journal of Caffeine and Adenosine Research*, *8*(2), 65–70. <https://doi.org/10.1089/caff.2017.0028>
86. Glaister, M., Muniz-Pumares, D., Patterson, S. D., Foley, P. i McInnes, G. (2015). Caffeine supplementation and peak anaerobic power output. *European Journal of Sport Science*, *15*(5), 400–406. <https://doi.org/10.1080/17461391.2014.962619>
87. Glaister, M., Patterson, S. D., Foley, P., Pedlar, C. R., Pattison, J. R. i McInnes, G. (2012) Caffeine and Sprinting Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *26*(4), 1001–1005. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31822ba300>
88. Gliottoni, R. C., Meyers, J. R., Arngrímsson, S. Á., Broglio, S. P. i Motl, R. W. (2009). Effect of Caffeine on Quadriceps Muscle Pain during Acute Cycling Exercise in Low versus High Caffeine Consumers. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, *19*(2), 150–161. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.19.2.150>
89. Gliottoni, R. C. i Motl, R. W. (2008). Effect of Caffeine on Leg-Muscle Pain during

Intense Cycling Exercise: Possible Role of Anxiety Sensitivity. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 18(2), 103–115.

<https://doi.org/10.1123/ijsnem.18.2.103>

90. Goldstein, E. R., Jacobs, P. L., Whitehurst, M., Penhollow, T. i Antonio, J. (2010a). Caffeine enhances upper body strength in resistance-trained women. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 7(1), 18. <https://doi.org/10.1186/1550-2783-7-18>
91. Goldstein, E. R., Ziegenfuss, T., Kalman, D., Kreider, R., Campbell, B., Wilborn, C., Taylor, L., Willoughby, D., Stout, J., Graves, B. S., Wildman, R., Ivy, J. L., Spano, M., Smith, A. E. i Antonio, J. (2010b). International society of sports nutrition position stand: caffeine and performance. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 7(1), 5. <https://doi.org/10.1186/1550-2783-7-5>
92. Gonçalves, L. De S., Painelli, V. De S., Yamaguchi, G., Oliveira, L. F. De, Saunders, B., Da Silva, R. P., Maciel, E., Artioli, G.G., Roschel, H. i Gualano, B. (2017). Dispelling the myth that habitual caffeine consumption influences the performance response to acute caffeine supplementation. *Journal of Applied Physiology*, 123(1), 213–220. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00260.2017>
93. Graham, T. E. i Spriet, L. L. (1995). Metabolic, catecholamine, and exercise performance responses to various doses of caffeine. *Journal of Applied Physiology* 78(3), 867-874. <https://doi.org/10.1152/jappl.1995.78.3.867>
94. Graham, T. E. (2001). Caffeine and Exercise. *Sports Medicine*, 31(11), 785–807. <https://doi.org/10.2165/00007256-200131110-00002>
95. Green, J. M., Wickwire, P. J., McLester, J. R., Gendle, S., Hudson, G., Pritchett, R. C. i Laurent, C. M. (2007). Effects of Caffeine on Repetitions to Failure and Ratings of Perceived Exertion During Resistance Training. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2(3), 250–259. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2.3.250>
96. Greenberg, J. A., Dunbar, C. C., Schnoll, R., Kokolis, R., Kokolis, S. i Kassotis, J.

- (2007). Caffeinated beverage intake and the risk of heart disease mortality in the elderly: a prospective analysis. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 85(2), 392–398. <https://doi.org/10.1093/ajcn/85.2.392>
97. Grgic, J., Trexler, E. T., Lazinica, B. i Pedisic, Z. (2018a). Effects of caffeine intake on muscle strength and power: a systematic review and meta-analysis. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 15(1), 11. <https://doi.org/10.1186/s12970-018-0216-0>
98. Grgic, J. (2018b). Caffeine ingestion enhances Wingate performance: a meta-analysis. *European Journal of Sport Science*, 18(2), 219–225. <https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1394371>
99. Grgic, J. (2018c). Are There Non-Responders to the Ergogenic Effects of Caffeine Ingestion on Exercise Performance? *Nutrients*, 10(11), 1736. <https://doi.org/10.3390/nu10111736>
100. Grgic, J., Grgic, I., Pickering, C., Schoenfeld, B. J., Bishop, D. J. i Pedisic, Z. (2019a). Wake up and smell the coffee: caffeine supplementation and exercise performance—an umbrella review of 21 published meta-analyses. *British Journal of Sports Medicine*, bjsports-2018-100278. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-100278>
101. Grgic, J., Mikulic, P., Schoenfeld, B. J., Bishop, D. J. i Pedisic, Z. (2019b). The Influence of Caffeine Supplementation on Resistance Exercise: A Review. *Sports Medicine*, 49(1), 17–30. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0997-y>
102. Grgic, J., Sabol, F., Venier, S., Tallis, J., Schoenfeld, B. J., Coso, J. Del, i Mikulic, P. (2019c). Caffeine Supplementation for Powerlifting Competitions: an Evidence-Based Approach. *Journal of Human Kinetics*, 68(1), 37–48. <https://doi.org/10.2478/hukin-2019-0054>
103. Grgic, J. i Pickering, C. (2019). The effects of caffeine ingestion on isokinetic muscular strength: A meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 22(3), 353–360. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2018.08.016>

104. Grgic, J. i Mikulic, P. (2017). Caffeine ingestion acutely enhances muscular strength and power but not muscular endurance in resistance-trained men. *European Journal of Sport Science*, 17(8), 1029–1036. <https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1330362>
105. Grgic, J. i Mikulic, P. (2020). Acute effects of caffeine supplementation on resistance exercise, jumping, and Wingate performance: no influence of habitual caffeine intake, *European Journal of Sport Science*. <https://doi.org/10.1080/17461391.2020.1817155>
106. Grgic, J., Pickering, C., Bishop, D. J., Del Coso, J., Schoenfeld, B. J., Tinsley, G. M. i Pedisic, Z. (2020a). ADORA2A C Allele Carriers Exhibit Ergogenic Responses to Caffeine Supplementation. *Nutrients*, 12(3), 741. <https://doi.org/10.3390/nu12030741>
107. Grgić, J., Venier, S. i Mikulić, P. (2020b). Both Caffeine and Placebo Improve Vertical Jump Performance Compared With a Nonsupplemented Control Condition. *International journal of sports physiology and performance*. Ahead of print, 1-4 <https://doi.org/10.1123/ijsp.2019-1028>
108. Grosso, G., Godos, J., Galvano, F. i Giovannucci, E. L. (2017). Coffee, Caffeine, and Health Outcomes: An Umbrella Review. *Annual Review of Nutrition*, 37(1), 131–156. <https://doi.org/10.1146/annurev-nutr-071816-064941>
109. Gu, L., Gonzalez, F. J., Kalow, W. i Tang, B. K. (1992). Biotransformation of caffeine, paraxanthine, theobromine and theophylline by cDNA-expressed human CYP1A2 and CYP2E1. *Pharmacogenetics*, 2(2), 73–77. <https://doi.org/10.1097/00008571-199204000-00004>
110. Guest, N., Corey, P., Vescovi, J. i El-Sohemy, A. (2018). Caffeine, CYP1A2 Genotype, and Endurance Performance in Athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 50(8), 1570–1578. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001596>
111. Haghbir, H., Mokhber, N., Azarpazhooh, M. R., Haghghi, M. B. i Radmard M. (2013). World Health Organization. The ICD-10 Classification of Mental and Behavioural

- Disorders. *IACAPAP E-Textbook of Child and Adolescent Mental Health*, 55(1993), 135–139. <https://doi.org/10.4103/0019>
112. Haldi, J., Bachmann, G., Ensor, C. i Wynn, W. (1941). The Effect of Various Amounts of Caffeine on the Gaseous Exchange and the Respiratory Quotient in Man. *The Journal of Nutrition*, 21(3), 307–320. <https://doi.org/10.1093/jn/21.3.307>
113. Haskell, C. F., Kennedy, D. O., Wesnes, K. A. i Scholey, A. B. (2005). Cognitive and mood improvements of caffeine in habitual consumers and habitual non-consumers of caffeine. *Psychopharmacology*, 179(4), 813–825. <https://doi.org/10.1007/s00213-004-2104-3>
114. Heckman, M. A., Weil, J. i De Mejia, E. G. (2010). Caffeine (1, 3, 7-trimethylxanthine) in Foods: A Comprehensive Review on Consumption, Functionality, Safety, and Regulatory Matters. *Journal of Food Science*, 75(3), R77–R87. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01561.x>
115. Higgins, J. P. i Babu, K. M. (2013). Caffeine Reduces Myocardial Blood Flow During Exercise. *The American Journal of Medicine*, 126(8), 730.e1-730.e8. <https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2012.12.023>
116. Higgins, J. P., Tuttle, T. D. i Higgins, C. L. (2010). Energy beverages: Content and safety. *Mayo Clinic Proceedings*, 85(11), 1033–1041. <https://doi.org/10.4065/mcp.2010.0381>
117. Hogervorst, E., Bandelow, S., Schmitt, J., Jentjens, R., Oliveira, M., Allgrove, J., Carter, T. i Glesson, M. (2008). Caffeine Improves Physical and Cognitive Performance during Exhaustive Exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 40(10), 1841–1851. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31817bb8b7>
118. Holtzman, S. G., Mante, S. i Minneman, K. P. (1991). Role of adenosine receptors in caffeine tolerance. *The Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*, 256(1), 62–68. Preuzeto s: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1846425>



119. Hudson, G. M., Green, J. M., Bishop, P. A. i Richardson, M. T. (2008). Effects of Caffeine and Aspirin on Light Resistance Training Performance, Perceived Exertion, and Pain Perception. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(6), 1950–1957. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31818219cb>
120. Irwin, C., Desbrow, B., Ellis, A., O’Keeffe, B., Grant, G. i Leveritt, M. (2011). Caffeine withdrawal and high-intensity endurance cycling performance. *Journal of Sports Sciences*, 29(5), 509–515. <https://doi.org/10.1080/02640414.2010.541480>
121. Jackman, M., Wendling, P., Friars, D. i Graham, T. E. (1996). Metabolic, catecholamine, and endurance responses to caffeine during intense exercise. *Journal of Applied Physiology*, 81(4), 1658–1663. <https://doi.org/10.1152/jappl.1996.81.4.1658>
122. James, J. E. i Rogers, P. J. (2005). Effects of caffeine on performance and mood: withdrawal reversal is the most plausible explanation. *Psychopharmacology*, 182(1), 1–8. <https://doi.org/10.1007/s00213-005-0084-6>
123. Jenkins, N. T., Trilk, J. L., Singhal, A., O’Connor, P. J. i Cureton, K. J. (2008). Ergogenic Effects of Low Doses of Caffeine on Cycling Performance. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 18(3), 328–342. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.18.3.328>
124. Jordan, B.J., Farley, R.S. i Caputo, J.L. (2012). Caffeine and sprint performance in habitual and caffeine naïve participants. *International Journal of Exercise Science*. 5(1), 50–59. <https://digitalcommons.wku.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1320&context=ijes>
125. Kalow, W. i Tang, B.-K. (1991). Caffeine as a metabolic probe: Exploration of the enzyme-inducing effect of cigarette smoking. *Clinical Pharmacology and Therapeutics*, 49(1), 44–48. <https://doi.org/10.1038/clpt.1991.8>
126. Kaplan, G. B., Greenblatt, D. J., Kent, M. A. i Cotreau-Bibbo, M. M. (1993). Caffeine treatment and withdrawal in mice: relationships between dosage, concentrations,

- locomotor activity and A1 adenosine receptor binding. *The Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*, 266(3), 1563–1572. Preuzeto s:  
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8371158>
127. Kell, R. T., Bell, G. i Quinney, A. (2001). Musculoskeletal Fitness, Health Outcomes and Quality of Life. *Sports Medicine*, 31(12), 863–873.  
<https://doi.org/10.2165/00007256-200131120-00003>
128. Klein, C. S., Clawson, A., Martin, M., Saunders, M. J., Flohr, J. A., Bechtel, M. K., Dunham, W., Hancock, M. i Womack, C. J. (2012). The Effect of Caffeine on Performance in Collegiate Tennis Players. *Journal of Caffeine Research*, 2(3), 111–116. <https://doi.org/10.1089/jcr.2012.0019>
129. Kovacs, E. M. R., Stegen, J. H. C. H. i Brouns, F. (1998). Effect of caffeinated drinks on substrate metabolism, caffeine excretion, and performance. *Journal of Applied Physiology*, 85(2), 709–715. <https://doi.org/10.1152/jappl.1998.85.2.709>
130. Krings, B. M., Rountree, J. A., McAllister, M. J., Cummings, P. M., Peterson, T. J., Fountain, B. J. i Smith, J. W. (2016). Effects of acute carbohydrate ingestion on anaerobic exercise performance. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 13, 40. <https://doi.org/10.1186/s12970-016-0152-9>
131. Lagarde, D., Chappuis, B., Billaud, P. F., Ramont, L., Chauffard, F. i French, J. (2001). Evaluation of pharmacological aids on physical performance after a transmeridian flight. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 628–634.  
<https://doi.org/10.1097/00005768-200104000-00018>
132. Lane, S. C., Hawley, J. A., Desbrow, B., Jones, A. M., Blackwell, J. R., Ross, M. L., Zemski, A.J. i Burke, L. M. (2014). Single and combined effects of beetroot juice and caffeine supplementation on cycling time trial performance. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 39(9), 1050–1057. <https://doi.org/10.1139/apnm-2013-0336>

133. Langfort, J., Budohoski, L., Dubaniewicz, A., Challiss, R. A. J. i Newsholme, E. A. (1993). Exercise-Induced Improvement in the Sensitivity of the Rat Soleus Muscle to Insulin Is Reversed by Chloroadenosine-The Adenosine Receptor Agonist. *Biochemical Medicine and Metabolic Biology*, 50(1), 18–23.  
<https://doi.org/10.1006/bmmb.1993.1043>
134. Lara, B., Ruiz-Moreno, C., Salinero, J. J. i Del Coso, J. (2019). Time course of tolerance to the performance benefits of caffeine. *PLOS ONE*, 14(1), e0210275.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0210275>
135. Leathwood, P. D. i Pollet, P. (1982). Diet-induced mood changes in normal populations. *Journal of Psychiatric Research*, 17(2), 147–154.  
[https://doi.org/10.1016/0022-3956\(82\)90016-4](https://doi.org/10.1016/0022-3956(82)90016-4)
136. Levinger, I., Goodman, C., Hare, D. L., Jerums, G., Toia, D. i Selig, S. (2009). The reliability of the 1RM strength test for untrained middle-aged individuals. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12(2), 310–316.  
<https://doi.org/10.1016/j.jsams.2007.10.007>
137. Lopes-Silva, J. P., Santos, J. F. Da S. i Franchini, E. (2019). Can caffeine supplementation reverse the effect of time of day on repeated-sprint exercise performance? *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 44(2), 187–193.  
<https://doi.org/10.1139/apnm-2018-0373>
138. Mandel, H. G. (2002). Update on caffeine consumption, disposition and action. *Food and Chemical Toxicology*, 40(9), 1231–1234. [https://doi.org/10.1016/S0278-6915\(02\)00093-5](https://doi.org/10.1016/S0278-6915(02)00093-5)
139. Margaria, R., Aghemo, P. i Rovelli, E. (1964). The effect of some drugs on the maximal capacity of athletic performance in man. *Internationale Zeitschrift Für Angewandte Physiologie Einschließlich Arbeitsphysiologie*, 20(4), 281–287.  
<https://doi.org/10.1007/BF00697020>
140. Maridakis, V., O'Connor, P. J., Dudley, G. A. i McCully, K. K. (2007). Caffeine

- Attenuates Delayed-Onset Muscle Pain and Force Loss Following Eccentric Exercise. *The Journal of Pain*, 8(3), 237–243. <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2006.08.006>
141. Markovic, G. (2007). Does plyometric training improve vertical jump height? A meta-analytical review. *British Journal of Sports Medicine*, 41(6), 349–355. <https://doi.org/10.1136/bjism.2007.035113>
142. Marshall, J. M. (2007). The roles of adenosine and related substances in exercise hyperaemia. *The Journal of Physiology*, 583(3), 835–845. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2007.136416>
143. Martin, J. (2015). *Does Caffeine ingestion prior to high intensity exercise act as an ergogenic aid in sporting performance in male athletes?* PhD. Cardiff School of Sport.
144. Martinez, N., Campbell, B., Franek, M., Buchanan, L. i Colquhoun, R. (2016). The effect of acute pre-workout supplementation on power and strength performance. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 13(1), 29. <https://doi.org/10.1186/s12970-016-0138-7>
145. McCusker, R. R., Goldberger, B. A. i Cone, E. J. (2003). Caffeine content of specialty coffees. *Journal of Analytical Toxicology*, 27(7), 520–522. <https://doi.org/10.1093/jat/27.7.520>
146. McLellan, T. M., Caldwell, J. A. i Lieberman, H. R. (2016). A review of caffeine's effects on cognitive, physical and occupational performance. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 71, 294–312. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.09.001>
147. Mcleod, J. C., Stokes, T. iPhillips, S. M. (2019). Resistance Exercise Training as a Primary Countermeasure to Age-Related Chronic Disease. *Frontiers in Physiology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00645>
148. Mora-Rodríguez, R., Pallarés, J. G., López-Gullón, J. M., López-Samanes, Á., Fernández-Elías, V. E. i Ortega, J. F. (2015). Improvements on neuromuscular

- performance with caffeine ingestion depend on the time-of-day. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 18(3), 338–342. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2014.04.010>
149. Morelli, M. i Simola, N. (2011). Methylxanthines and Drug Dependence: A Focus on Interactions with Substances of Abuse, 200, 483–507. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-13443-2\\_20](https://doi.org/10.1007/978-3-642-13443-2_20)
150. Morin, J. B., Jiménez-Reyes, P., Brughelli, M. i Samozino, P. (2019). When Jump Height is not a Good Indicator of Lower Limb Maximal Power Output: Theoretical Demonstration, Experimental Evidence and Practical Solutions. *Sports Medicine*, 49(7), 999–1006. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01073-1>
151. Motl, R. W., O'Connor, P. J., Tubandt, L., Puetz, T. i Ely, M. R. (2006). Effect of Caffeine on Leg Muscle Pain during Cycling Exercise among Females. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 38(3), 598–604. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000193558.70995.03>
152. Nehlig, A. (2010). Is Caffeine a Cognitive Enhancer? *Journal of Alzheimer's Disease*, 20(1), 85–94. <https://doi.org/10.3233/JAD-2010-091315>
153. Newton, R. U., Kraemer, W. J., Häkkinen, K., Humphries, B. J. i Murphy, A. J. (1996). Kinematics, Kinetics, and Muscle Activation during Explosive Upper Body Movements. *Journal of Applied Biomechanics*, 12(1), 31–43. <https://doi.org/10.1123/jab.12.1.31>
154. Niseteo, T., Komes, D., Belščak-Cvitanović, A., Horžić, D. i Budeč, M. (2012). Bioactive composition and antioxidant potential of different commonly consumed coffee brews affected by their preparation technique and milk addition. *Food Chemistry*, 134(4), 1870–1877. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.03.095>
155. Osswald, H. i Schnermann, J. (2011). Methylxanthines and the Kidney. *Handbook of Experimental Pharmacology*, 200, 391–412. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-13443-2\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-642-13443-2_15)

156. O'Connor, P. J., Motl, R. W., Broglio, S. P. i Ely, M. R. (2004). Dose-dependent effect of caffeine on reducing leg muscle pain during cycling exercise is unrelated to systolic blood pressure. *Pain*, *109*(3), 291–298.  
<https://doi.org/10.1016/j.pain.2004.01.017>
157. Pallarés, J. G., Fernández-Eliás, V. E., Ortega, J. F., Muñoz, G., Muñoz-Guerra, J. i Mora-Rodríguez, R. (2013). Neuromuscular Responses to Incremental Caffeine Doses: Performance and Side Effects. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *45*(11). Preuzeto s: [https://journals.lww.com/acsm-msse/Fulltext/2013/11000/Neuromuscular\\_Responses\\_to\\_Incremental\\_Caffeine.21.aspx](https://journals.lww.com/acsm-msse/Fulltext/2013/11000/Neuromuscular_Responses_to_Incremental_Caffeine.21.aspx)
158. Parsons, W. D. i Neims, A. H. (1978). Effect of smoking on caffeine clearance. *Clinical Pharmacology & Therapeutics*, *24*(1), 40–45.  
<https://doi.org/10.1002/cpt197824140>
159. Pasma, W., Van Baak, M., Jeukendrup, A. i De Haan, A. (1995). The Effect of Different Dosages of Caffeine on Endurance Performance Time. *International Journal of Sports Medicine*, *16*(4), 225–230. <https://doi.org/10.1055/s-2007-972996>
160. Pataky, M. W., Womack, C. J., Saunders, M. J., Goffe, J. L., D'Lugos, A. C., El-Sohemy, A. i Luden, N. D. (2016). Caffeine and 3-km cycling performance: Effects of mouth rinsing, genotype, and time of day. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, *26*(6), 613–619. <https://doi.org/10.1111/sms.12501>
161. Pedersen, D. J., Lessard, S. J., Coffey, V. G., Churchley, E. G., Wootton, A. M., Ng, T., Watt, M.J. i Hawley, J. A. (2008). High rates of muscle glycogen resynthesis after exhaustive exercise when carbohydrate is coingested with caffeine. *Journal of Applied Physiology*, *105*(1), 7–13. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01121.2007>
162. Pethick, J., Winter, S. L. i Burnley, M. (2018). *Caffeine ingestion attenuates fatigue-induced loss of muscle torque complexity. Medicine and Science in Sports and Exercise*, *50*(2), 236-245. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001441>

163. Pickering, C. i Grgic, J. (2019). Caffeine and Exercise: What Next? *Sports Medicine*, 49(7), 1007–1030. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01101-0>
164. Pickering, C. i Grgic, J. (2020). Authors' Reply to Painelli et al.: Comment on "Caffeine and Exercise: What Next?" *Sports Medicine*. 50, 1219-1221. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01279-8>
165. Pickering, C. i Kiely, J. (2018). Are the Current Guidelines on Caffeine Use in Sport Optimal for Everyone? Inter-individual Variation in Caffeine Ergogenicity, and a Move Towards Personalised Sports Nutrition. *Sports Medicine*, 48(1), 7–16. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0776-1>
166. Pickering, C. i Kiely, J. (2019). What Should We Do About Habitual Caffeine Use in Athletes? *Sports Medicine*, 49(6), 833–842. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0980-7>
167. Polito, M.D., Souza, D. B., Casonatto, J. i Farinatti, P. (2016). Acute effect of caffeine consumption on isotonic muscular strength and endurance: A systematic review and meta-analysis. *Science & Sports*, 31(3), 119–128. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2016.01.006>
168. Polito, M.D., Grandolfi, K. i De Souza, D. B. (2019). Caffeine and resistance exercise: the effects of two caffeine doses and the influence of individual perception of caffeine. *European Journal of Sport Science*, 19(10), 1342–1348. <https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1596166>
169. Pollo, A., Carlino, E. i Benedetti, F. (2008.) The top-down influence of ergogenic placebos on muscle work and fatigue. *European Journal of Neuroscience*, 28(2), 379-388. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2008.06344.x>
170. Puente, C., Abián-Vicén, J., Coso, J. Del, Lara, B. i Salinero, J. J. (2018). The CYP1A2 -163C>A polymorphism does not alter the effects of caffeine on basketball performance. *PLOS ONE*, 13(4), 1–14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195943>

171. Racinais, S., Perrey, S., Denis, R. i Bishop, D. (2010). Maximal power, but not fatigability, is greater during repeated sprints performed in the afternoon. *Chronobiology International*, 27(4), 855–864.  
<https://doi.org/10.3109/07420521003668412>
172. Rahimi, R. (2019). The effect of CYP1A2 genotype on the ergogenic properties of caffeine during resistance exercise: a randomized, double-blind, placebo-controlled, crossover study. *Irish Journal of Medical Science (1971 -)*, 188(1), 337–345.  
<https://doi.org/10.1007/s11845-018-1780-7>
173. Ranchordas, M. K., Pratt, H., Parsons, M., Parry, A., Boyd, C. i Lynn, A. (2019). Effect of caffeinated gum on a battery of rugby-specific tests in trained university-standard male rugby union players. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 16(1), 17. <https://doi.org/10.1186/s12970-019-0286-7>
174. Reilly, T. i Waterhouse, J. (2009). Sports performance: is there evidence that the body clock plays a role? *European Journal of Applied Physiology*, 106(3), 321–332.  
<https://doi.org/10.1007/s00421-009-1066-x>
175. Reissig, C. J., Strain, E. C. i Griffiths, R. R. (2009). Caffeinated energy drinks—A growing problem. *Drug and Alcohol Dependence*, 99(1–3), 1–10.  
<https://doi.org/10.1016/j.drugalcdep.2008.08.001>
176. Ribeiro, J. A. i Sebastião, A. M. (2010). Caffeine and Adenosine. *Journal of Alzheimer's Disease*, 20(1), 3–15. <https://doi.org/10.3233/JAD-2010-1379>
177. Rivers, W. H. R. i Webber, H. N. (1907). The action of caffeine on the capacity for muscular work. *The Journal of Physiology*, 36(1), 33–47.  
<https://doi.org/10.1113/jphysiol.1907.sp001215>
178. Robertson, D., Wade, D., Workman, R., Woosley, R. L. i Oates, J. A. (1981). Tolerance to the humoral and hemodynamic effects of caffeine in man. *Journal of Clinical Investigation*, 67(4), 1111–1117. <https://doi.org/10.1172/JCI110124>



179. Rudolph, T. i Knudsen, K. (2010). A case of fatal caffeine poisoning. *Acta Anaesthesiologica Scandinavica*, 54(4), 521–523. <https://doi.org/10.1111/j.1399-6576.2009.02201.x>
180. Rush, J. W. i Spriet, L. L. (2001). Skeletal muscle glycogen phosphorylase a kinetics: effects of adenine nucleotides and caffeine. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 91(5), 2071–2078. <https://doi.org/10.1152/jappl.2001.91.5.2071>
181. Ryan, E. J., Kim, C.H., Fickes, E. J., Williamson, M., Muller, M. D., Barkley, J. E., Gunstad, J. i Glickman, E. L. (2013). Caffeine Gum and Cycling Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(1), 259–264. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182541d03>
182. Sabblah, S., Dixon, D. i Bottoms, L. (2015). Sex differences on the acute effects of caffeine on maximal strength and muscular endurance. *Comparative Exercise Physiology*, 11(2), 89–94. <https://doi.org/10.3920/CEP150010>
183. Sachse, C., Brockmüller, J., Bauer, S. i Roots, I. (1999). Functional significance of a C→A polymorphism in intron 1 of the cytochrome P450 CYP1A2 gene tested with caffeine. *British Journal of Clinical Pharmacology*, 47(4), 445–449. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2125.1999.00898.x>
184. Salinero, J. J., Lara, B., Ruiz-Vicente, D., Areces, F., Puente-Torres, C., Gallo-Salazar, C., Pascual, T. i Del Coso, J. (2017). CYP1A2 genotype variations do not modify the benefits and drawbacks of caffeine during exercise: A pilot study. *Nutrients*, 9(3), 1–12. <https://doi.org/10.3390/nu9030269>
185. Saunders, B., De Oliveira, L. F., Da Silva, R. P., De Salles Painelli, V., Gonçalves, L. S., Yamaguchi, G., Mutti, T., Maciel, E., Roschel, H., Artioli, G.G. i Gualano, B. (2017). Placebo in sports nutrition: a proof-of-principle study involving caffeine supplementation. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 27(11), 1240–1247. <https://doi.org/10.1111/sms.12793>
186. Saunders, M. J., Sweeney, K. A., Luden, N. D. i Womack, C. J. (2018). Caffeine

- Mouth Rinsing in the Fed State Does Not Enhance 3-km Cycling Performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 50, 596.  
<https://doi.org/10.1249/01.mss.0000537053.69455.69>
187. Sawyer, D. A., Julia, H. L. i Turin, A. C. (1982). Caffeine and human behavior: Arousal, anxiety, and performance effects. *Journal of Behavioral Medicine*, 5(4), 415–439. <https://doi.org/10.1007/BF00845371>
188. Sawynok, J. (1998). Adenosine receptor activation and nociception. *European Journal of Pharmacology*, 347(1), 1–11. [https://doi.org/10.1016/S0014-2999\(97\)01605-1](https://doi.org/10.1016/S0014-2999(97)01605-1)
189. Schneiker, K. T., Bishop, D., Dawson, B. i Hackett, L. P. (2006). Effects of Caffeine on Prolonged Intermittent-Sprint Ability in Team-Sport Athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 38(3), 578–585.  
<https://doi.org/10.1249/01.mss.0000188449.18968.62>
190. Schoenfeld, B. J., Pope, Z. K., Benik, F. M., Hester, G. M., Sellers, J., Nooner, J. L., Schnaiter, J.A., Bond-Williams, K.E., Carter, A.S., Ross, C.L., Just, B.L., Henselmans, M. i Krieger, J. W. (2016). Longer Interset Rest Periods Enhance Muscle Strength and Hypertrophy in Resistance-Trained Men. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(7), 1805–1812.  
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001272>
191. Shield, A. i Zhou, S. (2004). Assessing Voluntary Muscle Activation with the Twitch Interpolation Technique. *Sports Medicine*, 34(4), 253–267.  
<https://doi.org/10.2165/00007256-200434040-00005>
192. Smits, P., Boekema, P., Abreu, R. De, Thien, T. i Van't Laar, A. (1987). Evidence for an Antagonism Between Caffeine and Adenosine in the Human Cardiovascular System. *Journal of Cardiovascular Pharmacology*, 10(2), 136–143.  
<https://doi.org/10.1097/00005344-198708000-00002>

193. Southward, K., Rutherford-Markwick, K., Badenhorst, C. i Ali A. (2018). The role of genetics in moderating the inter-individual differences in the ergogenicity of caffeine. *Nutrients*, *10*(10), 1352. <https://doi.org/10.3390/nu10101352>
194. Spriet, L. L., MacLean, D. A., Dyck, D. J., Hultman, E., Cederblad, G. i Graham, T. E. (1992). Caffeine ingestion and muscle metabolism during prolonged exercise in humans. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, *262*(6), 891–898. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.1992.262.6.E891>
195. Spriet, Lawrence L. (2014). Exercise and Sport Performance with Low Doses of Caffeine. *Sports Medicine*, *44*(2), 175–184. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0257-8>
196. Stadheim, H. K., Spencer, M., Olsen, R. i Jensen, J. (2014). Caffeine and Performance over Consecutive Days of Simulated Competition. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *46*(9), 1787–1796. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000288>
197. Stallings, V. A. i Yaktine A. L. (2007). *Nutrition Standards for Foods in Schools: Leading the Way Toward Healthier Youth*. (V. A. Stallings & A. L. Yaktine, Eds.). Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/11899>
198. Stavric, B. (1988). Methylxanthines: Toxicity to humans. 1. Theophylline. *Food and Chemical Toxicology*, *26*(6), 541–565. [https://doi.org/10.1016/0278-6915\(88\)90007-5](https://doi.org/10.1016/0278-6915(88)90007-5)
199. Supinski, G. S., Deal, E. C. i Kelsen, S. G. (1984). The effects of caffeine and theophylline on diaphragm contractility. *The American Review of Respiratory Disease*, *130*(3), 429–433. <https://doi.org/10.1164/arrd.1984.130.3.429>
200. Svenningsson, P., Nomikos, G. G. i Fredholm, B. B. (1999). The stimulatory action and the development of tolerance to caffeine is associated with alterations in gene expression in specific brain regions. *The Journal of Neuroscience : The Official Journal of the Society for Neuroscience*, *19*(10), 4011–4022. Preuzeto s: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10234030>

201. Tallis, J., James, R. S., Cox, V. M. i Duncan, M. J. (2012). The effect of physiological concentrations of caffeine on the power output of maximally and submaximally stimulated mouse EDL (fast) and soleus (slow) muscle. *Journal of Applied Physiology*, 112(1), 64–71. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00801.2011>
202. Tallis, J. i Yavuz, H. C. M. (2018). The effects of low and moderate doses of caffeine supplementation on upper and lower body maximal voluntary concentric and eccentric muscle force. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 43(3), 274–281. <https://doi.org/10.1139/apnm-2017-0370>
203. Tarnopolsky, M. i Cupido C. (2000). Caffeine potentiates low frequency skeletal muscle force in habitual and nonhabitual caffeine consumers. *Journal of Applied Physiology*, 89(5), 1719-1724. <https://doi.org/10.1152/jappl.2000.89.5.1719>
204. Tarnopolsky M. (2008) Effect of caffeine on the neuromuscular system-potential as an ergogenic aid. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. 33(6), 1284–1289. <https://doi.org/10.1139/H08-121>
205. Temple, J. L., Bernard, C., Lipshultz, S. E., Czachor, J. D., Westphal, J. A. i Mestre i M. A. (2017). The Safety of Ingested Caffeine: A Comprehensive Review. *Frontiers in Psychiatry*, 8, 1–19. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2017.00080>
206. Thornton, G. R., Holck, H. G. O. i Smith, E. L. (1939). The effect of benzedrine and caffeine upon performance in certain psychomotor tasks. *The Journal of Abnormal and Social Psychology*, 34(1), 96–113. <https://doi.org/10.1037/h0062063>
207. Trevino, M. A., Coburn, J. W., Brown, L. E., Judelson, D. A. i Malek, M. H. (2015). Acute Effects of Caffeine on Strength and Muscle Activation of the Elbow Flexors. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(2), 513–520. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000625>
208. Turnbull, D., Rodricks, J. V., Mariano, G. F. i Chowdhury, F. (2017). Caffeine and cardiovascular health. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 89, 165–185. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2017.07.025>

209. Van Soeren, M. H. i Graham, T. E. (1998). Effect of caffeine on metabolism, exercise endurance, and catecholamine responses after withdrawal. *Journal of Applied Physiology*, 85(4), 1493–1501. <https://doi.org/10.1152/jappl.1998.85.4.1493>
210. Venier, S., Grgic, J. i Mikulic, P. (2019a). Acute Enhancement of Jump Performance, Muscle Strength, and Power in Resistance-Trained Men After Consumption of Caffeinated Chewing Gum. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(10), 1415–1421. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2019-0098>
211. Venier, S., Grgic, J. i Mikulic, P. (2019b). Caffeinated Gel Ingestion Enhances Jump Performance, Muscle Strength, and Power in Trained Men. *Nutrients*, 11(4), 937. <https://doi.org/10.3390/nu11040937>
212. Verster, J. C. i Koenig, J. (2018). Caffeine intake and its sources: A review of national representative studies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(8), 1250–1259. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1247252>
213. Warren, G. L., Park, N. D., Maresca, R. D., McKibans, K. I. i Millard-Stafford, M. L. (2010). Effect of caffeine ingestion on muscular strength and endurance: A meta-analysis. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42(7), 1375–1387. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181cabb8>
214. Wickham, K. A. i Spriet, L. L. (2018). Administration of Caffeine in Alternate Forms. *Sports Medicine*, 48(1), 79–91. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0848-2>
215. Wilk, M., Filip, A., Krzysztofik, M., Gepfert, M., Zajac, A. i Del Coso, J. (2020). Acute Caffeine Intake Enhances Mean Power Output and Bar Velocity during the Bench Press Throw in Athletes Habituated to Caffeine. *Nutrients*, 12(2), 406. <https://doi.org/10.3390/nu12020406>
216. Wilk, M., Krzysztofik, M., Filip, A., Zajac, A. i Del Coso, J. (2019a). The Effects of High Doses of Caffeine on Maximal Strength and Muscular Endurance in Athletes Habituated to Caffeine. *Nutrients*, 11(8), 1912. <https://doi.org/10.3390/nu11081912>

217. Wilk, M., Krzysztofik, M., Filip, A., Zajac, A. i Del Coso, J. (2019b). Correction: Wilk et al. "The Effects of High Doses of Caffeine on Maximal Strength and Muscular Endurance in Athletes Habituated to Caffeine" *Nutrients*, 2019, 11(8), 1912. *Nutrients*, 11(11), 2660. <https://doi.org/10.3390/nu11112660>
218. Williams, A., Cribb, P., Cooke, M. i Hayes, A. (2008). The effect of ephedra and caffeine on maximal strength and power in resistance-trained athletes. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(2), 464–470. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181660320>
219. Womack, C. J., Saunders, M. J., Bechtel, M. K., Bolton, D. J., Martin, M., Luden, Dunham, W. i Hancock, M. (2012). The influence of a CYP1A2 polymorphism on the ergogenic effects of caffeine. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 9(1), 7. <https://doi.org/10.1186/1550-2783-9-7>
220. Woolf, K., Bidwell, W. K. i Carlson, A. G. (2008). The Effect of Caffeine as an Ergogenic Aid in Anaerobic Exercise. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 18(4), 412–429. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.18.4.412>
221. Woolf, K., Bidwell, W. K. i Carlson, A. G. (2009). Effect of Caffeine as an Ergogenic Aid During Anaerobic Exercise Performance in Caffeine Naïve Collegiate Football Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(5), 1363–1369. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181b3393b>
222. Zehr, E. P. i Sale, D. G. (1994). Ballistic Movement: Muscle Activation and Neuromuscular Adaptation. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 19(4), 363–378. <https://doi.org/10.1139/h94-030>

## 10. PRILOZI

### PRILOG 1: UPITNIK ZA PROCJENU HABITUALNOG UNOSA KOFEINA




#### Upitnik o unosu kofeina

Htjeli bismo znati koliki je Vaš unos kofeina  
 Molimo naznačite u tablici koliko ste od navedenog unosili/popili:  
 Molimo označite crticom u kućicu/rubriku za svaku šalicu ili čašu

#### VELIČINE SERVIRANJA:

| Mala šalica za espresso<br>60 ml  | Mala šalica<br>150 ml   | Velika šalica<br>250 ml   | Mala čaša<br>150 ml   | Velika čaša<br>250 ml   | Energetski napitak –<br>limenka 250 ml  | Energetski napitak –<br>limenka 500 ml  | Energetski „shot“, posudica<br>60 ml  | Čokolada,<br>rebro<br>20g   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |






















#### Na primjer:

|         | KAVA  |  |   |   |
|---------|---|--|---|---|
|         | TURSKA<br>KAVA  |  | COLA  | ČOKOLADA  |
|         |  |  |  |  |
| Doručak | I   |  |   |   |
| Ručak   |   |  | II  |   |
|         |   |  |   | III   |

*Istraživanje: Akutni utjecaj kofeina na mišićnu jakost, izdržljivost i snagu (Grgić, J., Mikulić, P., Sabol, F., Bratković, N.)*

## Upitnik o unosu kofeina

### VELIČINE SERVIRANJA:

|                                    | KAVA  |   | BEZKOFEINSKA KAVA   |   | ESPRESSO  | TURSKA KAVA   |   | CRNI, ZELENI, BIJELE, MATE ČAJ  |   | KAKAO NAPITAK   |   | LEDENI ČAJ  |   | COLA NAPITCI (Coca Cola, Pepsi)   |   | ENERGETSKI NAPICI   |   | ENERGI SHOT   | ALKOHOLNA PIĆA S ENERGIJOM (Redbull, vodka, Stouk-tola npr.)                        |   | ČOKOLADA  |  |
|------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|
|                                    | Mala šalice<br>150 ml   | Velika šalice<br>250 ml   | Mala šalice<br>150 ml   | Velika šalice<br>250 ml   | Mala šalice za espresso<br>60 ml  | Mala šalice<br>150 ml   | Velika šalice<br>250 ml   | Mala šalice<br>150 ml   | Velika šalice<br>250 ml   | Mala šalice<br>150 ml   | Velika šalice<br>250 ml   | Mala čaša<br>150 ml   | Velika čaša<br>250 ml   | Mala čaša<br>150 ml   | Velika čaša<br>250 ml   | limenka<br>250 ml   | limenka<br>500 ml   | „shot“ zapremine<br>60 ml   | Mala čaša<br>150 ml   | Velika čaša<br>250 ml   | Rebro<br>20g  |  |
|                                    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| DORUČAK                            |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
| MEDIUOBROK između doručka i ručka  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
| RUČAK                              |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
| MEDIUOBROK između ručka i večere   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
| VEČERA                             |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
| SNACK nakon večere/ prije spavanje |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |

Ime i prezime: \_\_\_\_\_ Dob: \_\_\_\_\_

Spol:  M  Ž    Visina: \_\_\_\_\_ cm    Težina: \_\_\_\_\_ kg    Pušač: DA NE

*Istraživanje: Akutni utjecaj kofeina na mišićnu jakost, izdržljivost i snagu (Grgić, J., Mikulić, P., Sabol, F., Bratković, N.)*

Prevedeno prema Bühler i sur., 2013.



## PRILOG 2: LJESTVICA ZA PROCJENU SUBJEKTIVNOG OSJEĆAJA OPTEREĆENJA

| SOO |                |
|-----|----------------|
| 6   | nikakav napor  |
| 7   |                |
| 8   | vrlo lagano    |
| 9   |                |
| 10  | lagano         |
| 11  | umjereno       |
| 12  |                |
| 13  | srednje teško  |
| 14  |                |
| 15  | teško          |
| 16  |                |
| 17  | vrlo teško     |
| 18  |                |
| 19  | izuzetno teško |
| 20  | neizdrživo     |

### Borgova ljestvica

Dok izvodite aktivnost, cilj nam je ocijeniti percepciju opterećenja. Taj osjećaj treba reflektirati koliko je teška i naporna aktivnost za Vas, kombinirajući sve osjećaje kao što su: tjelesni stres, trud i umor. Nemojte se zamarati s jednim pojedinačnim faktorom, već se fokusirajte na ukupni osjećaj umora.

Na ljestvici 6 označava „nikakav napor“ dok 20 označava „maksimalan napor“. Izaberite broj koji najbolje označava vašu razinu opterećenja.

Pokušajte ocijeniti svoj osjećaj opterećenja što iskrenije možete.

Prevedeno prema Cook i sur., 1998.

### PRILOG 3: LJESTVICA ZA PROCJENU PERCEPCIJE BOLI

| <b>Ljestvica boli</b> |                                       |
|-----------------------|---------------------------------------|
| 0                     | Bez ikakve boli                       |
| 1/2                   | Izrazito mali osjećaj boli            |
| 1                     | Slaba bol                             |
| 2                     | Blaga bol                             |
| 3                     | Umjerena bol                          |
| 4                     | Umjereno-visoka bol                   |
| 5                     | Jaka bol                              |
| 6                     |                                       |
| 7                     | Veoma jaka bol                        |
| 8                     |                                       |
| 9                     |                                       |
| 10                    | Ekstremno jaka bol (skoro neizdrživo) |

Ljestvica sadrži brojeve od 0-10. Ovu ljestvicu će te koristiti da bi ocijenili percepciju boli u nogama i prsima tijekom izvedbe vježbe. Bol je definirana kao intenzitet boli koji osjećate. Pokušajte ne precijeniti ili podcijeniti intenzitet boli koji osjećate, već pokušajte biti maksimalno iskreni i objektivni.

Kada ne osjećate nikakvu bol odgovorite s 0, kada osjećate izrazito mali osjećaj boli odgovorite s 1/2. Kada vam je osjećaj boli ekstremno jak odgovorite s 10. Ako je bol i veća od 10, odnosno ako osjećate dvostruko jaču bol odgovorite s 20.

Ono što je bitno naglasiti je da ocjenjujete osjećaj boli u mišića, a ne nesposobnost mišića za daljnjom proizvodnjom sile.

Koristite verbalne ekspresije kako lakše opisali svoj osjećaj boli.

Prevedeno prema Borg, 1970.

## 11. ŽIVOTOPIS I POPIS OBJAVLJENIH RADOVA AUTORA

### 11.1. ŽIVOTOPIS

Filip Sabol rođen je 9.3.1992. godine u Varaždinu. Osnovnu školu završio je u Ludbregu, a Opću gimnaziju (za sportaše) u Koprivnici (Gimnazija Fran Galović).

Kineziološki fakultet u Zagrebu upisuje 2011. godine gdje je 28. veljače 2017. godine diplomirao (s usmjerenjem: *Kondicijska priprema sportaša*) pod mentorstvom izv. prof. dr. sc. Luke Milanovića. Iste godine upisuje postdiplomski doktorski studij na Kineziološkom fakultetu u Zagrebu.

Od 6. godine života do 5. godine studija bavio se natjecateljskim nogometom. Prvi semestar 5. godine studija proveo je na Erasmus+ studentskoj razmjeni na Fakultetu za fizičku kulturu i sport (Sveučilište Comenius) u Bratislavi. Uz studij je volontirao i radio s rekreativcima i profesionalnim sportašima različite dobi. Dosad je aktivno sudjelovao na brojnim seminarima, radionicama, konferencijama i istraživanja iz područja kineziologije.

Od 2017. godine radi kao koordinator edukacije i predavač na Fitnes učilištu (Zagreb). U slobodno vrijeme radi kao osobni trener.

### 11.2. POPIS OBJAVLJENIH RADOVA

Radovi objavljeni u časopisima:

1. Grgic, J., Schoenfeld, B.J., Orazem, J. i **Sabol, F.** (2020). Effects of resistance training performed to repetition failure, or not to failure on muscular strength and hypertrophy: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Sport and Health Science* (Prihvaćeno za objavu)
2. Grgic, J., Garofolini, A., Orazem, J., **Sabol, F.**, Schoenfeld, B.J. i Pedisic, Z. (2020). Effects of Resistance Training on Muscle Size and Strength in Very Elderly Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Sports Medicine*. 50(11), 1983-1999. doi: 10.1007/s40279-020-01331-7.

3. Grgic, J., **Sabol, F.**, Venier, S., Mikulic, I., Bratkovic, N., Schoenfeld, B.J., Pickering, C., Bishop, D.J., Pedisic, Z. i Mikulic, P. (2020). What Dose of Caffeine to Use: Acute Effects of 3 Doses of Caffeine on Muscle Endurance and Strength. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 15(4), 470–477. doi: 10.1123/ijsp.2019-0433.
4. **Sabol, F.**, Grgic, J. i Mikulic, P. (2019). The effects of 3 different doses of caffeine on jumping and throwing performance: A randomized, double-blind, crossover study. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(9), 1170–1177. doi: 10.1123/ijsp.2018-0884.
5. Grgic, J., **Sabol, F.**, Venier, S., Tallis, J., Schoenfeld, B.J., Del Coso, J. i Mikulic, P. (2019). Caffeine Supplementation for Powerlifting Competitions: an Evidence-Based Approach. *Journal of Human Kinetics*, 68(1), 37–48. doi: 10.2478/hukin-2019-0054.
6. Grgic, J., McIlvenna, L.C., Fyfe, J.J., **Sabol, F.**, Bishop, D.J., Schoenfeld, B.J. i Pedisic, Z. (2019). Does Aerobic Training Promote the Same Skeletal Muscle Hypertrophy as Resistance Training? A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 49(2), 233–254. doi: 10.1007/s40279-018-1008-z.

Radovi objavljeni na konferencijama:

7. **Sabol, F.**, Mikulic, I., Gulin, J. i Mikulic, P. (2020). Akutni utjecaj tri doze kofeina na jakost kod dvije skupine vježbača iskusnih u treningu s otporom. U: *18. godišnja međunarodna konferencija Kondicijska priprema sportaša*. Zagreb: Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Str. 67-69.
8. **Sabol, F.**, Mikulic, I. i Mikulic, P. (2019). Akutni učinci tri različite doze kofeina na izvedbu bilateralnog vertikalnog skoka. U: *17. godišnja međunarodna konferencija Kondicijska priprema sportaša*. Zagreb: Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Str. 87-90.

9. **Sabol, F.**, Jurina, M. i Dunaj, M. (2018). Fitness Index™ u procjeni i praćenju zdravstvenog i funkcionalnog fitnesa. U: *2. konferencija Zdravstvene kineziologije: Mjesto i uloga tjelesne aktivnosti u praksi obiteljske medicine*. Zagreb: Hrvatski zavod za javno zdravstvo. Str. 75-81.
  
10. Dunaj, M., **Sabol, F.** i Jurina, M. (2018). Edukacija kineziologa za suradnju s liječnicima obiteljske medicine. U: *2. konferencija Zdravstvene kineziologije: Mjesto i uloga tjelesne aktivnosti u praksi obiteljske medicine*. Zagreb: Hrvatski zavod za javno zdravstvo. Str. 58-61.
  
11. Jurina, M., Lazinica, B., Korda, K. i **Sabol, F.** (2017). Active senior's opinion about importance of physical activity (Abstract). U: *13th Annual Meeting and 8th Conference of HEPA Europe*. Zagreb: Faculty of Kinesiology, University of Zagreb. Str. 84.