

Akutni učinak kofeina iz različitih izvora na mišićnu jakost i snagu

Venier, Sandro

Doctoral thesis / Disertacija

2024

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:117:640070>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-14**



Repository / Repozitorij:

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





Sveučilište u Zagrebu

KINEZIOLOŠKI FAKULTET

Sandro Venier

**AKUTNI UČINAK KOFEINA IZ RAZLIČITIH
IZVORA NA MIŠIĆNU JAKOST I SNAGU**

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2024



University of Zagreb

FACULTY OF KINESIOLOGY

Sandro Venier

**THE ACUTE EFFECTS OF CAFFEINE FROM
VARIOUS SOURCES ON MUSCLE STRENGTH
AND POWER**

DOCTORAL THESIS

Zagreb, 2024



Sveučilište u Zagrebu

KINEZIOLOŠKI FAKULTET

Sandro Venier

**AKUTNI UČINAK KOFEINA IZ RAZLIČITIH
IZVORA NA MIŠIĆNU JAKOST I SNAGU**

DOKTORSKI RAD

Mentor:

prof. dr. sc. Pavle Mikulić

Zagreb, 2024



University of Zagreb

FACULTY OF KINESIOLOGY

Sandro Venier

**THE ACUTE EFFECTS OF CAFFEINE FROM
VARIOUS SOURCES ON MUSCLE STRENGTH
AND POWER**

DOCTORAL THESIS

Supervisor:

Prof. Pavle Mikulić, PhD

Zagreb, 2024

ZAHVALA

Ova doktorska disertacija bila je najteži projekt u mom životu, koji ne bi nastao bez pomoći i podrške nekoliko dragih osoba. Stoga se želim iskreno i od srca zahvaliti:

- Najboljem (super)mentoru, profesoru **Pavlu Mikuliću**, na ogromnoj pomoći i podršci kroz doktorski studij. Ne mogu zamisliti boljeg mentora i iznimno mi je drago što smo uspjeli završiti ovaj projekt. Hvala na razumijevanju mojeg burnog poduzetničkog i privatnog života, zbog kojeg sam više puta morao pauzirati napredak ovog dokorskog rada. Grazie tante!
- Najboljem neformalnom komentoru, **Jozi Grgiću**, na ogromnoj i nesebičnoj pomoći.
- **Članovima Povjerenstva** na smjernicama koje su doprinijele poboljšanju ovog rada.
- **Talijanskoj zajednici** koja mi je dodijelila stipendiju za doktorski studij.
- Svim **ispitanicima** istraživanja koji su se maksimalno trudili tijekom istraživanja.
- **Filipu Sabolu**, na pomoći pri asistiranju tijekom praktičnog dijela istraživanja.
- **Dominiku Štekiću**, na velikoj pomoći prilikom prikupljanja i organizacije podataka.
- Svim **mojim prijateljima** (previše vas je da bih vas sve nabrojao) koji su pozitivno utjecali na mene svih ovih godina. Znate tko ste. Iskreno vas cijenim, volim i poštujem. Nevjerojatno sam zahvalan što vas imam u svom životu i bez vas sigurno ne bih bio tu gdje jesam, i ne bih bio to što jesam.
- Mojim **roditeljima i sestri** na podršci i pomoći od početka do kraja mog akademskog putovanja zadnjih trinaest godina.
- Za kraj, najveće hvala mojoj ženi i životnoj suputnici **Dorini**, kako bi Ephraim Kishon rekao: „*Najboljoj od svih žena*,“ na neizmjerne podršci, pomoći i razumijevanju tijekom ovog beskonačnog procesa pisanja disertacije. Veselim se budućnosti i (nadam se, mrvicu manje stresnim) projektima koji nas čekaju u sljedećim fazama života.

„The truth will set you free.“

AKUTNI UČINAK KOFEINA IZ RAZLIČITIH IZVORA NA MIŠIČNU JAKOST I SNAGU

Sažetak

Cilj: Primarni cilj ovog randomiziranog, dvostruko slijepog, placebo kontroliranog istraživanja bio je ispitivanje akutnih učinaka kofeina iz različitih izvora (1. guma za žvakanje, 2. gel, i 3. kapsule) na mišićnu jakost i snagu u osoba iskusnih u treningu s otporom. Sekundarni cilj bila je izravna usporedba veličine učinka kofeina (u istoj apsolutnoj dozi od 300 mg) iz različitih izvora na mišićnu jakost i snagu. Tercijarni cilj odnosi se na ispitivanje učinka kofeina na mišićnu jakost i snagu i uspoređivanje tih učinaka s učinkom placeba s jedne, i s kontrolnim mjerenjem (mjerenjem bez suplementacije) s druge strane.

Metode: Izvedba skoka procijenjena je putem testa bilateralnog vertikalnog skoka s pripremom na platformi za mjerenje sile. Jakost i snaga mišića donjeg dijela tijela procijenjena je na izokinetičkom uređaju. Snaga mišića gornjih ekstremiteta procijenjena je putem vježbe potiska s ravne klupe pri 50%, 75% i 90% 1 „repetition maximum“ (RM) uz pomoć PowerLift iOS aplikacije, dok se za procjenu snage mišića cijelog tijela koristio test na veslačkom ergometru. Testovi su provedeni kroz sedam dolazaka u laboratorij tijekom kojih su sudionici prije testiranja konzumirali: (a) gumu za žvakanje s kofeinom (300 mg) odnosno placebo gumu za žvakanje; (b) kapsulu s kofeinom (6 mg/kg) odnosno placebo kapsulu; i (c) gel s kofeinom (300 mg) odnosno placebo gel. U segmentu istraživanja učinaka kofeina iz kapsula, jedan dolazak u laboratorij sastojao se u testiranju bez ikakve prethodne konzumacije (tzv. kontrolno mjerenje). Uzorak sudionika varirao je od n=16 (dob (AS ± SD): 22.9 ± 2 god) u segmentu istraživanja učinaka kofeina iz gelova do n=26 (dob (AS ± SD): 24.2 ± 5 god) u segmentu istraživanja učinaka kofeina iz kapsula.

Rezultati: U usporedbi s placebo gumom za žvakanje, kofein iz guma za žvakanje akutno je poboljšao (za 3-9%) izvedbu skoka s pripremom, jakost i snagu mišića donjeg dijela tijela, snagu mišića gornjeg dijela tijela te snagu cijelog tijela. Konzumacija kofeina iz gelova akutno je poboljšala (za 3-12%) sve prethodno navedene dimenzije jakosti i snage u odnosu na placebo gel. Nije bilo razlike u veličini učinka kofeina iz gelova i guma za žvakanje na mišićnu jakost i snagu. Kofein iz kapsula je, u odnosu na placebo kapsulu i u odnosu na kontrolno mjerenje, značajno poboljšao (za 3-8%) visinu vertikalnog skoka, jakost i snagu mišića donjeg dijela tijela

te snagu mišića gornjeg dijela tijela. Kofein iz kapsula akutno je poboljšao (za 4%) snagu mišića cijelog tijela u usporedbi s placeboom, ali ne i u usporedbi s kontrolnim mjerenjem. Iako placebo uglavnom nije imao ergogeni učinak u odnosu na kontrolno mjerenje kod većine testova, ipak je u dva testa (vertikalni skok s pripremom, potisak s ravne klupe) taj učinak uočen.

Zaključak: Konzumacija kofeina iz alternativnih izvora (gelovi, gume za žvakanje) može akutno poboljšati visinu skoka, jakost i snagu mišića donjih ekstremiteta, snagu mišića gornjih ekstremiteta te snagu mišića cijelog tijela u osoba iskusnih u treningu s otporom. Nema razlika u veličini akutnog učinka kofeina na jakost i snagu kad se promatra kofein u istoj apsolutnoj dozi konzumiran iz različitih izvora. Stoga, odabir izvora kofeina u vježbača zainteresiranih za suplementaciju kofeinom stvar je, čini se, osobnih preferencija. Konačno, u pojedinim testovima mišićne jakost i snage konzumacija placeba je bila ergogena u odnosu na kontrolno mjerenje, što ukazuje na postojanje placebo učinka kojeg treba uzeti u obzir kako u znanstvenim istraživanjima kofeina kao ergogenog sredstva, tako i u praksi tjelesnog vježbanja i sportskog treninga.

Ključne riječi: ergogena sredstva, suplementacija, trening s otporom

THE ACUTE EFFECTS OF CAFFEINE FROM VARIOUS SOURCES ON MUSCLE STRENGTH AND POWER

Summary

Purpose: The primary objective of this randomized, double-blind, placebo-controlled study was to investigate the acute effects of caffeine from various sources (1. gel, 2. chewing gum, and 3. capsule) on muscular strength and power in resistance-trained individuals. The secondary objective was to directly compare the magnitude of caffeine's effects (at the same absolute dose of 300 mg) from different sources on muscular strength and power. The tertiary objective was to examine the impact of caffeine on muscular strength and power and compare these effects with the placebo effect on one hand, and with the control measurement (measurement without supplementation) on the other.

Methods: Jump performance was assessed through a bilateral countermovement jump test on a force measurement platform. Lower body strength and power were assessed on an isokinetic device. Upper body power was assessed using the bench press exercise at 50%, 75%, and 90% 1 (repetition maximum) RM with the assistance of the PowerLift iOS application, while whole-body power was assessed using a rowing ergometer test. The tests were conducted over seven laboratory visits during which participants, before testing, consumed: (a) caffeinated chewing gum (300 mg) or placebo chewing gum; (b) caffeinated gel (300 mg) or placebo gel; and (c) caffeine capsules (6 mg/kg) or placebo capsules. In the segment investigating the effects of caffeine from capsules, one laboratory visit consisted of testing without any prior consumption (referred to as the "control measurement"). The participant sample size varied across different study segments, ranging from n=16 (age (mean \pm SD): 22.9 \pm 2 years) in the segment investigating the effects of caffeine from gels to n=26 (age (mean \pm SD): 24.2 \pm 5 years) in the segment investigating the effects of caffeine from capsules.

Results: Compared to placebo chewing gum, caffeine from chewing gum acutely improved (by 3-9%) countermovement jump performance, lower body strength and power, upper body power, and whole-body power. Consumption of caffeine from gel acutely improved (by 3-12%) all the previously mentioned strength and power dimensions in comparison to placebo gel consumption. There was no difference in the magnitude of caffeine's effects between gel and chewing gum sources on muscular strength and power.

Caffeine from capsules significantly improved (by 3-8%) vertical jump height, lower body strength and power and upper body power compared to the placebo capsule and the control measurement. Caffeine from capsules acutely enhanced (by 4%) whole-body power compared to the placebo, but not compared to the control measurement. Although the placebo generally did not exhibit an ergogenic effect compared to the control measurement in most tests, such an effect was observed in two tests (countermovement jump, bench press exercise).

Conclusion: The consumption of caffeine from alternative sources (gels, chewing gums) can acutely enhance jump height, lower body strength and power, upper body power and whole-body power in resistance-trained individuals. There are no differences in the magnitude of acute effects of caffeine on strength and power when considering caffeine at the same absolute dose consumed from different sources. Therefore, the choice of caffeine source for individuals interested in caffeine supplementation appears to be a matter of personal preference. Finally, in certain tests of muscular strength and power, placebo consumption was ergogenic compared to the control measurement, indicating the presence of a placebo effect that should be considered both in scientific research on caffeine as an ergogenic aid and in the practice of physical exercise and sports training.

Keywords: ergogenic aids, supplementation, resistance training

ŽIVOTOPIS MENTORA

Dr. sc. Pavle Mikulić, redoviti 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 gdje je i maturirao. Na Fakultetu za fizičku kulturu, odnosno Kineziološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, diplomirao je 2001., magistrirao 2004. i doktorirao 2006. godine. Akademske godine 2009/10. 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 ~60 znanstvenih radova u vodećim međunarodnim znanstvenim časopisima u području kineziologije. Radovi koje je objavio citirani su ~1800 puta (Web of Science, Scopus; h indeks = 24) odnosno ~3700 puta (Google Scholar; h-indeks = 32). Bio je recenzentom 20-ak vodećih međunarodnih znanstvenih časopisa iz područja kineziologije. Bio je mentor više od 30 magistara kineziologije i mentor četiriju doktora znanosti. Dobitnik je Državne nagrade za znanost za područje društvenih znanosti za 2020. godinu.

SADRŽAJ

1.	UVOD.....	1
2.	UČINAK KOFEINA IZ ALTERNATIVNIH IZVORA NA MIŠIĆNU JAKOST I SNAGU.....	6
3.	UČINAK KOFEINA IZ KAPSULA NA MIŠIĆNU JAKOST I SNAGU	9
4.	OPTIMALNA DOZA KOFEINA U CILJU POBOLJŠANJA TJELESNE IZVEDBE.....	13
5.	OGRANIČENJA DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA I OTVORENA PITANJA	16
6.	CILJ I HIPOTEZE RADA.....	17
7.	METODE RADA	18
7.1.	SUDIONICI	18
7.2.	PRISTUP PROBLEMU, VRSTA I EKSPERIMENTALNI NACRT ISTRAŽIVANJA	19
7.3.	PROCJENA SNAGE MIŠIĆA DONJIH EKSTREMITETA	23
7.4.	PROCJENA JAKOSTI I SNAGE MIŠIĆA NATKOLJENICE NA IZOKINETIČKOM UREĐAJU.....	24
7.5.	PROCJENA SNAGE MIŠIĆA GORNJIH EKSTREMITETA.....	25
7.6.	PROCJENA SNAGE MIŠIĆA CIJELOG TIJELA.....	26
7.7.	PROCJENA UČINKOVITOSTI ZASLJEPLJIVANJA	26
7.8.	PROCJENA UČESTALOSTI NUSPOJAVA	26
7.9.	STATISTIČKA OBRADA REZULTATA.....	27
8.	REZULTATI	29
8.1.	UČINCI KOFEINA IZ GUME ZA ŽVAKANJE NA MIŠIĆNU JAKOST I SNAGU	29
8.1.1.	VERTIKALNI SKOK S PRIPREMOM.....	29
8.1.2.	PROCJENA JAKOSTI I SNAGE MIŠIĆA NATKOLJENICE NA IZOKINETIČKOM UREĐAJU.....	29
8.1.3.	POTISAK S RAVNE KLUPE.....	30
8.1.4.	TEST NA VESLAČKOM ERGOMETRU	30
8.1.5.	UČINKOVITOST ZASLJEPLJIVANJA.....	30
8.1.6.	UČESTALOST NUSPOJAVA	30
8.2.	UČINCI KOFEINA IZ GELA NA MIŠIĆNU JAKOST I SNAGU	33
8.2.1.	VERTIKALNI SKOK S PRIPREMOM.....	33
8.2.2.	PROCJENA JAKOSTI I SNAGE MIŠIĆA NATKOLJENICE NA IZOKINETIČKOM UREĐAJU.....	33
8.2.3.	POTISAK S RAVNE KLUPE.....	34
8.2.4.	TEST NA VESLAČKOM ERGOMETRU	34
8.2.5.	UČINKOVITOST ZASLJEPLIVANJA.....	34
8.2.6.	UČESTALOST NUSPOJAVA	34
8.3.	USPOREDBA UČINKA KOFEINA IZ RAZLIČITIH IZVORA (GUMA ZA ŽVAKANJE NASPRAM GELA) NA MIŠIĆNU JAKOST I SNAGU.....	37

8.4.	UČINCI KOFEINA IZ KAPSULE NA MIŠIĆNU JAKOST I SNAGU	39
8.4.1.	VERTIKALNI SKOK S PRIPREMOM.....	39
8.4.2.	PROCJENA JAKOSTI I SNAGE MIŠIĆA NATKOLJENICE NA IZOKINETIČKOM UREĐAJU.....	39
8.4.3.	POTISAK S RAVNE KLUPE.....	40
8.4.4.	TEST NA VESLAČKOM ERGOMETRU	41
8.4.5.	UČESTALOST NUSPOJAVA	41
8.4.6.	UČINKOVITOST ZASLJEPLJIVANJA.....	41
9.	RASPRAVA	46
9.1.	UČINCI KOFEINA IZ GUME ZA ŽVAKANJE NA MIŠIĆNU JAKOST I SNAGU	46
9.2.	UČINCI KOFEINA IZ GELA NA MIŠIĆNU JAKOST I SNAGU	50
9.3.	USPOREDBA UČINKA KOFEINA IZ RAZLIČITIH IZVORA (GUMA ZA ŽVAKANJE NASPRAM GELA) NA MIŠIĆNU JAKOST I SNAGU.....	54
9.4.	UČINCI KOFEINA IZ KAPSULE NA MIŠIĆNU JAKOST I SNAGU	55
10.	PREDNOSTI I OGRANIČENJA ISTRAŽIVANJA	63
11.	ZAKLJUČAK	65
12.	PRAKTIČNE PREPORUKE.....	67
13.	LITERATURA.....	68
14.	PRILOZI	81
15.	ŽIVOTOPIS I POPIS OBJAVLJENIH RADOVA AUTORA	84
15.1.	ŽIVOTOPIS	84
15.2.	POPIS OBJAVLJENIH RADOVA	85

1. UVOD

Kofein je jedan od najčešće korištenih psihoaktivnih stimulansa na svijetu i nalazi se u mnogim prehrambenim proizvodima, uključujući kavu, čajeve, energetske napitke, sportske gelove i alkoholna pića (Graham, 2001). Kofein je do 2004. godine bio zabranjen od strane Svjetske antidopinške agencije, no tada je uklonjen s liste (Del Coso, Muñoz i Muñoz-Guerra, 2011). Razlog za uklanjanje kofeina s liste je između ostalog nemogućnost razlikovanja između uobičajene društvene konzumacije kofeina i unosa visokih doza kofeina s namjerom poboljšanja sposobnosti, na temelju trenutno dostupnih analitičkih metoda određivanja količine u urinu. U razdoblju od 2004. do 2015. godine, na uzorku od 7488 profesionalnih sportaša i sportašica, vidi se trend koji ukazuje na porast konzumacije kofeina, a najveće razine koncentracije kofeina u urinu (koje su prikupljali “anti-doping” testiranjima tijekom Olimpijskih igara) su evidentirane u sportovima izdržljivosti, poput triatlona, biciklizma i veslanja, dok su gimnastičari imali najniže vrijednosti (Aguilar-Navarro i sur., 2019). Ta činjenica ne iznenađuje s obzirom na to da je najveći ergogeni učinak kofeina dokumentiran baš u sportovima izdržljivosti (Grgić i sur., 2020a).

Kofein, odnosno 1,3,7-trimetilksantin, je bijeli kristalni prah gorkog okusa koji posjeduje antioksidativna svojstva (Alpert, 2012). Nalazi se u mnogim prehrambenim namirnicama od kojih je najčešće konzumirana kava, čija svjetska dnevna potrošnja iznosi preko 2.25 milijardi šalica (Denoeudu i sur., 2014). Podaci Nacionalnog istraživačkog centra za zdravlje i prehranu SAD-u pokazuju visoku stopu konzumacije kofeina među Amerikancima, s 89% sudionika koji su potvrdili da svakodnevno unose kofein, s prosječnom dnevnom konzumacijom od 211 ± 3 mg (Fulgoni, Keast i Lieberman, 2015).

Dok se u svijetu sporta kofein često koristi s ciljem poboljšanja tjelesne izvedbe (Pesta i sur., 2013), u prosječnoj populaciji primarni razlog konzumacije kofeina jest borba protiv umora i pospanosti (Nehlig i sur., 1992). Farmakokinetička i farmakodinamička svojstva kofeina dobro su dokumentirana, kako u uvjetima odmora, tako i u uvjetima neispavanosti (Kamimori i sur., 2002). Kofein se često konzumira kako bi se ublažila neispavanost, a pozitivni učinci kofeina na povećanje budnosti i smanjenje umora već su dugo poznati (Burke, 2008; Haskell i sur., 2005).

Kofein se brzo apsorbira iz gastrointestinalnog trakta u krvotok nakon konzumacije. Njegova razgradnja započinje u želucu i tankom crijevu, dok se metabolizam kofeina odvija u jetri, nakon čega se kofein distribuira po cijelom tijelu. Maksimalna koncentracija kofeina u krvnoj plazmi se najčešće može očekivati 30 do 60 minuta nakon konzumacije, ali zbog velike individualne varijabilnosti ta se koncentracija može postići između 15 i 120 minuta nakon konzumacije (Cappelletti i sur., 2015). Također, apsorpcija je sporija kada se kofein konzumira zajedno s obrokom (Fleisher i sur., 1999). Za poluživot kofeina obično se smatra vremensko razdoblje od 6 sati, ali ono može varirati od 2 do 12 sati (Benowitz, 1990), ovisno o mnogim fiziološkim i okolinskim čimbenicima poput: pušenja, konzumacije određenih prehrambenih namirnica, bolesti jetre, trudnoće ili korištenja oralne kontracepcije (McLellan, Caldwell and Lieberman, 2016). Bitno je naglasiti da, osim utjecaja različitih faktora na koje je moguće utjecati, postoji i značajna urođena varijabilnost između pojedinaca u odgovorima na unos kofeina (Jenkins i sur., 2008; Pickering i Kiely, 2018).

Trenutno se smatra da je antagonistički učinak kofeina na adenozijske receptore primarni mehanizam koji omogućava ergogeno djelovanje kofeina (McLellan, Caldwell i Lieberman, 2016). Vezivanje adenzina na A1 i A2A receptore inhibira otpuštanje različitih neurotransmitera poput acetilkolina i dopamina (McLellan, Caldwell and Lieberman, 2016). Kofein je strukturalno sličan adenzinu i zbog toga, kada se konzumira, može blokirati vezivanje adenzina na A1 i A2A receptore te potiče otpuštanje tih neurotransmitera. Također, neki autori smatraju da kofein povećava otpuštanje kalcija iz sarkoplazmatskog retikuluma mišićnih vlakana, što može rezultirati jačom mišićnom kontrakcijom i može pomoći u objašnjavanju ergogenih svojstva kofeina na tjelesnu izvedbu (Tarnapolsky, 2008; Bazzucchi i sur., 2011). Tallis, Duncan i James (2015) navode da *in vitro* istraživanja koja su koristila izolirana mišićna vlakna često izvještavaju da primjena kofeina pojačava proizvodnju sile u skeletnim mišićima. U tim se istraživanjima pretpostavlja da su izravni učinci kofeina na proizvodnju sile posljedica povećanog oslobađanja kalcijevih iona iz sarkoplazmatskog retikuluma. Međutim, takva istraživanja često primjenjuju doze kofeina koje bi bile toksične za ljude i potvrđuju hipotezu da većina učinaka kofeina vjerojatno proizlazi iz njegovog djelovanja na živčani sustav, odnosno, na receptore adenzina (Grgić, 2021).

Kada se razmatra učinak kofeina na zdravstveni status, unatoč učestalom društvenom mišljenju da je kofein štetan i da je preporučljivo izbjegavati ga, konzumacija kofeina je povezana sa smanjenim rizikom smrti od svih uzroka (Freedman i sur., 2012). Pokazalo se da

kofein nije štetan za odraslu populaciju ako se koristi u dozama manjim od 400 mg dnevno (Wikoff i sur., 2017). Kod trudnica se doza od <300 mg dnevno smatra sigurnom, dok se kod djece i adolescenata prihvatljivom dozom smatra <250 mg kofeina dnevno. Odnosno, smatra se da te doze kofeina kod tih populacija ne uzrokuju negativne posljedice na zdravlje poput kardiovaskularnih, reproduktivnih i koštanih tegoba. Međutim, kofein može ponekad akutno utjecati na krvni tlak, anksioznost i na kvalitetu spavanja (Wikoff i sur., 2017).

S obzirom na važnost sna na zdravlje i tjelesnu izvedbu, bitno je naglasiti da kofein ometa kvalitetu spavanja isključivo ako se konzumira u večernjim satima ili ako se konzumira u vrlo visokim dozama (Wikoff i sur., 2017). Kofein može utjecati na trajanje i na kvalitetu sna, a vrijeme u danu kada se konzumira kofein je vrlo bitno u kontekstu razumijevanja tih negativnih učinaka (Gardiner i sur., 2023). Kako bi se izbjegao negativan učinak kofeina na trajanje i kvalitetu sna, preporuča se konzumacija kave (107 mg po 250 ml) najmanje 8.8 sati prije spavanja, dok bi se doze kofeina od 217 mg trebale konzumirati najkasnije 13.2 sata prije spavanja (Gardiner i sur., 2023).

Visoke doze kofeina mogu biti toksične i procjenjuje se da doza od 150-200 mg/kg može biti smrtonosna za prosječnu odraslu osobu. Postoje i dokumentirani slučajevi u kojima je smrtonosna doza kofeina bila 57 mg/kg. Doza kofeina prilikom koje se mogu javljati ozbiljni i značajni nepoželjni simptomi poput tahikardije, aritmije, procjenjuje se na otprilike 1.2 grama, dok je doza koja može ugroziti život procijenjena u rasponu od 10 do 14 grama (Kerrigan i Lindsey, 2005; Magdalan i sur., 2017). Kada se govori o utjecaju kofeina na zdravlje, zanimljiva je činjenica da se u zadnjem desetljeću počeo intenzivnije istraživati potencijalni pozitivan učinak kofeina u liječenju neurodegenerativnih simptoma poput Alzheimerove i Parkinsonove bolesti (Santos i sur., 2010; Cunha i Agostinho, 2010; Nehlig, 2010). Također, kofein, čini se, može pomoći kada je u pitanju redukcija tjelesne mase, redukcija masnog tkiva, te postizanje boljeg sastava tijela (Tabrizi i sur., 2018).

Količine kofeina u najpopularnijem napitku na svijetu - kavi - mogu značajno varirati ovisno o proizvođaču, vrsti kave i načinu pripreme i vremenu kuhanja (Desbrow i sur., 2007). McCusker i sur. (2003) pokazali su da količina kofeina značajno varira čak i kada naručujemo kavu u istom ugostiteljskom objektu. Autori su šest dana zaredom analizirali uzorak istog modela kave iz poznate franšize „Starbucks“ i raspon količine kofeina je varirao od 259 do 564 mg po šalici. To može biti posebno bitno za mlađe osobe i trudnice u slučaju da žele pripaziti

na dnevni unos. Kada je riječ o specifičnim negativnim učincima kofeina kod sportaša i sportašica, jedna od neželjenih nuspojava konzumacije kofeina je povećana proizvodnja urina koja može ometati sportaše i rekreativce kod treninga i natjecanja dužeg trajanja (Osswald i Schnermann, 2010). Također, jedan manje poznati podatak je taj da i „kava bez kofeina“ sadrži male količine (3 - 5 mg po šalici) kofeina (McLellan, Caldwell and Lieberman, 2016).

Kofein se učestalo konzumira u sportskim i tjelesnim aktivnostima pri čemu istraživanja pokazuju da je 74% testiranih uzoraka na doping kontroli sadržavalo mjerljive razine kofeina (Del Coso, Muñoz i Muñoz-Guerra, 2011). Zadnjih 15-ak godina se značajno povećao broj istraživanja u području utjecaja kofeina na tjelesnu izvedbu (Giráldez-Costas, V. i sur., 2023). Istraživanja su se povijesno najčešće provodila na muškarcima, ali se zadnjih godina sve više istraživanja provodi i na ženskoj populaciji. Iako se čini da su učinci kofeina neovisni o spolu, postoji mogućnost da budu moderirani određenim faktorima kod žena poput faze menstrualnog ciklusa (Lane i sur., 1992). Svakako, utvrđeno je da konzumacija kofeina ima ergogeni učinak na tjelesnu izvedbu kod žena, te se veličina tih učinaka čini sličnom onoj opaženoj kod muškaraca (Grgić, 2021). Ergogeni učinci kofeina ne čine se ovisnima o fazama menstrualnog ciklusa, iako se predlaže dodatno istraživanje ovog područja (Grgić, 2021). Uzimanje oralne kontracepcije može također utjecati na metabolizam kofeina (Nehlig, 2018). Individualan odgovor na kofein je često varijabilan i pretpostavlja se da na njega utječe niz faktora poput genetike i habitualne konzumacije kofeina (Pickering i Grgić, 2019). Dugo je postojala paradigma da habitualna konzumacija kofeina može utjecati na ergogeni učinak kofeina (Sökmen i sur., 2008). Međutim, recentnija istraživanja pokazuju da redovita konzumacija kofeina ne utječe na akutni ergogeni učinak kofeina (Carvalho i sur., 2022),

Istraživanja koja su se bavila učincima suplementacije kofeinom na sportske i tjelesne aktivnosti u samim počecima su se fokusirala primarno na aerobne aktivnosti (Pasman, van Baak, Jeukendrup, i de Haan, 1995; Wiles i sur., 1992), zbog čega je već dugo vremena poznato da suplementacija kofeinom može imati značajan učinak na poboljšanje aerobne izvedbe (Graham, 2001). Međutim, s vremenom se razvijao sve veći interes za istraživanje učinaka unosa kofeina na izvedbu u kratkotrajnim aktivnostima visokog i maksimalnog intenziteta koja su, po definiciji, dominantno anaerobne aktivnosti (Davis i Green, 2009). Zanimljivo je da, unatoč tome što je kava najčešći način konzumacije kofeina diljem svijeta, relativno je neistražena kao ergogeno sredstvo za poboljšanje tjelesne izvedbe. Hodgson i sur. (2013) su izvijestili da su kofein u prahu i kava, standardizirani za dozu kofeina od 5 mg/kg, bili jednako

učinkoviti u poboljšanju izdržljivosti tijekom aerobnih aktivnosti. Slični rezultati su prijavljeni i u uvjetima treninga s otporom (Richardson i sur., 2016; Trexler i sur., 2016). Na temelju ovih rezultata izgleda da kava može biti učinkovita za poboljšanje tjelesne izvedbe u vidu mišićne jakosti. Međutim, glavni problem po pitanju suplementacije kavom je praktične prirode. Kako su autori Grgić i sur. (2021) zaključili u meta-analizi, da bi kofein iz kave djelovao ergogeno, doza kofeina se mora nalaziti unutar raspona od 3-6 mg/kg. Doza kofeina koja se dobiva iz kave ovisi o mnogim faktorima, uključujući vrstu zrna, načina pripreme te količini kave koja se dobije u šalici. Postoje i velike razlike u koncentracijama kofeina između različitih proizvođača kave, kao i unutar kave istog proizvođača tijekom vremena (Desbrow i sur., 2007; Desbrow, Henry i Scheelings, 2012; Desbrow, Hall i Irwin, 2018).

2. UČINAK KOFEINA IZ ALTERNATIVNIH IZVORA NA MIŠIĆNU JAKOST I SNAGU

S obzirom na to da je konzumacija kofeina putem kapsula najčešće korištena metoda suplementacije kofeinom, neki autori predlažu ispitivanje utjecaja drugih načina konzumacije kofeina poput gelova i guma za žvakanje (Grgić i sur. (2018)). Laka prenosivost, sve veća dostupnost i brza apsorpcija su velike prednosti guma za žvakanje i gelova s kofeinom. U energetske gelovima se nalazi mješavina ugljikohidrata i kofeina, što se pokazalo kao dobra strategija u cilju poboljšanja sportske izvedbe (Cooper i sur., 2014). Takvi bi načini konzumacije u određenim uvjetima mogli biti praktičniji za iskorištavanje akutnih ergogenih učinaka kofeina. Jedna od velikih prednosti konzumacije kofeina putem guma za žvakanje i gelova je puno brža apsorpcija kofeina jer se ona ne odvija samo u crijevima kao što je to slučaj kod kapsula, već i u usnoj šupljini. Kamimori i sur. (2002) su prvi dokazali da je apsorpcija kofeina iz guma za žvakanje puno brža od apsorpcije putem kapsula. Dok se konzumacija kapsula preporučuje 60 minuta prije same aktivnosti, gume za žvakanje s kofeinom (Evans i sur., 2018), i gelove s kofeinom (Scott i sur., 2015) je najbolje konzumirati 10-15 minuta prije same aktivnosti. Područje proučavanja utjecaja kofeinskih guma za žvakanje na jakost i snagu je relativno slabo istraženo i razvijalo se primarno zbog potreba vojnih snaga pojedinih zemalja i želja za pronalaskom metoda koje će u što kraćem vremenskom roku povećati budnost i koncentraciju vojnika.

Wickham i Spriet (2018) saželi su istraživanja koja su proučavala učinke kofeina iz alternativnih oblika. Samo je sedam od tih radova istraživalo učinke kofeina iz guma za žvakanje na različite aspekte tjelesne izvedbe. Ti radovi su koristili doze kofeina u rasponu od 100 do 300 mg, primijenjene 5 do 10 minuta prije početka vježbanja, uz uključivanje različitih populacija, uključujući fizički aktivne muškarce, muške i ženske bicikliste te sveučilišne sportaše. Iako su nalazi navedenih istraživanja ukazali na to da kofein iz alternativnih izvora može pozitivno djelovati za tjelesnu izvedbu, samo su dva rada istraživala učinak kofeina iz guma za žvakanje na jakost i snagu. U jednom istraživanju je testiran učinak kofeina iz guma za žvakanje u dozi od 240 mg kofeina na devet biciklista (Paton, Lowe i Irvine, 2010). Svaki dolazak se sastojao od četiri serije po pet sprintova u trajanju od trideset sekundi. Prilikom svakog dolaska, nakon druge serije sprintova, sudionici su dobili gumu za žvakanje s 240 mg

kofeina ili placebo gumu za žvakanje. Konzumacija kofeina je značajno poboljšala tjelesnu izvedbu u vidu vršnog izlaza snage (za ~5.5%). Drugo istraživanje u kojem se ispitivao učinak kofeina iz guma za žvakanje na uzorku od devet atletičara, pokazalo je da doza od samo 100 mg kofeina značajno poboljšava tjelesnu izvedbu u vidu bacanja kugle, te izgleda da takav protokol konzumacije kofeina može povoljno djelovati na izlaz snage (Bellar i sur., 2012). U tom su istraživanju ispitanici žvakali kofeinsku gumu za žvakanje 5 minuta, te su nakon toga izveli šest maksimalnih pokušaja bacanja kugle. Rezultati eksperimentalnog mjerenja su bili 6.1% bolji u odnosu na placebo (Bellar i sur., 2012).

Recentniji pregled literature u području suplementacije kofeinom iz žvakaćih guma na tjelesnu izvedbu (na uzorku od 14 istraživanja i 200 sudionika) pokazuje da utrenirane osobe mogu očekivati ergogeni učinak kofeina iz guma za žvakanje ako ih konzumiraju do 15 minuta prije nastupa u dozama od ≥ 3 mg/kg (Barreto i sur., 2023). Velik dio tih istraživanja je usmjeren na ispitivanje učinaka kofeina iz guma za žvakanje na aerobne sposobnosti, a samo mali broj istraživanja je proučavao učinak kofeina na mišićnu jakost i snagu. Na temelju ovih rezultata, unatoč razlikama u metodologiji istraživanja te različitim dozama kofeina, autori zaključuju da kofein iz guma za žvakanje može poboljšati tjelesnu izvedbu u vidu mišićne jakosti, mišićne snage i mišićne izdržljivosti (Barreto i sur., 2023). Jedno je istraživanje na uzorku mladih nogometaša pokazalo da doza od 200 mg kofeina iz gume za žvakanje konzumirana pet minuta prije testiranja poboljšava rezultate u skoku s pripremom za 2.2% ($p = 0.008$; veličina učinka = 0.30), ali nije bilo poboljšanja u izvedbi sprinta na 20 m (Ranchordas i sur., 2018). U drugom istraživanju izvješteno je da 200 mg kofeina iz gume za žvakanje djeluje ergogeno u različitim aspektima tjelesne izvedbe na uzorku mladih ragbi igrača. Kofein se konzumirao 5 minuta prije testiranja i poboljšao je izvedbu u skoku s pripremom za 3.6% ($p = 0.044$; veličina učinka = 0.22) (Ranchordas i sur., 2019).

U području suplementacije gelovima, samo su dva istraživanja proučavala utjecaj gelova s kofeinom na tjelesnu izvedbu. Cooper i suradnici (2014) su testirali dvanaest umjereno aktivnih muškaraca u četiri serije intervalnih sprintova. Sudionici su randomizirano dobili ili gel sa 25 grama ugljikohidrata, gel sa 25 grama ugljikohidrata i 100 mg kofeina ili placebo gel sat vremena prije, neposredno prije prve serije sprintova na 15 m te odmah nakon druge serije. Kofein nije poboljšao izvedbu iako su uvidjeli pozitivan trend u brzini sprinta kod grupe koja je konzumirala kofein. Također, sudionici koji su konzumirali kofein su prijavili statistički značajno nižu razinu umora. Drugo istraživanje (Scott i sur., 2015) na trinaest sveučilišnih

sportaša pokazalo je da unos gela s kofeinom (100 mg) i ugljikohidratima (21.6 grama) značajno poboljšava izvedbu u veslanju na 2000 m u usporedbi s gelom koji je sadržao samo ugljikohidrate. Ovo istraživanje nije direktno vezano uz područje jakosti i snage, ali zbog nedostatka istraživanja na gelovima u području jakosti i snage može biti korisno u cilju razumijevanja učinaka kofeina iz gelova.

Na temelju dosadašnjih istraživanja u području alternativnih izvora kofeina, može se zaključiti da akutni učinci kofeina iz guma za žvakanje i kofeina iz gela nisu dovoljno istraženi u području utjecaja na jakost i snagu, te da postoji velika varijabilnost po pitanju korištene doze kofeina.

3. UČINAK KOFEINA IZ KAPSULA NA MIŠIĆNU JAKOST I SNAGU

U većini istraživanja koja proučavaju učinak unosa kofeina na tjelesnu izvedu, sudionici unose kofein u obliku kapsule i čekaju 60 minuta prije početka vježbanja (Wickham i Spriet, 2018; Grgić i sur., 2019). Ovaj period čekanja se koristi s idejom da razine kofeina u krvnoj plazmi dostižu vršne vrijednosti ~60 min nakon unosa kapsule koja sadrži kofein (Graham, 2001). Postojanje akutnih učinaka kofeina je bilo toliko očito da je već početkom prošlog stoljeća objavljeno prvo istraživanje o utjecaju kofeina na tjelesnu izvedbu (Rivers i Webber, 1907). Međutim, trebalo je puno vremena kako bi se ispitivanje akutnih učinaka kofeina na tjelesnu izvedbu počelo provoditi sistematizirano i na značajnijim uzorcima sudionika. Stoga, pravim pionirima u području istraživanja akutnog utjecaja kofeina na dimenzije mišićne jakosti, snage i izdržljivosti mogu se smatrati autori Astorino, Rohmann i Firth (2007). Oni su, na uzorku od dvadeset i dva mlada utrenirana muškarca, testirali učinak kofeina iz kapsule u dozi od 6 mg/kg te su zaključili da kofein nije poboljšao jakost (1RM) ni mišićnu izdržljivost, iako je konzumacija kofeina, u usporedbi s placebo, poboljšala mišićnu izdržljivost za 11-12% unatoč statističkoj neznačajnosti razlika.

Od tada je proveden značajan broj istraživanja čiji su rezultati u velikoj većini slučaja pokazali postojanje ergogenih učinaka kofeina na tjelesnu izvedbu. Na primjer, jedno istraživanje usredotočeno na mišiće ekstenzore potkoljenice, pokazalo je na uzorku od 13 studenata da kofein značajno povećava (+10.4%) maksimalnu voljnu mišićnu kontrakciju u usporedbi s placebo (Park i sur., 2008). Sudionici su konzumirali kofein iz kapsula u dozi od 6 mg/kg, dok se u placebo kapsuli koristila jednaka količina brašna. Nakon konzumacije kapsula, ispitanici su čekali 30 minuta prije početka testiranja.

Drugo istraživanje na uzorku od petnaest žena je izvijestilo da, u usporedbi s placebo kapsulom, doza kofeina od 6 mg/kg značajno poboljšava maksimalnu jakost (+1.5%) u potisku s ravne klupe koje je testirano 60 minuta nakon konzumacije kofeina (Goldstein i sur., 2010). U drugom istraživanju doza od 300 mg kofeina administrirana putem kapsula nije pokazala ergogeni učinak u vidu maksimalne jakosti, na uzorku od devet muškaraca s iskustvom u treningu s otporom u testu potiska s ravne klupe (Williams i sur., 2008). Na uzorku od deset

sportašica je pokazano da kofein iz kapsula u dozi od 6 mg/kg značajno povećava ekscentričnu jakost fleksora ($p < 0.05$; veličina učinka = 0.45) i ekstenzora koljena ($p < 0.05$; veličina učinka = 0.24), ali ne i koncentričnu jakost fleksora ($p = 0.327$; veličina učinka = 0.11) i ekstenzora ($p = 0.0523$; veličina učinka = 0.29) koljena, kao ni tjelesnu izvedbu u vidu skoka s pripremom ($p = 0.582$; veličina učinka = 0.08) koja je procijenjena varijablom visina odraza (Ali i sur., 2016).

Bloms i suradnici (2016) su ispitali učinak kofeina od 5 mg/kg u usporedbi s placeboom na dvadeset i pet studenata sportaša. Oni su šezdeset minuta nakon unosa kofeina (ili placebo) izvršili tri maksimalna skoka s pripremom, te se pokazalo da je kofeina djelovao ergogeno i značajno poboljšao visinu skoka (36.4 ± 6.9 vs. 37.9 ± 7.4 cm; $p = 0.001$). Na uzorku od dvanaest visoko utreniranih muškaraca je ispitivan učinak kofeina iz kapsula u dozi od 3mg/kg, administriran 60 minuta prije početka testiranja (Mora-Rodríguez i sur., 2012). U praćenim varijablama snage i jakosti prilikom vježbi stražnjeg čučnja i potiska s ravne klupe, kofein je poboljšao rezultate za 4.6-5.7% ($p < 0.05$) u odnosu na placebo kojeg je činila ista doza dekstroze u kapsuli. Drugo slično istraživanje je koristilo istu dozu kofeina iz kapsula (3 mg/kg) na skupini od četrnaest brazilskih jiu-jitsu sportaša i pokazalo je da kofein djeluje ergogeno u odnosu na placebo u varijabli visine odraza (cm) kod skoka s pripremom (+2.7%, veličina učinka = 0.2) i kod brzine kretanja šipke (m/s) prilikom potiska s ravne klupe (+5.3%) (Diaz-Lara i sur., 2016).

Na uzorku od sedamnaest utreniranih muškaraca je pokazano da doza kofeina od 6 mg/kg poboljšava jakost mišića donjih ekstremiteta procijenjenom putem stražnjeg čučnja (+3%), ali ne i jakost gornjih ekstremiteta testiranu putem potiska s ravne klupe (Grgić i Mikulić, 2017). Također, kofein iz kapsula je poboljšao snagu mišića gornjih ekstremiteta testiranu putem bacanja medicinske s prsa, ali ne i snagu donjih ekstremiteta procijenjenu putem vertikalnog odraza u testu skoka s pripremom, te nije imao utjecaja na mišićnu izdržljivost (Grgić i Mikulić, 2017). Međutim, kasniji pregled literature pokazuje drugačije rezultate, te izvješćuje da kofein iz kapsula povećava jakost i snagu gornjih, ali ne i donjih ekstremiteta (Grgić i sur., 2018). Drugo istraživanje pokazuje da kofein može značajno poboljšati mišićnu jakost, snagu i mišićnu izdržljivost u treningu s otporom (Grgić, 2018), dok nešto recentniji pregledni rad potvrđuje da kofein može značajno poboljšati jakost, snagu te mišićnu izdržljivost gornjih i donjih ekstremiteta, te dodatno ukazuje na činjenicu da kofein može značajno poboljšati i tjelesnu izvedbu u vidu maksimalne brzine trčanja (Grgić i sur., 2020).

Zanimljivo je što postoje dokazi da kofein može djelovati pozitivno na velike mišićne skupine, ali ne i na male mišićne skupine. Jedno istraživanje koje je proučavalo učinak kofeina iz kapsula (6 mg/kg) u usporedbi s placeboom na različite mišićne skupine donjih i gornjih ekstremiteta na uzorku od šesnaest muškaraca s iskustvom u treningu s otporom, kofein je djelovao ergogeno u odnosu na placebo u praćenoj varijabli vršnog momenta sile ekstenzora koljena (+13.7%, veličina učinka = 0.53), plantarnih fleksora stopala (+11.2%, veličina učinka = 0.43), fleksora lakta (+9.1%, veličina učinka = 0.38), te fleksora šake (+6.3%, veličina učinka = 0.36) mjerenu na izokinetičkom uređaju (Timmins i Saunders, 2014). U drugom istraživanju u kojem se analizirao učinak kofeina na maksimalne voljne kontrakcije je pokazano da konzumacija kofeina može značajno povećati maksimalnu voljnu kontrakciju mišića za približno 4% (Warren i sur. 2010). Međutim, taj se učinak činio vidljivim prije svega u ekstenzorima potkoljenice (+7%), ali ne i u manjim mišićnim skupinama, poput dorzalnih fleksora gležnja. Slične rezultate je pokazalo i drugo istraživanje koje je izvijestilo da konzumacija kofeina poboljšava jakost u ekstenzorima potkoljenice, ali ne i u fleksorima lakta (Tallis i Yavuz, 2018), što podržava hipotezu da korist od suplementacije kofeinom može varirati ovisno o veličini mišićnih skupina. U tom dvostruko-slijepom istraživanju u kojemu se testirala jakost na izokinetičkom uređaju, ispitanici su konzumirali kofein u dozi 3 ili 6 mg/kg, rezultati su pokazali pozitivan učinak kofeina na mišićnu jakost donjih ekstremiteta mjerenu na izokinetičkom uređaju te nije bilo razlike između doza kofeina (Tallis i Yavuz, 2018). Utvrđeno je da se može očekivati veličina učinka od 0.16 (+6%), što sugerira da konzumacija kofeina pouzdano poboljšava jakost u uvjetima izokinetičke mišićne akcije. Te su spoznaje u skladu s rezultatima meta-analize koja ukazuje na činjenicu da je učinak kofeina na manjim mišićnim skupinama, poput fleksora lakta, zanemariv, a pozitivan učinak je uočen isključivo kod većih mišićnih skupina poput ekstenzora potkoljenice (Grgić i Pickering, 2019).

Većina istraživanja u području učinaka kofeina iz kapsula na tjelesnu izvedbu su uspoređivala kofein s placeboom. Međutim, u zadnje vrijeme se uz eksperimentalni i placebo uvjet, dodaje i kontrolni uvjet odnosno kontrolno mjerenje (Beedie i Foad, 2009). Postoji nekoliko primjera u kojima je primjena placeba imala pozitivan učinak na rezultate vježbanja, te se predlaže istraživačima da uključe kontrolni uvjet u kojem će se procjenjivati izvedba vježbi bez ikakve konzumacije (Beedie i Foad, 2009). Na primjer, u jednom istraživanju se koristio nacrt istraživanja u kojem su sudionicima rekli da su jednom konzumirali kofein, a drugi put placebo, iako su u oba slučaja konzumirali placebo (Duncan i sur., 2009). Povećanje mišićne

izdržljivosti uočeno je isključivo kada su sudionici mislili da su konzumirali kofein. Usporedba izvedbe vježbi nakon unosa kofeina ili placeba s kontrolnim mjerenjem može pomoći u razumijevanju izoliranog učinka kofeina, te izoliranog učinka placeba na tjelesnu izvedbu. Ove preporuke ponovljene su u nedavnom konsenzusu o učincima placeba u sportu i vježbanju (Beedie i sur., 2018). Također, i novija istraživanja podržavaju ideju dodavanja kontrolne skupine bez placeba (Marticorena i sur., 2021). Uključivanje kontrolnog uvjeta vrijedno je jer će u praktičnom kontekstu osoba ili konzumirati ili neće konzumirati kofein. Stoga usporedba učinaka kofeina s kontrolnim mjerenjem (mjerenjem bez prethodne konzumacije) omogućava kvantificiranje njegovog stvarnog praktičnog učinka. Budući da do sada nije provedeno kontrolno mjerenje u ovakvim istraživanjima u kojima se ispitivao učinak kofeina iz kapsula, potrebno je uključiti kontrolno mjerenje kako bi se povećala vrijednost rezultata učinka kofeina iz kapsula na jakost i snagu, s obzirom da je to područje istraživanja do sada bilo dobro istraženo isključivo u kontekstu učinka kofeina u usporedbi s placebo.

4. OPTIMALNA DOZA KOFEINA U CILJU POBOLJŠANJA TJELESNE IZVEDBE

S obzirom na moguće negativne nuspojave koje neke osobe mogu imati nakon konzumacije kofeina, ključno je razumjeti koje je rezultate moguće postići s različitim dozama kofeina kako bi se optimizirao proces suplementacije kofeinom. Prema starijim smjernicama Međunarodnog društva za sportsku prehranu iz 2010. godine, preporučena doza kofeina od 3 - 6 mg/kg tjelesne mase, uzeta 60 minuta prije vježbanja, trebala bi rezultirati poboljšanjem tjelesne izvedbe (Goldstein i sur., 2010). U recentnijem radu iste institucije, kofein je konzistentno pokazao poboljšanje učinka vježbanja kada se konzumirao u dozama od 3–6 mg/kg tjelesne mase (Guest i sur., 2021). I dalje nije poznato koja je minimalna efektivna doza kofeina, ali čini se da bi mogla biti otprilike 2 mg/kg tjelesne mase (Guest i sur., 2021). Također, vrlo visoke doze kofeina (9 ili više mg/kg) povezane su s visokom učestalošću nuspojava i ne čine se potrebnima za postizanje ergogenog učinka kofeina (Guest i sur., 2021).

Dokazano je da postoje ergogeni učinci vrlo niskih doza kofeina na tjelesnu izvedbu u treningu s otporom, te je utvrđeno da kofein može djelovati ergogeno u dozama od 1-2 mg/kg na različite varijable u treningu s otporom (Grgić, 2022). Veličina učinaka malih doza kofeina bila je slična veličini učinka suplementacije većim dozama kofeina te je iznosila 0.17 za mišićnu jakost i 0.56 za prosječnu brzinu. Ovi nalazi naglašavaju da su minimalne ergogene doze kofeina niže nego što je prethodno sugerirano (Goldstein i sur., 2010). Za većinu pojedinaca, doza od približno 1 do 2 mg/kg ekvivalentna je dozi kofeina u jednoj do dvije šalice kave (Grgić, 2022).

Iako nema suglasnosti u literaturi po pitanju optimalne doze kofeina, općenito se smatra da se najpovoljniji učinci postižu konzumacijom kofeina od 3 do 6 mg/kg tjelesne mase (Grgić i sur., 2020). Značajan broj istraživanja koja su uspoređivala učinke konzumacije 3 ili 6 mg/kg kofeina su izvijestila da su obje doze bile ergogene bez značajnih razlika između uvjeta (Karayigit i sur., 2020; Polito, Grandolfi i de Souza, 2019; Wilk i sur., 2020). Međutim, nekoliko je istraživanja pokazalo da, iako su i manje doze kofeina djelovale ergogeno, veće su doze bile učinkovitije u određenim uvjetima (Tallis i sur., 2022).

Na skupini mladih žena s iskustvom u treningu s otporom doze od 3 ili 6 mg/kg kofeina su povećale mišićnu jakost (1RM), ali je veća doza bila značajno učinkovitija (Filip-Stachnik i sur., 2021). Drugo istraživanje je proučavalo učinak kofeina u dozama od 2mg/kg, 4mg/kg i 6mg/kg na skupinu muškaraca s iskustvom u treningu s otporom, te je pokazan trend doza-činak za jakost gornjih ekstremiteta. Odnosno, ispitanici su imali značajno bolje rezultate kada su unosili veću dozu kofeina (Grgić i sur., 2019b). Zanimljivo je da u tom istom istraživanju nije bilo razlike između različitih doza u pogledu učinaka na jakost donjih ekstremiteta u testu stražnjeg čučnja. Drugi autori su istražili i usporedili učinak doza kofeina od 3, 6 i 9 mg/kg, te su zaključili da su sve doze bile ergogene za povećanje brzine kretanja šipke i povećanje vršnog momenta sile kod manjih opterećenja, ali samo najveća doza kofeina je bila učinkovita za poboljšanje jakosti kod maksimalnih opterećenja od 90% 1RM (Pallares i sur., 2013). Važno je napomenuti da su negativne nuspojave (nesanica, povećana potreba za mokrenjem, glavobolje, nervoza i tahikardija) bile drastično veće u uvjetima konzumacije 9 mg/kg kofeina u usporedbi s manjim dozama (Pallares i sur., 2013).

Jedno je istraživanje koristilo dozu od čak 11 mg/kg i pokazalo je ergogeni učinak kofeina (Wilk i sur., 2019), međutim, takve visoke doze čine se nepotrebnima s obzirom na visoki rizik nuspojava (Pallares i sur., 2013). S druge strane, po pitanju minimalne efikasne doze kofeina, utvrđeno je da fiksna doza od 100 mg (~1.5 mg/kg) može biti ergogena za mišićnu jakost (Waller i sur., 2020). Također, jako mala doza kofeina od samo 1-2 mg/kg može biti učinkovita za poboljšanje tjelesne izvedbe u vidu visine odraza (Grgić, 2022). S obzirom da postoje i istraživanja (Del Coso i sur., 2012) koje navode da doza od 1 mg/kg kofeina nije poboljšala tjelesnu izvedbu, čini se da je minimalna potrebna doza kofeina za poboljšanje tjelesne izvedbe oko 1.5 mg/kg (Waller i sur., 2020).

Zaključno, čini se da, u većini slučajeva, konzumacija malih doza kofeina (1-2 mg/kg) može djelovati jednako ergogeno kao i visoke doze kofeina (6-9 mg/kg) (Grgić, 2021). Stoga, izgleda da bi doza kofeina od ~3.0 mg/kg mogla biti optimalna po pitanju omjera rizika i koristi, kada je cilj imati značajan ergogeni učinak uz minimalni rizik od nuspojava (de Sousa i sur., 2022). Međutim, kada je u pitanju poboljšanje maksimalne jakosti, izgleda da bi veća doza kofeina (>6 mg/kg) ponekad mogla biti učinkovitija (Tallis i sur., 2022). Na temelju ovih nalaza potrebno je ispitati da li doze od približno 3 mg/kg (gume za žvakanje i gelovi) te 6 mg/kg (kapsule) mogu postići ergogene učinke kofeina uz minimalne nuspojave. Na temelju ovih nalaza, odlučili smo koristiti upravo ove doze u istraživanju. S obzirom da se čini da kofein ima

ergogeni učinak kada se konzumira iz različitih izvora, odlučili smo napraviti i direktnu usporedbu učinka kofeina iz guma za žvakanje i kofeina iz gela, budući da će biti konzumirana ista apsolutna doza kofeina iz ta dva izvora. Takva direktna usporedba nije provedena u prethodnim istraživanjima ovog područja.

5. OGRANIČENJA DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA I OTVORENA PITANJA

Temeljem pregleda dosadašnjih istraživanja može se zaključiti da učinci kofeina iz alternativnih izvora (gelovi, gume za žvakanje) nisu dovoljno istraženi u kontekstu mišićne jakosti i snage, te postoji velika varijabilnost po pitanju doza kofeina i praćenih varijabli. Neki od tih izvora su se pokazali kao učinkoviti u području aerobne izvedbe, ali utjecaj na mišićnu jakost i snagu ostao je neistražen u određenim aspektima. Objavljeno je nekoliko meta-analiza koje pokazuju značajne učinke kofeina na mišićnu jakost i snagu, ali većina radova uključenih u te analize je koristilo razmjerno visoke doze kofeina (najčešće 6 mg/kg) te protokol koji uključuje čekanje od 60 minuta nakon unosa kofeina. Kofein iz alternativnih izvora generalno se brže apsorbira u tijelu i rezultira s manje nuspojava, što bi bila komparativna prednost u domeni tjelesnog vježbanja i sportskog treninga i natjecanja, u odnosu na suplementaciju kofeinom iz kapsula, kada bi njihova konzumacija rezultirala istim ili većim učinkom na mišićnu jakost i snagu. Konačno, od interesa je i izravna usporedba učinaka kofeina iz različitih alternativnih izvora na mišićnu jakost i snagu. Također, ne postoje istraživanja koja su izvijestila o učincima kofeina iz gume za žvakanje i gela na snagu mišića cijelog tijela.

S druge strane, u području istraživanja utjecaja kofeina na tjelesnu izvedbu općenito, i utjecaja na mišićnu jakost i snagu specifično, potrebno je usporediti učinak kofeina i učinak placeba s kontrolnim mjerenjem tj. mjerenjem bez suplementacije. Ovo je važno s obzirom da postoje konkretni dokazi da bi placebo mogao imati značajan učinak na tjelesnu izvedbu te da bi mogao biti odgovoran za dio ergogenih učinaka suplementacije kofeinom. U ovom doktorskom radu smo odlučili koristiti umjerenu dozu kofeina u apsolutnom iznosu od 300 mg koja bi na temelju prethodnih istraživanja u ovom području trebala biti dovoljno velika za postizanje ergogenih učinaka, ali ne bi trebala uzrokovati značajne negativne nuspojave. Relativna doza kofeina na ovom uzorku ispitanika je bila u rasponu od 2.7 mg/kg do 4.5 mg/kg, što je značajno manje od uobičajene doze od 6 mg/kg koja se najčešće koristi u istraživanjima koja proučavaju učinak kofeina iz kapsula.

6. CILJ I HIPOTEZE RADA

Primarni cilj istraživanja je ispitati akutne učinke kofeina iz takozvanih alternativnih izvora (guma za žvakanje, gel) na mišićnu jakost i snagu u osoba iskusnih u treningu s otporom.

Sekundarni cilj je izravno usporediti kofein iz gelova i guma za žvakanje, u istoj apsolutnoj dozi, u pogledu učinaka na mišićnu jakost i snagu u osoba iskusnih u treningu s otporom.

Tercijarni cilj odnosi se na ispitivanje učinka kofeina iz kapsula na mišićnu jakost i snagu u osoba iskusnih u treningu s otporom i uspoređivanje tih učinaka s učinkom placebo kapsula s jedne i s kontrolnim mjerenjem (mjerenjem bez suplementacije) s druge strane.

Hipoteze istraživanja su sljedeće:

H1: Konzumacija kofeina iz gume za žvakanje u apsolutnom iznosu od 300 mg akutno će poboljšati izvedbu u testovima mišićne jakosti i snage u odnosu na placebo gumu za žvakanje.

H2: Konzumacija kofeina iz gela u apsolutnom iznosu od 300 mg akutno će poboljšati izvedbu u testovima mišićne jakosti i snage u odnosu na placebo gel.

H3: Konzumacija kofeina iz gela i iz gume za žvakanje, u istoj apsolutnoj dozi, imati će podjednake učinke u pogledu akutnog poboljšanja izvedbe u testovima mišićne jakosti i snage.

H4: Konzumacija kofeina iz kapsule u relativnom iznosu od 6 mg/kg akutno će poboljšati izvedbu u testovima mišićne jakosti i snage, a to poboljšanje bit će evidentno i u odnosu na placebo kapsulu i u odnosu na kontrolno mjerenje.

7. METODE RADA

7.1. SUDIONICI

Kriteriji uključivanja sudionika u ovom istraživanju bili su: (a) muški spol, dob 18 - 45 godina; (b) odsustvo mišićno-koštanih ozljeda i bolesti; (c) prethodno iskustvo u treningu s otporom u trajanju od minimalno godinu dana; te (d) sposobnost uspješnog savladavanja opterećenja jednakom najmanje 100% svoje trenutne tjelesne mase u vježbi potiska s ravne klupe. Kriteriji isključenja iz ovog istraživanja bili su: (a) uporaba anaboličkih steroida i/ili (b) korištenje kofeina kao dodatka prehrani posljednjih 6 mjeseci prije početka istraživanja. Sudionici koji su koristili kofein u obliku dodatka prehrani su isključeni iz istraživanja jer postoji mogućnost da lakše identificiraju kofein što može narušiti dvostruko slijepi nacrt istraživanja (Saunders i sur., 2017).

Temeljeno na analizi provedenoj koristeći G*Power program s očekivanom veličinom učinka (f) od 0.20 (varijabla = brzina koncentričnog dijela pokreta na testu potisak s ravne klupe), statističkom snagom od 0.80, alpha vrijednosti od 0.05, jednom grupom, dva mjerenja i očekivanom korelacijom između mjerenja od $r = 0.90$ (Grgić i Mikulić, 2017), minimalan potreban broj sudionika za ovo istraživanje je dvanaest.

U segmentu istraživanja utjecaja kofeinskih guma za žvakanje na jakost i snagu sudjelovalo je 19 sudionika (aritmetička sredina (AS) \pm standardna devijacija (SD): dob: 24 ± 5 godina, visina 183 ± 5 cm, tjelesna masa 83 ± 10 kg). Svi izuzev jednog sudionika završili su predviđena testiranja bilateralnog vertikalnog skoka s pripremom, izokinetičko testiranje, potisak s ravne klupe i testiranje na veslačkom ergometru te su ušli u završnu analizu.

U segmentu istraživanja utjecaja kofeina iz gelova na jakost i snagu sudjelovalo je 17 sudionika (aritmetička sredina (AS) \pm standardna devijacija (SD): dob: 23 ± 2 godine, visina 183 ± 5 cm, tjelesna masa 83 ± 11 kg). Svih 17 sudionika završilo je testiranje vertikalnog skoka s pripremom, izokinetičko testiranje, potisak s ravne klupe i testiranje na veslačkom ergometru.

U segmentu istraživanja utjecaja kapsula s kofeinom na jakost i snagu sudjelovalo je 26 sudionika (aritmetička sredina (AS) \pm standardna devijacija (SD): dob: 23 ± 2 godina, visina 183 ± 7 cm, tjelesna masa 83 ± 11 kg) od kojih je svih 26 završilo testiranje vertikalnog skoka s pripremom, 25 je završilo testiranje na izokinetičkom uređaju, potisku s ravne klupe te na veslačkom ergometru.

7.2. PRISTUP PROBLEMU, VRSTA I EKSPERIMENTALNI NACRT ISTRAŽIVANJA

Ovo istraživanje karakterizira randomizirani, dvostruko slijepi, placebo kontrolirani eksperimentalni nacrt s ukriženim ustrojem (eng. *cross-over design*). Pored testiranja ispitanika u sklopu osnovnog istraživanja (vidjeti daljnji tekst za opis), provedeno je i dodatno pilot testiranje s pet sudionika (kroz dva dolaska) za određivanje koeficijenta varijacije (CV) rezultata u pojedinim testovima koji su poslužili za procjenu pouzdanosti mjernih instrumenata (Tablica 1.)

Prvi dolazak u laboratorij se sastojao od potpisivanja informiranog pristanka, ispunjavanja PAR-Q (Physical Activity Readiness Questionnaire) obrasca s ciljem procjene zdravstvenog stanja, te upitnika za procjenu habitualnog unosa kofeina (Bühler i sur., 2014). Prilikom prvog dolaska sudionici su se upoznali s testovima tjelesne izvedbe. Tijekom idućih sedam dolazaka sudionici su nasumično dobivali tretman (suplementaciju) koji je sadržavao konzumaciju kofeina ili placebo iz različitih izvora (gel, gume za žvakanje, kapsule). Dodatno, prilikom jednog dolaska u sklopu istraživanja učinka kofeina iz kapsula, sudionici su imali i testiranje bez ikakve suplementacije (tzv. kontrolno mjerenje).

Svako od spomenutih sedam testiranja provedeno je u jutarnjim satima s obzirom da istraživanja upućuju na to da su učinci kofeina na tjelesnu izvedbu tada veći (Mora-Rodríguez i sur., 2012). Sudionici su bili zamoljeni da zadrže iste navike spavanja tijekom istraživanja, da prestanu konzumirati kofein najkasnije u 18:00 h dan prije svakog testiranja i da ne sudjeluju u intenzivnim fizičkim aktivnostima dan prije testiranja. Kako bi se olakšao proces restrikcije kofeina, sudionici su dobili opsežan popis najčešće hrane i pića koji sadrže kofein (Slika 1.)

Tablica 1. Test-retest pouzdanosti eksperimentalnog protokola utvrđena na pilot uzorku od pet sudionika

Testovi	Varijabla (mjerna jedinica)	Prosječan koeficijent varijacije
Bilateralni vertikalni skok s pripremom	Visina skoka (cm)	1.3%
Ekstenzija potkoljenice pri 60°/s	Vršni moment sile (Nm)	2.5%
	Prosječna snaga (W)	1.7%
Fleksija potkoljenice pri 60°/s	Vršni moment sile (Nm)	5.3%
	Prosječna snaga (W)	4.4%
Ekstenzija potkoljenice pri 180°/s	Vršni moment sile (Nm)	2.1%
	Prosječna snaga (W)	2.7%
Fleksija potkoljenice pri 180°/s	Vršni moment sile (Nm)	5.9%
	Prosječna snaga (W)	5.0%
Potisak s ravne klupe na 50% 1RM	Brzina šipke (m/s)	1.7%
Potisak s ravne klupe na 75% 1RM	Brzina šipke (m/s)	3.6%
Potisak s ravne klupe na 90% 1RM	Brzina šipke (m/s)	5.1%
Test na veslačkom ergometru	Vršni izlaz snage (W)	2.5%

1RM: jedno maksimalno ponavljanje

KAVA
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
Instant kava
Kava iz samposlužnih automata
Ledena kava (ice coffee)
ČAJ
Crni čaj
Zeleni čaj i varijacije (bijeli, žuti)
Oolong čaj
Mate čaj
Guarana čaj
Ledeni čaj (Ice-Tea)
Energetski napici
Energetski napici (Red Bull, Burn, Red Bat, Monster, Hell, S-budget, Lidl Kong Energy drink, itd.)
Napici koji sadrže guaranu
Energetski „shotovi“ (mogu sadržavati guaranu, kofein, taurin, u kombinacijama)
GAZIRANI NAPICI
Coca Cola, regularna
Coca Cola, Zero, Light
Pepsi Cola, Max
DESERTI OD ČOKOLADE*
*sadrže nižu razinu koncentracije kofeina i kofeinu srodnih tvari u odnosu na gore navedene napitke
Kakao napitak
Vruća čokolada
Tamna čokolada
Čokolada
Čokoladni preljevi
Pudinzi i kreme od čokolade

Slika 1. Popis namirnica koje sadrže kofein. Ova se tablica koristila u istraživanju s ciljem edukacije sudionika kako bi bili upućeni koje namirnice izbjegavati u večernjim satima dan prije testiranja.

Sudionici su zamoljeni da prate ukupni kalorijski unos na dan prije svakog testiranja pomoću aplikacije za praćenje prehrane (MyFitnessPal), te da ne mijenjaju značajno uobičajen obrazac prehrane, što je standardna procedura i učestalo korišten pristup u sličnim istraživanjima (Jeacocke i Burke, 2010). Jedan vanjski suradnik je napravio randomizaciju koja je odredila redoslijed konzumacije kofeina odnosno placeba za svakog sudionika. Drugi vanjski suradnik je punio kapsule kofeinom i dekstrozom (placebom) pomoću precizne digitalne vage. Sve gume za žvakanje, kapsule i gelovi bili su identičnog izgleda. Na svakom testiranju sudionici su bili zamoljeni da dođu natašte (dopuštala se konzumacija obične negazirane vode), što se provjeravalo pri svakom dolasku. Po završetku svakog testiranja sudionici su odgovorili na pitanje vezano za učinkovitost zasljepljivanja (Saunders i sur., 2017). Odmah nakon svakog testiranja te jutro nakon, sudionici su odgovarali na upitnik koji se sastoji od osam pitanja vezanih za incidenciju nuspojava (Pallares i sur., 2013).

Pri drugom i trećem dolasku u laboratorij testirao se učinak kofeinskih guma za žvakanje u usporedbi s placebom. Slijedom prethodno provedene randomizacije, sudionici su dobili kofeinsku gumu za žvakanje ili placebo gumu za žvakanje deset minuta prije početka testiranja. Kofeinska guma za žvakanje je sadržavala kofein u apsolutnoj dozi od 300 mg (Military Energy Gum®, Ford Gum and Machine Co, Akron, NY, USA.). Placebo gume za žvakanje bile su komercijalno dostupni proizvod koji je sličnog okusa i mirisa (Spearmint Extra® professional, Wrigley's, Chicago, IL, USA). Ova doza i kombinacija kofeina i placeba se prethodno pokazala kao učinkovita za aktivnosti visokog intenziteta te se pokazala kao učinkovita kombinacija za održavanje dvostruko slijepog nacrta (Paton, Lowe i Irvine, 2010).

Pri četvrtom, petom i šestom dolasku u laboratorij testirao se učinak „tradicionalnog“ izvora kofeina, odnosno kofeina iz kapsula konzumiran 60 minuta prije početka testiranja. Slijedom prethodno provedene randomizacije, sudionici su konzumirali kofeinsku kapsulu, placebo kapsulu ili nisu konzumirali ništa. Kofein je konzumiran u relativnoj dozi od 6 mg/kg (Myprotein, Leeds, UK). Placebo kapsula je sadržavala istu količinu dekstroze. Ova doza i kombinacija kofeina i placeba se prethodno pokazala kao učinkovita za aktivnosti visokog intenziteta te se pokazala kao učinkovita kombinacija za održavanje dvostruko slijepog nacrta (Grgić i Pickering, 2018; Duncan i sur., 2018).

Pri sedmom i osmom dolasku u laboratorij testirao se učinak kofeinskog gela konzumiranog deset minuta prije početka testiranja. Slijedeći prethodno provedenu

randomizaciju, sudionici su dobili kofeinski gel ili placebo gel. Gel s kofeinom je konzumiran u apsolutnoj dozi od 300 mg (Smart 1 Energizer Gel, Science in Sport). Placebo gel je bio komercijalno dostupan proizvod sličnog okusa i mirisa (Go Isotonic Energy Gel, Science in Sport). Ova doza i kombinacija kofeina i placeba se prethodno pokazana učinkovitim za aktivnosti visokog intenziteta, a također se pokazala učinkovitim kombinacijom za održavanje dvostruko slijepog nacrt (Scott i sur., 2015).

Za procjenu učinkovitosti zasljepljivanja, neposredno prije početka prvog testa tj. 10 minuta nakon konzumacije gelova i guma za žvakanje, te 60 minuta nakon konzumacije kapsula, sudionici su odgovarali na standardizirano pitanje: "Koji suplement mislite da ste danas dobili?" Ponuđeni odgovori su bili sljedeći: (a) kofein; (b) placebo; (c) ne znam. Isto pitanje je ponovljeno na kraju svakog testiranja.

Sva testiranja su obavljena u jutarnjim satima (između 7:00 i 9:00 sati) za sve sudionike. Sudionici su imali minimalno tri i maksimalno šest dana odmora između pojedinih testiranja. Cjelokupno istraživanje je provedeno u Laboratoriju za motoričku kontrolu i izvedbu te u Sportsko dijagnostičkom centru Kineziološkog fakulteta. Etičko odobrenje za provedbu istraživanja zatraženo je i dobiveno od strane Povjerenstva za znanstveni rad i etiku Kineziološkog fakulteta u Zagrebu (na sjednici Povjerenstva održanoj 15. veljače 2019. godine; broj dokumenta 48/2019). Sva testiranja bila su nadzirana od strane autora i svi su sudionici pravovremeno informirani o zahtjevima, koristima i rizicima testiranja te su potpisali informirani pristanak za sudjelovanje u istraživanju.

7.3. PROCJENA SNAGE MIŠIĆA DONJIH EKSTREMITETA

Nakon zagrijavanja započeo je protokol testiranja. Snaga donjeg dijela tijela se procjenjivala prva i to indirektno kroz test bilateralnog vertikalnog skoka s pripremom, sukladno protokolu istraživanja (Bloms i sur., 2016). Sudionici su izveli tri skoka s pripremom na platformi za mjerenje sile (BP600600, AMTI, Inc., 86 Watertown, MA, SAD) koja je povezana s posebno razvijenim softverom za prikupljanje i analizu podataka. U testu skoka s pripremom sudionici su kretali iz uspravnog stojećeg položaja. Nakon naredbe ispitivača,

sudionici su izveli brzu fleksiju potkoljenice, pri čemu bi njihov najniži položaj bio položaj polučučnja (kut u koljenima $\sim 90^\circ$ i trup/kukovi u savijenom položaju), nakon čega je odmah uslijedila snažna ekstenzija nogu te odraz. Sudionici su dobili upute da skoče što brže i što eksplozivnije. Izveli su jedan probni i tri službena pokušaja. Sudionici su imali minutu odmora između svakog skoka, a za analizu se koristio najviši skok iz službenih pokušaja. Iz pilot testiranja na pet sudionika koji su ponovili protokol testiranja dva puta tijekom različitih dana, izračunati koeficijent varijacije za visinu skoka iznosio je 1.3%.

7.4. PROCJENA JAKOSTI I SNAGE MIŠIĆA NATKOLJENICE NA IZOKINETIČKOM UREĐAJU

Jakost i snaga donjeg dijela tijela procjenjivala se na izokinetičkom uređaju (System 4 Pro, Biodex Medical Systems, Inc., Shirley, NY, SAD). Testirana je koncentrična mišićna akcija fleksije i ekstenzije potkoljenice pri kutnim brzinama od $60^\circ/\text{s}$ i $180^\circ/\text{s}$ te su praćene varijable bile: vršni moment sile pri fleksiji i ekstenziji potkoljenice te prosječna snaga pri fleksiji i ekstenziji potkoljenice. Uređaj je kalibriran prije svakog testiranja, a procjena je obavljena samo za dominantnu nogu. Nakon postavljanja sudionika u sjedeći položaj, stabilizacijski remeni su postavljeni na trup, struk, bedra i potkoljenicu. Lateralni femoralni epikondil dominantne noge bio je poravnat s osi rotacije dinamometra.

Opseg pokreta zgloba koljena u ovom testu postavljen je na 80° , a korištene su kutne brzine $60^\circ/\text{s}$ i $180^\circ/\text{s}$ (testirano tim redosljedom). Kako bi se navikli na brzinu kraka poluge, sudionici su prvo izveli tri uvodna ponavljanja. Uvodna ponavljanja su izvedena pri obje kutne brzine. Nakon uvodnih ponavljanja, sudionici su odmarali 30 sekundi nakon čega su izveli pet maksimalnih ekstenzija i fleksija potkoljenice s uputama da opružaju i savijaju potkoljenicu u koljenu što jače i što brže mogu.

Za analizu su korišteni vršni moment sile i prosječna snaga ekstenzora i fleksora potkoljenice pri kutnim brzinama od $60^\circ/\text{s}$ i $180^\circ/\text{s}$. Iz pilot testiranja izračunat je koeficijent varijacije koji se za vršni moment sile i prosječni izlaz snage ekstenzije potkoljenice pri objema kutnim brzinama kretao od 1.7% do 2.7%. Odgovarajući koeficijenti varijabilnosti za fleksore potkoljenice bili su u rasponu od 4.4% do 5.9%.

7.5. PROCJENA SNAGE MIŠIĆA GORNJIH EKSTREMITETA

Snaga mišića gornjih ekstremiteta procjenjivala se putem vježbe potiska s ravne klupe. Varijabla od interesa u ovom testu bila je brzina izvedbe koncentričnog dijela pokreta. Za procjenu brzine kretanja šipke u vježbi potiska s ravne klupe koristila se validirana i pouzdana aplikacija za mobilni uređaj PowerLift (Balsalobre-Fernandez i sur., 2017). Vrijednosti dobivene ovom aplikacijom u visokoj su korelaciji ($r=0.97-0.98$) s linearnim pretvornikom pomaka (eng. *linear position transducer*), koji predstavlja zlatni standard za procjenu brzine kretanja šipke (Balsalobre-Fernandez i sur., 2017).

PowerLift aplikacija omogućuje: (1) video snimanje izvedbe potiska; (2) pregled snimljenog videa kadar po kadar; i (3) ručni odabir početka i kraja pokreta. Za vježbu korištenu u ovom istraživanju (potisak s ravne klupe), trenutak kada je uteg napustio prsa sudionika smatran je početnom fazom pokreta. Potpuna ekstenzija sudionikovih laktova označavala je kraj pokreta. Ishod ovog testa bila je prosječna brzina utega tijekom potiska.

Temeljeno na protokolu Pallaresa i suradnika (2013), sudionici su radili ovaj test s tri razine opterećenja (50% 1RM, 75% 1RM i 90% 1RM). Tri razine opterećenja odabrane su kako bi se pokrile različite kombinacije odnosa generirane mišićne sile i brzine pokreta. Konkretno, od velike do umjerene brzine pokreta u savladavanju malog do umjerenog otpora (50% 1RM), preko umjerene brzine pokreta i savladavanja umjerenog otpora (75% 1RM), do relativno male brzine pokreta i savladavanja relativno velikog otpora (90% 1RM). Pri prvom (uvodnom) dolasku sudionicima se procijenio 1RM putem aplikacije tako što su savladali četiri progresivna opterećenja putem kojih je PowerLift aplikacija stvorila profil sile i brzine. Sudionici su prilikom svakog testiranja dobili upute da što brže potisnu šipku u koncentričnom dijelu pokreta. Između svakog ponavljanja sudionici su imali tri minute odmora. Iz pilot testiranja, izračunati koeficijent varijacije za brzinu šipke na 50%, 75% i 90% od 1RM iznosio je, redom, 1.7%, 3.6% odnosno 5.1%.

7.6. PROCJENA SNAGE MIŠIĆA CIJELOG TIJELA

Za procjenu snage mišića cijelog tijela koristio se test na veslačkom ergometru Concept II (Model D, Morrisville, VT, SAD). Ovaj test mišićne snage odabran je budući da je snaga mišića cijelog tijela važna sastavnica iz perspektive sportske izvedbe. U ovom testu, poluga za kontrolu otpora na ergometru postavljena je na najveći podesivi otpor (tj. 10; faktor otpora 195). Prilikom svakog dolaska sudionici su se zagrijavali na ergometru slobodno veslajući tempom po izboru u trajanju od pet minuta. Potom su se odmarali dvije minute, a zatim su izveli šest uvodnih i progresivnih zaveslaja, nakon kojih je odmah uslijedilo šest maksimalnih zaveslaja. Za maksimalne zaveslaje, sudionici su dobili upute da veslaju što jače i brže mogu, sukladno uputama korištenim od strane Metikoša i suradnika (2015) koji su prethodno validirali ovaj test. U ovom testu varijabla od interesa bila je vršna izlazna snaga koja je prikazana na zaslonu veslačkog ergometra. U pilot istraživanju koeficijent varijacije za ovaj test iznosio je 2.5%.

7.7. PROCJENA UČINKOVITOSTI ZASLJEPLJIVANJA

Bang Blinding Index (BBI) (Bang i sur., 2010) se koristio za provjeru učinkovitosti zasljepljivanja u svim uvjetima: kofeinske i placebo gume za žvakanje, kofeinske i placebo kapsule, te kofeinskih i placebo gelova (Prilog 1).

7.8. PROCJENA UČESTALOSTI NUSPOJAVA

McNemarov test je korišten za usporedbu učestalosti nuspojava između uvjeta konzumacije placeba i uvjeta konzumacije kofeina (Prilog 2).

7.9. STATISTIČKA OBRADA REZULTATA

Pet ispitanika je prošlo dodatna dva mjerenja koja su poslužila isključivo procjeni pouzdanosti korištenih mjernih instrumenata. Pouzdanost mjernih instrumenata procijenjena je kroz izračun koeficijent varijacije (CV). Za svakog ispitanika, CV (u %) je izračunat tako da je standardna devijacija dva mjerenja podijeljena s aritmetičkom sredinom dva mjerenja i pomnožena sa 100. Nakon toga, izračunata je prosječna vrijednost CV za uzorak od pet ispitanika za svaki mjerni instrument. Normalnost distribucije testirana je Shapiro-Wilkovim testom.

Analiza varijance (ANOVA) za ponavljana mjerenja koristila se za usporedbu rezultata između eksperimentalnih uvjeta u svim praćenim varijablama. U segmentu istraživanja učinaka kofeina iz gume za žvakanje, to se odnosilo na usporedbu placebo guma za žvakanje naspram gume za žvakanje s kofeinom. U segmentu istraživanja učinaka kofeina iz gela, to se odnosilo na usporedbu placebo gela naspram gela s kofeinom. U segmentu istraživanja učinka kofeina iz gume za žvakanje u odnosu učinak kofeina iz gela, napravljena je usporedba apsolutnih promjena nakon konzumacije kofeina u odnosu na konzumaciju placeba između tih dvaju uvjeta. Direktna usporedba rezultata (kofein iz guma za žvakanje naspram kofeina iz gela) nije opravdana zato što što gelovi osim kofeina sadržavaju i određenu količinu ugljikohidrata za koje možemo pretpostaviti da bi mogli utjecati na izvedbu s obzirom da su ispitanici testirani natašte. I konačno, u segmentu istraživanja učinaka kofeina iz kapsula, to se odnosilo na usporedbu placebo kapsule naspram kapsule s kofeinom; placebo kapsule naspram kontrolnog mjerenja, te kapsule s kofeinom naspram kontrolnog mjerenja.

Razlika između eksperimentalnih uvjeta (kofein naspram placeba; kofein naspram kontrolnog mjerenja, placebo naspram kontrolnog mjerenja) u praćenim varijablama prikazala se kao veličina učinka (eng. *effect size*) i kao relativna promjena u odnosu na placebo izražena u postotnim jedinicama. Statistička značajnost razlika postavljena je na razinu $p < 0.05$. U slučajevima kada su vršene višestruke usporedbe (npr. usporedba placebo-kontrola, kofein-placebo i kofein-kontrola), prag statističke značajnosti prilagođen je koristeći korekciju po Holmu. Ova metoda podrazumijeva rangiranje tri p vrijednosti iz tri usporedbe parova za svaku promatranu varijablu od najveće do najmanje. Prilagodbe praga statističke značajnosti su napravljene temeljem rangova. Za rangove 3, 2 i 1 pragovi statističke značajnosti iznosili su,

redom, 0.05, 0.025 i 0.017. Veličine učinaka izračunate su tako da je srednja razlika između dva mjerenja podijeljena sa zajedničkom standardnom devijacijom. Veličina učinka klasificirana je kao: trivijalna (<0.20), mala (0.20-0.49), umjerena (0.50-0.79) i velika (≥ 0.80). Sve analize u radu provedene su uz korištenje programa Statistica (StatSoft; Tulsa, OK, SAD) i Microsoft Excel (Microsoft Corporation; Redmond, WA, SAD).

8. REZULTATI

8.1. UČINCI KOFEINA IZ GUME ZA ŽVAKANJE NA MIŠIĆNU JAKOST I SNAGU

8.1.1. VERTIKALNI SKOK S PRIPREMOM

Uočen je statistički značajan učinak za varijablu visina vertikalnog skoka s pripremom ($p < 0.001$). Veličina učinka (Cohenov d) iznosila je 0.27, dok je relativna promjena u odnosu na placebo u izvedbi nakon konzumacije kofeina iznosila +4.6% u odnosu na placebo (Tablica 2.).

8.1.2. PROCJENA JAKOSTI I SNAGE MIŠIĆA NATKOLJENICE NA IZOKINETIČKOM UREĐAJU

Uočen je statistički značajan učinak za varijablu vršni moment sile prilikom ekstenzije potkoljenice ($p = 0.048$; veličina učinka = 0.21; relativna promjena u odnosu na placebo = +3.6%) i prilikom fleksije potkoljenice ($p = 0.040$; veličina učinka = 0.22; relativna promjena u odnosu na placebo = +4.1%) pri kutnoj brzini od 60°/s (Tablica 2.). Konzumacija kofeina je također poboljšala vršni moment sile pri kutnoj brzini od 180°/s prilikom fleksije ($p = 0.021$; veličina učinka = 0.31; relativna promjena u odnosu na placebo = +5.9%), ali ne i prilikom ekstenzije potkoljenice ($p = 0.73$; veličina učinka = 0.22; relativna promjena u odnosu na placebo = +3.5%). Pri kutnoj brzini od 60°/s konzumacija kofeina je povećala prosječni izlaz snage tijekom pokreta ekstenzije ($p = 0.031$; veličina učinka = 0.25; relativna promjena u odnosu na placebo = +4.5%), ali ne i fleksije potkoljenice ($p = 0.320$; veličina učinka = 0.09; relativna promjena u odnosu na placebo = +1.7%). Pri kutnoj brzini od 180°/s konzumacija kofeina je poboljšala prosječni izlaz snage prilikom ekstenzije ($p = 0.035$; veličina učinka = 0.30; relativna promjena u odnosu na placebo = +5.2%), ali ne i prilikom fleksije potkoljenice ($p = 0.265$; veličina učinka = 0.17; relativna promjena u odnosu na placebo = +4.1%).

8.1.3. POTISAK S RAVNE KLUPE

Uočen je statistički značajan učinak za brzinu kretanja šipke u testu potiska s ravne klupe pri opterećenjima od 50% 1RM ($p = 0.044$; veličina učinka = 0.30; relativna promjena u odnosu na placebo = +3.2%), 75% 1RM ($p = 0.005$; veličina učinka = 0.44; relativna promjena u odnosu na placebo = +5.7%) i 90% 1RM ($p = 0.002$; veličina učinka = 0.43; relativna promjena u odnosu na placebo = +9.1%) (Tablica 2.).

8.1.4. TEST NA VESLAČKOM ERGOMETRU

Uočen je statistički značajan učinak na vršni izlaz snage u testu na veslačkom ergometru ($p = 0.006$; veličina učinka = 0.41; relativna promjena u odnosu na placebo = +5.0%) (Tablica 2.).

8.1.5. UČINKOVITOST ZASLJEPLJIVANJA

U procjeni prije početka testiranja, 63% sudionika je prepoznalo kofein, a njih 84% je prepoznalo placebo iznad razine slučajnosti. U procjeni nakon završetka testiranja, 58% sudionika je prepoznalo kofein, a njih 58% je prepoznalo placebo iznad razine slučajnosti.

8.1.6. UČESTALOST NUSPOJAVA

Učestalost nuspojava nakon konzumacije kofeina iz guma za žvakanje je prikazana u Tablici 3.

Tablica 2. Učinci kofeina iz gume za žvakanje na mišićnu jakost i snagu

Testovi	Varijabla (mjerna jedinica)	Uvjet kofein (AS ± SD)	Uvjet placebo (AS ± SD)	Cohenov <i>d</i> (95% CI)	RP (%)	p
Bilateralni vertikalni skok s pripremom	Visina skoka (cm)	36.4 ± 6.2	34.8 ± 5.8	0.27	+4.6	<0.001*
Ekstenzija potkoljenice pri 60°/s ¹	Vršni moment sile (Nm)	245.0 ± 43.3	236.6 ± 36.2	0.21	+3.6	0.048*
	Prosječna snaga (W)	180.0 ± 34.1	172.1 ± 29.1	0.25	+4.6	0.031*
Fleksija potkoljenice pri 60°/s ¹	Vršni moment sile (Nm)	142.7 ± 25.5	137.1 ± 25.4	0.22	+4.1	0.040*
	Prosječna snaga (W)	111.3 ± 21.3	109.5 ± 21.4	0.09	+1.7	0.320
Ekstenzija potkoljenice pri 180°/s ¹	Vršni moment sile (Nm)	170.2 ± 28.7	164.4 ± 23.8	0.22	+3.5	0.073
	Prosječna snaga (W)	322.1 ± 59.1	306.2 ± 48.4	0.30	+5.2	0.035*
Fleksija potkoljenice pri 180°/s ¹	Vršni moment sile (Nm)	107.6 ± 17.6	101.7 ± 19.9	0.31	+5.9	0.021*
	Prosječna snaga (W)	196.6 ± 41.9	188.8 ± 48.9	0.17	+4.1	0.265
Potisak s ravne klupe pri 50% 1RM	Brzina šipke (m/s)	0.85 ± 0.08	0.82 ± 0.09	0.30	+3.2	0.044*
Potisak s ravne klupe pri 75% 1RM	Brzina šipke (m/s)	0.57 ± 0.07	0.54 ± 0.06	0.44	+5.7	0.005*
Potisak s ravne klupe pri 90% 1RM	Brzina šipke (m/s)	0.38 ± 0.07	0.35 ± 0.07	0.43	+9.1	0.002*
Veslački ergometer	Vršni izlaz snage (W)	667.5 ± 78.5	635.9 ± 68.7	0.41	+5.0	0.006*

AS: aritmetička sredina; SD: standardna devijacija; CI: interval pouzdanosti; RP: relativna promjena; * označava statistički značajne razlike; ¹ označava test na izokinetičkom uređaju.

Tablica 3. Učestalost nuspojava nakon konzumacije kofeina iz gume za žvakanje i placebo

	Placebo	Kofein	Placebo	Kofein
	Odmah nakon testiranja	Odmah nakon testiranja	Jutro nakon testiranja	Jutro nakon testiranja
Bol u mišićima	0	11	0	0
Povećano mokrenje	0	11	0	0
Tahikardija i lupanje srca	11	16	0	0
Anksioznost ili nervoza	0	21	0	0
Glavobolja	0	5	0	0
Gastrointestinalni problemi	0	5	0	0
Nesanica	n/a	n/a	0	0
Povećana snaga/aktivnost	26	58	0	0
Percepcija poboljšanja izvedbe	21	63	n/a	n/a

Podaci prikazuju učestalost za 19 sudionika izraženu kao postotak od pozitivnih slučajeva; McNamarov test je pokazao da niti jedna usporedba nije bila značajna (svi $p > 0.05$).

8.2. UČINCI KOFEINA IZ GELA NA MIŠIĆNU JAKOST I SNAGU

8.2.1. VERTIKALNI SKOK S PRIPREMOM

U usporedbi s placebo, uočen je statistički značajan učinak kofeina na visinu vertikalnog skoka s pripremom ($p = 0.011$; veličina učinka = 0.18; relativna promjena u odnosu na placebo = +3.3%) (Tablica 4.).

8.2.2. PROCJENA JAKOSTI I SNAGE MIŠIĆA NATKOLJENICE NA IZOKINETIČKOM UREĐAJU

Unos kofeina putem gelova je značajno utjecao na vršni moment sile ekstenzora ($p = 0.002$; veličina učinka = 0.37; relativna promjena u odnosu na placebo = +6.9%) i fleksora u zglobo koljena ($p = 0.034$; veličina učinka = 0.24; relativna promjena u odnosu na placebo = +4.6%) pri kutnoj brzini od 60°/s. Pri kutnoj brzini od 180°/s konzumacija kofeina je statistički značajno poboljšala rezultate u pokretu ekstenzije ($p = 0.031$; veličina učinka = 0.21; relativna promjena u odnosu na placebo = +3.5%), ali ne i u pokretu fleksije potkoljenice ($p = 0.168$; veličina učinka = 0.17; relativna promjena u odnosu na placebo = +3.0%) (Tablica 4.).

U pogledu učinaka na prosječni izlaz snage, pri kutnoj brzini od 60°/s, konzumacija kofeina je značajno poboljšala rezultate u pokretu ekstenzije ($p = 0.001$; veličina učinka = 0.31; relativna promjena u odnosu na placebo = +6.3%) i fleksije potkoljenice ($p = 0.015$; veličina učinka = 0.32; relativna promjena u odnosu na placebo = +6.7%). Pri kutnoj brzini od 180°/s konzumacija kofeina je značajno poboljšala rezultate u pokretu ekstenzije ($p = 0.025$; veličina učinka = 0.25; relativna promjena u odnosu na placebo = +4.5%), ali ne i u pokretu fleksije potkoljenice ($p = 0.115$; veličina učinka = 0.17; relativna promjena u odnosu na placebo = +3.5%).

8.2.3. POTISAK S RAVNE KLUPE

U testu potiska s ravne klupe konzumacija kofeina je imala značajan učinak na brzinu kretanja šipke pri opterećenju od 50%1RM ($p = 0.021$; veličina učinka = 0.33; relativna promjena u odnosu na placebo = +3.5%), 75%1RM ($p < 0.001$; veličina učinka = 0.42; relativna promjena u odnosu na placebo = +5.4%) i 90%1RM ($p < 0.001$; veličina učinka = 0.59; relativna promjena u odnosu na placebo = +12.0%) (Tablica 4.).

8.2.4. TEST NA VESLAČKOM ERGOMETRU

Nije uočen značajan učinak konzumacije kofeina na vršni izlaz snage na testu na veslačkom ergometru ($p = 0.647$; veličina učinka = 0.08; relativna promjena u odnosu na placebo = +1.4%) (Tablica 4.).

8.2.5. UČINKOVITOST ZASLJEPLIVANJA

U procjeni prije početka testiranja, 47% sudionika prepoznalo je kofein, a njih 35% prepoznalo je placebo iznad razine slučajnosti. U procjeni po završetku testiranja, 70% sudionika prepoznalo je kofein, a njih 54% prepoznalo je placebo iznad razine slučajnosti.

8.2.6. UČESTALOST NUSPOJAVA

Učestalost nuspojava nakon konzumacije kofeina iz gelova prikazana je u Tablici 5.

Tablica 4. Učinci kofeina iz gelova na mišićnu jakost i snagu

Testovi	Varijabla	Uvjet kofein	Uvjet placebo	Veličina učinka (95% CI)	Relativna promjena (%)	p
Vertikalni bilateralni skok s pripremom	Visina skoka (cm)	36.4 ± 6.5	35.2 ± 6.5	0.18 (0.05, 0.32)	+3.3	0.011 *
Ekstenzija potkoljenice pri 60°/s ¹	Vršni moment sile (Nm)	256.9 ± 44.5	240.3 ± 45.6	0.37 (0.15, 0.61)	+6.9	0.002 *
	Prosječna snaga (W)	193.8 ± 36.9	182.3 ± 36.8	0.31 (0.13, 0.50)	+6.3	0.001 *
Fleksija potkoljenice pri 60°/s ¹	Vršni moment sile (Nm)	147.1 ± 24.6	140.7 ± 28.7	0.24 (0.02, 0.46)	+4.6	0.034 *
	Prosječna snaga (W)	118.7 ± 21.0	111.3 ± 25.9	0.32 (0.01, 0.59)	+6.7	0.015 *
Ekstenzija potkoljenice pri 180°/s ¹	Vršni moment sile (Nm)	180.2 ± 27.8	174.0 ± 31.9	0.21 (0.02, 0.40)	+3.5	0.031 *
	Prosječna snaga (W)	353.4 ± 57.0	338.1 ± 66.6	0.25 (0.04, 0.46)	+4.5	0.025 *
Fleksija potkoljenice pri 180°/s ¹	Vršni moment sile (Nm)	110.0 ± 18.1	106.8 ± 20.3	0.17 (-0.07, 0.40)	+3.0	0.168
	Prosječna snaga (W)	212.9 ± 38.0	205.8 ± 46.7	0.17 (-0.04, 0.38)	+3.5	0.115
Potisak s ravne klupe pri 50% 1RM	Brzina šipke (m/s)	0.83 ± 0.08	0.80 ± 0.09	0.33 (0.06, 0.61)	+3.5	0.021 *
Potisak s ravne klupe na 75% 1RM	Brzina šipke (m/s)	0.57 ± 0.06	0.54 ± 0.07	0.42 (0.21, 0.64)	+5.4	<0.001 *
Potisak s ravne klupe na 90% 1RM	Brzina šipke (m/s)	0.39 ± 0.07	0.35 ± 0.07	0.59 (0.27, 0.89)	+12.0	<0.001 *
Test na veslačkom ergometru	Vršni izlaz snage (W)	725.4 ± 133.5	715.4 ± 106.4	0.08 (-0.27, 0.43)	+1.4	0.647

AS: aritmetička sredina; SD: standardna devijacija; CI: interval pouzdanosti; * označava statistički značajne razlike; ¹ označava test na izokinetičkom uređaju.

Tablica 5. Učestalost nuspojava nakon konzumacije gelova s kofeinom i placebo

	Placebo	Kofein	Placebo	Kofein
	Odmah nakon testiranja	Odmah nakon testiranja	Jutro nakon testiranja	Jutro nakon testiranja
Bol u mišićima	0	0	0	0
Povećano mokrenje	0	6	0	6
Tahikardija i lupanje srca	6	12	0	0
Anksioznost ili nervoza	0	18	0	0
Glavobolja	0	0	0	0
Gastrointestinalni problemi	0	6	0	0
Nesanica	n/a	n/a	0	6
Povećana snaga/aktivnost	12	41	0	0
Percepcija poboljšanja izvedbe	6	35	n/a	n/a

Podaci prikazuju učestalost za 17 sudionika izraženu kao postotak od pozitivnih slučajeva; McNamarov test je pokazao da niti jedna usporedba nije bila značajna (svi $p > 0.05$).

8.3. USPOREDBA UČINKA KOFEINA IZ RAZLIČITIH IZVORA (GUMA ZA ŽVAKANJE NASPRAM GELA) NA MIŠIĆNU JAKOST I SNAGU

Kako je apsolutna doza kofeina bila identična u gumama za žvakanje i u gelovima (300 mg), moguća je izravna usporedba učinkovitosti kofeina iz tih dvaju izvora na mišićnu jakost i snagu. Ipak, iz razloga što su ispitanici dolazili na tašte, a kofeinski i placebo gelovi sadržavaju nezanemarlivu količinu ugljikohidrata (88 grama, a što bi moglo imati učinak na izvedbu neovisno o učinku kofeina), smatrali smo da je, za usporedbu kofeina iz tih dvaju izvora, opravdano napraviti usporedbu razlike učinka kofeina iz guma za žvakanje i placebo guma za žvakanje u odnosu na razliku učinka kofeina iz gela i placebo gela. U tom smislu, analiza učinka kofeina u apsolutnoj dozi od 300 mg iz dvaju izvora, guma za žvakanje s kofeinom i gelova s kofeinom, nije ukazala na značajne razlike niti u jednoj praćenoj varijabli (svi $p > 0.05$). Svi rezultati usporedbe učinaka kofeina iz ova dva izvora, za svaku praćenu varijablu, prikazani su u Tablici 6.

Tablica 6. Usporedba učinka kofeina iz različitih izvora (guma za žvakanje, gel) na mišićnu jakost i snagu

Testovi	Varijabla (mjerna jedinica)	Apsolutna promjena s kofeinom iz guma za žvakanje u odnosu na placebo gumu za žvakanje	Apsolutna promjena s kofeinom iz gela u odnosu na placebo gel	p
Bilateralni vertikalni skok s pripremom	Visina skoka (cm)	+1.8	+1.2	0.145
Ekstenzija potkoljenice pri 60°/s ¹	Vršni moment sile (Nm)	+8.9	+16.7	0.186
	Prosječna snaga (W)	+8.5	+11.5	0.465
Fleksija potkoljenice pri 60°/s ¹	Vršni moment sile (Nm)	+6.0	+6.4	0.933
	Prosječna snaga (W)	+2.0	+7.4	0.178
Ekstenzija potkoljenice pri 180°/s ¹	Vršni moment sile (Nm)	+6.0	+6.2	0.969
	Prosječna snaga (W)	+16.6	+15.3	0.889
Fleksija potkoljenice pri 180°/s ¹	Vršni moment sile (Nm)	+6.4	+3.2	0.324
	Prosječna snaga (W)	+8.6	+7.2	0.853
Potisak s ravne klupe na 50% 1RM	Brzina šipke (m/s)	+0.03	+0.03	0.866
Potisak s ravne klupe na 75% 1RM	Brzina šipke (m/s)	+0.03	+0.03	0.890
Potisak s ravne klupe na 90% 1RM	Brzina šipke (m/s)	+0.03	+0.04	0.407
Veslački ergometar	Vršni izlaz snage (W)	+26	+10	0.548

¹ označava test na izokinetičkom uređaju

8.4. UČINCI KOFEINA IZ KAPSULE NA MIŠIĆNU JAKOST I SNAGU

8.4.1. VERTIKALNI SKOK S PRIPREMOM

Uočen je statistički značajan učinak za varijablu visina vertikalnog skoka s pripremom ($p < 0.001$). Usporedbom parova uočeno je da je doza kofeina od 6 mg/kg rezultirala značajnom razlikom u izvedbi u usporedbi s placeboom ($p = 0.05$, veličina učinka = 0.19; relativna promjena = +4.0%) i u usporedbi s kontrolnim mjerenjem ($p = 0.01$, veličina učinka = 0.31; relativna promjena = +6.6%). Također, placebo se pokazao učinkovitim u usporedbi s kontrolnim mjerenjem ($p = 0.018$, veličina učinka = 0.13; relativna promjena = +2.5%) (Tablice 7 i 8.).

8.4.2. PROCJENA JAKOSTI I SNAGE MIŠIĆA NATKOLJENICE NA IZOKINETIČKOM UREĐAJU

Uočen je (Tablice 7. i 8.) statistički značajan učinak za varijablu vršni moment sile prilikom ekstenzije potkoljenice pri kutnoj brzini od 60°/s ($p = 0.002$). Usporedba parova je pokazala značajnu razliku između konzumacije kofeina i kontrolnog mjerenja ($p = 0.012$; veličina učinka = 0.22; relativna promjena = +4.0%).

Uočen je statistički značajan učinak za varijablu vršni moment sile prilikom ekstenzije potkoljenice pri kutnoj brzini od 180°/s ($p = 0.015$). Usporedba parova je pokazala značajnu razliku između konzumacije kofeina i konzumacije placeba ($p = 0.006$; veličina učinka = 0.26; relativna promjena = +2.9%).

Uočen je statistički značajan učinak za varijablu vršni moment sile prilikom fleksije potkoljenice pri kutnoj brzini od 60°/s ($p = 0.033$). Međutim, usporedba parova nije pokazala značajne razlike, te se nije uočio statistički značajan učinak za varijablu vršni moment sile prilikom fleksije potkoljenice pri kutnoj brzini od 180°/s.

Uočen je statistički značajan glavni učinak za varijablu prosječna snaga prilikom ekstenzije potkoljenice pri kutnoj brzini od 60°/s ($p = 0.003$). Usporedba parova je pokazala značajnu razliku između konzumacije kofeina i kontrolnog mjerenja ($p = 0.012$; veličina učinka = 0.21; relativna promjena = +5.0%), te između konzumacije kofeina i konzumacije placeba ($p = 0.008$, veličina učinka = 0.29; relativna promjena = +5.9%).

Uočen je statistički značajan učinak za varijablu prosječna snaga prilikom ekstenzije potkoljenice pri kutnoj brzini od 180°/s ($p = 0.001$). Usporedba parova je pokazala značajnu razliku između konzumacije kofeina i kontrolnog mjerenja ($p = 0.04$; veličina učinka = 0.36; relativna promjena = +3.5%), te između konzumacije kofeina i konzumacije placeba ($p = 0.00$, veličina učinka = 0.43; relativna promjena = + 4.3%).

Uočen je statistički značajan učinak za varijablu prosječna snaga prilikom fleksije potkoljenice pri kutnoj brzini od 60°/s ($p = 0.036$). Međutim, usporedba parova nije pokazala značajnu razliku između konzumacije kofeina, placeba i kontrolnog mjerenja.

Uočen je statistički značajan učinak za varijablu prosječna snaga prilikom ekstenzije potkoljenice pri kutnoj brzini od 180°/s ($p = 0.026$). Međutim, usporedba parova nije pokazala značajnu razliku između konzumacije kofeina, placeba i kontrolnog mjerenja.

8.4.3. POTISAK S RAVNE KLUPE

Uočen je statistički značajan učinak za varijablu brzina kretanja šipke pri opterećenju od 50% 1RM ($p < 0.09$). Usporedba parova je pokazala značajnu razliku između konzumacije kofeina i kontrolnog mjerenja ($p = 0.003$; veličina učinka = 0.29; relativna promjena = +4.9%). Također, placebo se pokazao učinkovitim ($p = 0.036$, veličina učinka = 0.24; relativna promjena = +2.4%) u usporedbi s kontrolnim mjerenjem (Tablice 7 i 8.).

Uočen je statistički značajan učinak za varijablu brzina kretanja šipke pri opterećenju od 75% 1RM ($p < 0.001$). Usporedba parova je pokazala značajnu razliku između konzumacije kofeina i kontrolnog mjerenja ($p = 0.001$; veličina učinka = 0.32; relativna promjena = +5.4%), te između konzumacije kofeina i konzumacije placeba ($p = 0.001$; veličina učinka = 0.34; relativna promjena = +7.3%).

Uočen je statistički značajan učinak za varijablu brzina kretanja šipke pri opterećenju od 90% 1RM ($p < 0.001$). Usporedba parova je pokazala značajnu razliku između konzumacije kofeina i kontrolnog mjerenja ($p = 0.001$; veličina učinka = 0.46; relativna promjena = +8.3%), između konzumacije kofeina i konzumacije placeba ($p = 0.001$; veličina učinka = 0.36; relativna promjena = +8.3%).

8.4.4. TEST NA VESLAČKOM ERGOMETRU

Uočen je značajan učinak konzumacije kofeina u odnosu na konzumaciju placeba na vršni izlaz snage na testu na veslačkom ergometru ($p = 0.02$; veličina učinka = 0.17; relativna promjena = +3.7%). Međutim, nije uočen značajan učinak konzumacije kofeina u odnosu na kontrolno mjerenje ($p = 0.475$; veličina učinka = 0.01; relativna promjena = +1.5%), niti je uočen značajan učinak konzumacije placeba u odnosu na kontrolno mjerenje ($p = 0.267$; veličina učinka = 0.14; relativna promjena = -2.1%) (Tablice 7 i 8.).

8.4.5. UČESTALOST NUSPOJAVA

Učestalost nuspojava nakon konzumacije kofeina iz kapsula prikazana je u Tablici 9.

8.4.6. UČINKOVITOST ZASLJEPLJIVANJA

U procjeni prije početka testiranja, 23% sudionika je prepoznalo kofein, a njih 42% je prepoznalo placebo iznad razine slučajnosti. U procjeni po završetku testiranja, 31% sudionika prepoznalo je kofein, a njih 54% prepoznalo je placebo iznad razine slučajnosti.

Tablica 7. Učinci kofeina iz kapsula na mišićnu jakost i snagu

Testovi	Varijabla	Uvjet kofein (AS ± SD)	Uvjet placebo (AS ± SD)	Kontrolno mjerenje (AS ± SD)
Bilateralni vertikalni skok s pripremom	Visina skoka (cm)	37 ± 7	36 ± 6	35 ± 7
Ekstenzija potkoljenice pri 60°/s	Vršni moment sile (Nm)	242 ± 47	228 ± 43	232 ± 41
	Prosječna snaga (W)	180 ± 40	169 ± 34	172 ± 33
Fleksija potkoljenice pri 60°/s	Vršni moment sile (Nm)	141 ± 28	135 ± 23	136 ± 21
	Prosječna snaga (W)	109 ± 24	103 ± 20	104 ± 20
Ekstenzija potkoljenice pri 180°/s	Vršni moment sile (Nm)	173 ± 25	166 ± 26	168 ± 25
	Prosječna snaga (W)	335 ± 54	311 ± 55	315 ± 53
Fleksija potkoljenice pri 180°/s	Vršni moment sile (Nm)	108 ± 33	104 ± 16	103 ± 16
	Prosječna snaga (W)	204 ± 41	193 ± 38	191 ± 39
Potisak s ravne klupe na 50% 1RM	Brzina šipke (m/s)	0.83 ± 0.11	0.82 ± 0.11	0.80 ± 0.09
Potisak s ravne klupe na 75% 1RM	Brzina šipke (m/s)	0.56 ± 0.09	0.53 ± 0.08	0.53 ± 0.09
Potisak s ravne klupe na 90% 1RM	Brzina šipke (m/s)	0.37 ± 0.08	0.34 ± 0.08	0.33 ± 0.09
Veslački ergometar	Vršni izlaz snage (W)	668 ± 110	644 ± 111	658 ± 123

AS: aritmetička sredina; SD: standardna devijacija

Tablica 8. Prikaz usporedbe parova za testove za koje je ANOVA za ponovljena mjerenja detektirala značajan glavni učinak. Za svaki test prikazane su tri usporedbe parova s pripadajućim p vrijednostima, rang (od najvišeg do najnižeg) i prilagođeni prag statističke značajnosti.

Testovi	Usporedba parova	p	Rang	Prilagođeni prag statističke značajnosti
Vertikalni bilateralni skok s pripremom	Placebo vs kontrola	0.018	3	0.05
	Kofein vs placebo	0.005	2	0.025
	Kofein vs kontrola	0.0001	1	0.017
Ekstenzija potkoljenice pri 60°/s ¹	Placebo vs kontrola	0.307	3	0.05
	Kofein vs kontrola	0.012	2	0.025
	Kofein vs placebo	0.004	1	0.017
Ekstenzija potkoljenice pri 180°/s ¹ (prosječna snaga)	Placebo vs kontrola	0.252	3	0.05
	Kofein vs kontrola	0.012	2	0.025
	Kofein vs placebo	0.008	1	0.017
Fleksija potkoljenice pri 60°/s ¹ (vršni moment sile)	Placebo vs kontrola	0.802	3	0.05
	Kofein vs kontrola	0.077	2	0.025
	Kofein vs placebo	0.028	1	0.017
Fleksija potkoljenice pri 60°/s ¹ (prosječna snaga)	Placebo vs kontrola	0.974	3	0.05
	Kofein vs kontrola	0.045	2	0.025
	Kofein vs placebo	0.035	1	0.017
Ekstenzija potkoljenice pri 180°/s ¹ (vršni moment sile)	Placebo vs kontrola	0.596	3	0.05
	Kofein vs kontrola	0.032	2	0.025
	Kofein vs placebo	0.006	1	0.017
Ekstenzija potkoljenice pri 180°/s ¹ (prosječna snaga)	Placebo vs kontrola	0.450	3	0.05
	Kofein vs kontrola	0.004	2	0.025
	Kofein vs placebo	0.001	1	0.017
Fleksija potkoljenice pri 180°/s ¹ (prosječna snaga)	Placebo vs kontrola	0.664	3	0.05
	Kofein vs kontrola	0.051	2	0.025

	Kofein vs placebo	0.029	1	0.017
	Kofein vs placebo	0.478	3	0.05
Potisak s ravne klupe na 50% 1RM	Placebo vs kontrola	0.036	2	0.025
	Kofein vs kontrola	0.003	1	0.017
	Placebo vs kontrola	0.666	3	0.05
Potisak s ravne klupe na 75% 1RM	Kofein vs placebo	0.001	2	0.025
	Kofein vs kontrola	0.0003	1	0.017
	Placebo vs kontrola	0.376	3	0.05
Potisak s ravne klupe na 90% 1RM	Kofein vs placebo	0.0002	2	0.025
	Kofein vs kontrola	0.0001	1	0.017
	Placebo vs kontrola	0.267	3	0.05
Veslački ergometer	Kofein vs kontrola	0.475	2	0.025
	Kofein vs placebo	0.020	1	0.017

¹ označava test na izokinetičkom uređaju.

Tablica 9. Učestalost nuspojava nakon konzumacije kofeina iz kapsula i placeba.

	Placebo	Kofein	Placebo	Kofein
	Odmah nakon testiranja	Odmah nakon testiranja	Jutro nakon testiranja	Jutro nakon testiranja
Bol u mišićima	4	4	0	4
Povećano mokrenje	4	15	0	0
Tahikardija i lupanje srca	8	35	0	0
Anksioznost ili nervoza	0	12	0	0
Glavobolja	0	0	0	0
Gastrointestinalni problemi	0	15	0	0
Nesanica	n/a	n/a	0	4
Povećana snaga/aktivnost	19	54	0	8
Percepcija poboljšanja izvedbe	27	4	n/a	n/a

Podaci prikazuju učestalost za 26 sudionika izraženu kao postotak od pozitivnih slučajeva.

9. RASPRAVA

9.1. UČINCI KOFEINA IZ GUME ZA ŽVAKANJE NA MIŠIĆNU JAKOST I SNAGU

U prvom segmentu istraživanja utvrđivao se učinak kofeina iz gume za žvakanje na tjelesnu izvedbu treniranih muškaraca u testovima koji su vrlo kratkog trajanja i zahtijevaju maksimalni napor. Rezultati su pokazali da suplementacija kofeinom iz guma za žvakanje, primijenjena 10 minuta prije početka testiranja, ima ergogeni učinak na: (1) visinu skoka s pripremom; (2) izokinetičku jakost i snagu mišića donjeg dijela tijela; (3) snagu mišića gornjeg dijela tijela procijenjenu brzinom kretanja šipke u vježbi potisak s ravne klupe s opterećenjima od 50% do 90% 1RM; i (4) snagu mišića cijelog tijela procijenjenu vršnim izlazom snage tijekom testa na veslačkom ergometru. Zasljepljivanje je generalno bilo učinkovito, dok su nuspojave bile minimalne.

Rezultati ovog istraživanja ukazuju da kofein iz guma za žvakanje ima ergogeni učinak na većinu praćenih varijabli jakosti i snage mišića donjeg dijela tijela, procijenjene izokinetičkim testiranjem pri dvije kutne brzine. Ti su rezultati u skladu s recentnim preglednim radom s pripadajućom meta-analizom u kojemu su autori zaključili da osobe koje se bave sportovima izdržljivosti, snage ili jakosti, te žele koristiti kofein u obliku gume za žvakanje s ciljem poboljšanja tjelesne izvedbe, trebaju konzumirati gume za žvakanje 15 minuta prije početka vježbanja i to u dozama od ≥ 3 mg/kg (Barreto i sur., 2023). Iako su sudionici našeg istraživanja kofein u obliku guma za žvakanje konzumirali u apsolutnoj dozi od 300 mg i doza nije bila prilagođavana u odnosu na tjelesnu masu sudionika, ipak je za veliku većinu sudionika doza bila unutar raspona 3-4 mg/kg tjelesne mase.

Prilikom analize rezultata opažena je velika varijabilnost u odgovorima sudionika na kofein, što je često opažanje i u drugim radovima koji su istraživali učinak kofeina na tjelesnu izvedbu. Izgleda da se ta značajna varijabilnost između sudionika u odgovorima na kofein događa u velikoj mjeri zbog genetskih razlika između osoba (Guest i sur., 2021), ali također

pojedina istraživanja pokazuju kako polimorfizmi povezani s metabolizmom kofeina, koji imaju za posljedicu različitu brzinu metabolizma kofeina, ne moraju nužno imati za posljedicu razlike u ergogenom učinku (Algrain i sur., 2015).

U ovom istraživanju kofein (300 mg) iz guma za žvakanje je akutno poboljšao visinu skoka s pripremom s malom veličinom učinka (0.27, +4.6%). Jedan pregledni rad u ovom području izvješćuje da konzumacija 6 mg/kg kofeina iz kapsula prije vježbanja povećava visinu skoka iz čučnja i skoka s pripremom s veličinom učinka od 0.17, što je vrlo slično rezultatima ovog istraživanja (Grgić i sur., 2018). Drugo istraživanje koje je proučavalo učinak kofeina iz gume za žvakanje (200 mg) na uzorku od deset studenata nogometaša 10 minuta prije vježbanja, pokazalo je ergogeni učinak kofeina (+2.2%, veličina učinka = 0.30) po pitanju visine skoka s pripremom (Ranchordas i sur., 2018). Ista skupina istraživača (Ranchordas i sur., 2019) je izvijestila o sličnim nalazima u drugom istraživanju na uzorku od 17 mladih sportaša, u kojem se pokazalo da apsolutna doza kofeina od 200 mg iz guma za žvakanje poboljšava skok s pripremom za +3.6% (veličina učinka = 0.50). Pokazalo se i da unos kofeina iz guma za žvakanje u dozi od ~6.4 mg/kg povećava visinu skoka (+2.6%, veličina učinka = 0.15) prilikom izvedbe smeč udarca, u skupini visoko utreniranih odbojkašica (Filip-Stachnik i sur., 2022). Zanimljivo je da kofein u tom istraživanju nije povećao visinu skoka prilikom skakanja u blok. Ista skupina autora nije uočila ergogeni učinak kofeina iz guma za žvakanje (~3.2 ± 0.4 mg/kg) na visinu skoka (+0.4%; kofein: 51.2 ± 11.2 naspram placebo: 51.0 ± 11.4) na skupini od dvanaest odbojkaša i odbojkašica (Kaszuba i sur., 2022). Kumulativno, ti su nalazi u skladu s rezultatima ovog doktorskog rada, te podržavaju mogućnost manifestacije ergogenih učinaka kofeina iz guma za žvakanje (u relativno malim dozama) na visinu skoka s pripremom. Također, izgleda da i umjerene (~2-3 mg/kg) i velike doze (6 mg/kg) kofeina mogu djelovati ergogeno na taj aspekt tjelesne izvedbe.

U usporedbi s placebo, konzumacija kofeina iz guma za žvakanje povećala je vršni moment sile mišića ekstenzora i fleksora potkoljenice. Zanimljivo je i bitno napomenuti da nije primijećen značajan učinak kofeina na vršnu silu mišića ekstenzora potkoljenice pri kutnoj brzini od 180°/s (0.073). Postoji mogućnost da p-vrijednost nije dosegla prag statističke značajnosti zbog velike varijabilnosti u odgovorima na konzumaciju kofeina među pojedincima (Pickering i sur., 2017). Iako je ovo istraživanje, koliko je autoru poznato, prvo koje je istraživalo učinak kofeina iz gume za žvakanje na jakost i snagu u izokinetičkim uvjetima mišićne akcije, rezultati su u skladu s ranijim originalnim znanstvenim istraživanjima koja su

izvijestila o ergogenim učincima kofeina iz kapsula na vršnu silu mišića ekstenzora potkoljenice. Na uzorku od 14 muškaraca je pokazano da 6 mg/kg kofeina iz kapsula poboljšava jakost prilikom izokinetičkog testiranja fleksora lakta pri kutnim brzinama od 30°/s, 60°/s, 120°/s, 180°/s i 250°/s (Bazzucchi i sur., 2011). Preciznije, kofein je poboljšao izvedbu pri kutnoj brzini od 60°/s za 2.9%, te za 4.6% pri kutnoj brzini od 180°/s, što je u skladu s rezultatima dobivenim u ovom istraživanju. Drugo istraživanje je izvijestilo da su obje doze kofeina (3 mg/kg i 6 mg/kg) bile ergogene u odnosu na placebo pri kutnoj brzini od 180°/s, ali nije primijećen ergogeni učinak pri kutnoj brzini od 60°/s (Tallis i sur., 2018). Također, rezultati ovog doktorskog rada su u skladu s rezultatima meta-analize o učincima kofeina iz kapsula na vršni moment sile, u kojoj je zaključeno da je očekivana veličina učinka kofeina na vršni moment sile u izokinetičkim uvjetima 0.16 (95% CI = 0.06, 0.26; p = 0.003; +5.3%) (Grgić i Pickering, 2019).

Konzumacija kofeina iz guma za žvakanje je poboljšala prosječnu snagu mišića ekstenzora potkoljenice, ali ne i mišića fleksora potkoljenice. Ovi rezultati podržavaju ideju da konzumacija kofeina može imati izraženiji učinak na veće mišićne skupine tijela (npr. ekstenzore potkoljenice), dok njezin utjecaj na manje mišićne skupine, kao što su fleksori potkoljenice, može biti manje izražen (Warren i sur., 2010).

Konzumacija kofeina iz guma za žvakanje povećala je snagu mišića gornjeg dijela tijela, što je evidentno iz povećanja brzine kretanja šipke pri izvođenju potiska s ravne klupe kod svih promatranih razina opterećenja (50%, 75% i 90% 1RM). Ovi rezultati podržavaju rezultate prethodnih istraživanja koja su proučavala učinke kofeina na brzinu kretanja šipke. Mora-Rodriguez i suradnici (2012) ispitali su učinke unosa kofeina u dozi od 3 mg/kg, 60 minuta prije izvođenja potiska s ravne klupe s opterećenjem od 75% 1RM. To istraživanje je pokazalo, na uzroku od dvanaest visoko utreniranih muškaraca, da unos kofeina povećava brzinu kretanja šipke za približno 5% u odnosu na placebo, što je usporedivo s ergogenim učincima opaženim u ovom doktorskome radu. U drugom istraživanju je istražen učinak kofeina u dozama od 3, 6 i 9 mg/kg na brzinu kretanja šipke u potisku s ravne klupe s opterećenjima od 25%, 50%, 75% i 90% od 1RM (Pallares i sur., 2013). Za manja opterećenja (25% i 50% od 1RM) sve su doze bile učinkovite (+5.4 - 8.5%), ali pri opterećenju od 75% 1RM, jedino su doze od 6 i 9 mg/kg bile ergogene (6.3 - 8.9%), dok je jedino doza od 9 mg/kg povećala brzinu kretanja šipke kada se koristilo opterećenje od 90% 1RM (+13.1%). Važno je spomenuti da je ta najveća doza značajno povećala i učestalost nuspojava (Pallarés i sur., 2013). Ovi su rezultati potaknuli

istraživače na špekulaciju da su učinci kofeina na brzinu kretanja šipke u treningu s otporom ovisni o vanjskom opterećenju i dozi kofeina. Rezultati ovog doktorskog rada su djelomično u skladu s tom pretpostavkom jer je apsolutna doza kofeina od 300 mg (~3.6 mg/kg) povećala brzinu kretanja šipke pri svim razinama opterećenjima, ali je veličina učinka bila evidentno veća kod većih opterećenja (0.44 i 0.43 kod 75% i 90% 1RM) u usporedbi s manjim opterećenjem (0.30 kod 50% 1RM). Slični rezultati su izvješteni u drugom recentnom istraživanju u kojemu je doza od 300 mg kofeina djelovala ergogeno na mišićnu jakost i snagu pri različitim opterećenjima, ali je učinak bio izraženiji kod većih opterećenja (Ruiz-Fernández i sur., 2023). U ovom trenutku teško je spekulirati o mehanizmima u pozadini ovih opažanja.

Diaz-Lara i suradnici (2016) su izvijestili da kofein u dozi od 3 mg/kg povećava brzinu kretanja šipke u potisku s ravne klupe pri različitim opterećenjima, a učinci su bili statistički značajni pri opterećenjima od 25%, 43% i 68% od 1RM (kofein 1.28 ± 0.7 naspram placebo 1.35 ± 0.7), relativna promjena = $+5.6 \pm 4.7\%$, veličina učinka = 0.1). Ti su rezultati slični onima o kojima su ranije izvijestili Del Coso i suradnici (2012) na uzorku od dvanaest tjelesno aktivnih muškaraca, a koji navode da unos kofeina u dozi od 3 mg/kg (ali ne i dozi od 1 mg/kg) povećava snagu u potisku s ravne klupe (+2.5%) u većini korištenih opterećenja koja su se kretala od 10% do 100% od 1RM. Rezultati ovog doktorskog rada, zajedno s rezultatima istraživanja drugih autora, ukazuju na ergogeni učinak kofeina na mišićnu snagu u treningu s otporom. Stoga, pojedinci koji prakticiraju trening s otporom i žele akutno povećati snagu tijekom treninga mogu razmotriti opciju suplementacije kofeinom prije vježbanja ako žele poboljšati taj specifičan aspekt tjelesne izvedbe.

Snaga mišića cijelog tijela, procijenjena testom maksimalnog veslanja na veslačkom ergometru, povećala se nakon konzumacije 300 mg kofeina iz guma za žvakanje (veličina učinka = 0.41; relativna promjena = +5.0%). Ovo je prvo istraživanje koje je ispitalo učinke kofeina iz gume za žvakanje na snagu mišića cijelog tijela. Usporedba s drugim istraživanjima je ograničena, ali rezultati su u skladu s jednim istraživanjem na trinaest sveučilišnih sportaša koje je pokazalo da unos kofeina iz gela (100 mg) i ugljikohidratima (21.6 grama) značajno poboljšava izvedbu u veslanju na 2000 m u usporedbi s gelom koji je sadržao samo ugljikohidrate (Scott i sur., 2015). Također, ergogeni učinak kofeina je u skladu i s preglednim radom u kojem je izvješteno o ergogenim učincima kofeina na izvedbu veslanja na 2000 m (Grgić i sur., 2020b), Naravno, veliko ograničenje ovih usporedbi je činjenica da, iako se radi

o istom motoričkom zadatku (zaveslaji na veslačkom ergometru), trajanje zadatka je neusporedivo duže u testu veslanja na 2000 m naspram testu maksimalnog veslanja korištenim u ovom istraživanju. Nalazi ovog istraživanja u skladu su s nalazima koji pokazuju da kofein djeluje ergogeno na anaerobne aspekte tjelesne izvedbe poput skakanja i sprinta (Guest i sur., 2021). Na primjer, 5 mg/kg kofeina iz kapsula poboljšalo je vršni izlaz snage (+5.2%) na Wingate testu kod 18 elitnih profesionalnih sportaša (Woolf i sur., 2008). Ista doza kofeina iz kapsula se pokazala ergogenom u testu skoka s pripremom (+4.0%) (Bloms i sur., 2016).

Rezultati ovog segmenta istraživanja pokazuju da konzumacija kofeina može povećati vršni izlaz snage čak i kada se koriste kompleksni motorički zadaci koji zahtijevaju koordiniranu aktivnost mišića gornjeg i donjeg dijela tijela, poput pokreta veslačkog zaveslaja.

9.2. UČINCI KOFEINA IZ GELA NA MIŠIĆNU JAKOST I SNAGU

Ovaj segment istraživanja imao je za cilj ispitati učinke konzumacije kofeina iz gela na tjelesnu izvedbu muškaraca s iskustvom u treningu s otporom, u testovima koji su karakterizirani vrlo kratkim trajanjem i maksimalnim naporom. Rezultati ukazuju da konzumacija kofeina iz gela poboljšava tjelesnu izvedbu u vidu: (1) visine skoka s pripremom; (2) jakosti i snage mišića donjeg dijela tijela procijenjenu na izokinetičkom uređaju; i (3) snage mišića gornjeg dijela tijela. Snaga mišića cijelog tijela, procijenjena testom na veslačkom ergometru, nije se poboljšala nakon konzumacije kofeina iz gela. Zasljepljivanje sudionika bilo je uglavnom učinkovito, a nuspojave minimalne.

U ovom istraživanju kofein iz gela u apsolutnoj dozi od 300 mg je poboljšao izvedbu visine skoka s pripremom za 3.3%. Slični rezultati su prijavljeni u istraživanjima koji su koristili druge oblike konzumacije kofeina i različite doze kofeina. Na primjer, u testu skoka s pripremom pokazano je da 5 mg/kg kofeina iz kapsula značajno poboljšava (+4.0%) izvedbu u tom motoričkom zadatku (Bloms i sur., 2016). Drugo istraživanje na deset mladih nogometaša pokazalo je da doza od 200 mg kofeina iz gume za žvakanje konzumirana pet minuta prije testiranja poboljšava rezultate u skoku s pripremom za 2.2% ($p = 0.008$; veličina učinka = 0.30) (Ranchordas i sur., 2018). Slični su nalazi prijavljeni i na uzorku od 17 mladih ragbi igrača koji su nakon konzumacije 200 mg kofeina poboljšali izvedbu u skoku s pripremom za 3.6% ($p =$

0.044; veličina učinka = 0.22) (Ranchordas i sur., 2019). U pogledu veličine učinka kofeina na izvedbu skoka s pripremom, rezultati ovog istraživanja su u skladu s rezultatima jedne meta-analize u kojoj je zaključeno da konzumacija kofeina prije početka vježbanja može akutno povećati visinu vertikalnog skoka (Grgić i sur., 2018). Veličina učinka u ovom istraživanju (0.18) bila je gotovo identična združenoj veličini učinka od 0.17 navedenoj u spomenutoj meta-analizi. Prethodna istraživanja koja su izvijestila o ergogenim učincima kofeina na izvedbu skoka uglavnom su koristila veće doze kofeina (npr. 6 mg/kg), kao i protokol koji je uključivao vrijeme čekanja od 60 minuta od konzumacije do početka testiranja (Grgić i sur., 2018). Također, rezultati ovog istraživanja naglašavaju da uzimanje relativno male doze kofeina (300 mg; ~3.6 mg/kg) u obliku gela primijenjenog 10 minuta prije početka vježbanja može imati ergogene učinke na tjelesnu izvedbu.

U pogledu učinka kofeina na izokinetičku mišićnu jakost donjih ekstremiteta, rezultati ovog istraživanja ukazuju da konzumacija kofeina može akutno povećati vršni moment sile, što je u skladu sa ranijim nalazima u tom području istraživanja (Grgić i Pickering, 2019). U ovom se istraživanju pokazalo da kofein iz gela u apsolutnoj dozi od 300 mg akutno povećava vršni moment sile pri svim praćenim kutnim brzinama i kod obje promatrane mišićne skupine (tj. kod ekstenzora i fleksora potkoljenice), s veličinom učinka u rasponu od 0.21 do 0.37 i odgovarajućim relativnim promjenama u rasponu od +3.5% do +6.9%. Slične rezultate je pokazalo i drugo istraživanje koje je izvijestilo da konzumacija kofeina poboljšava vršni moment sile u ekstenzorima potkoljenice pri kutnoj brzini od 60°/s (Tallis i Yavuz, 2018). U tom istraživanju ispitanici su konzumirali kofein iz kapsula u dozi 3 ili 6 mg/kg, i rezultati su pokazali ergogeni učinak kofeina na mišićnu jakost donjih ekstremiteta mjerenu na izokinetičkom uređaju (doza od 3 mg/kg = + 4.4%, doza od 6 mg/kg = + 6.0%) bez značajnih razlika između doza kofeina, iako je postojao trend opažanja većeg učinka pri većoj dozi kofeina (Tallis i Yavuz, 2018).

Iako su ergogeni učinci kofeina u ovom istraživanju opaženi pri obje kutne brzine za mišiće ekstenzore potkoljenice, značajan učinak kofeina na jakost mišića fleksora potkoljenice primijećen je samo pri kutnoj brzini od 60/s. Ovaj divergentan učinak između mišićnih skupina može biti posljedica niže razine aktivacije mišića tijekom maksimalnih kontrakcija prije uzimanja kofeina u mišićima ekstenzora potkoljenice (Warren i sur., 2010). Prirodno niža razina aktivacije u ekstenzorima naspram fleksora potkoljenice hipotetski ostavlja više prostora

za poboljšanje vršnog momenta sile nakon konzumacije kofeina. Manje mišićne skupine mogu imati višu razinu aktivacije mišića prije konzumacije kofeina i stoga su manje osjetljive na njegov učinak (Warren i sur., 2010). Kofein je također poboljšalo i prosječnu snagu s veličinom učinka sličnom onoj opaženoj za mišićnu jakost.

Učinci konzumacije 300 mg kofeina iz gela na brzinu kretanja šipke u potisku s ravne klupe bili su vidljivi za sve tri korištene razine opterećenja (50%, 75% i 90% 1RM), pri čemu su učinci varirali od malih (0.33; +3.5%) do umjerenih (0.59; +12.0%). Ovi rezultati su u skladu s nalazima prethodnih istraživanja koja su ispitivala učinke kofeina na brzinu kretanja šipke. Na primjer, izvješteno je da konzumacija kofeina u dozi od 3 mg/kg, 60 minuta prije početka vježbanja, povećava brzinu koncentričnog pokreta (+5.0%) u potisku s ravne klupe pri opterećenju od 75% 1RM (Mora-Rodriguez i sur., 2012).

U jednom istraživanju je sugerirano da učinci kofeina na snagu mogu ovisiti o razini opterećenja i o dozi kofeina, iz razloga što je suplementacija kofeinom u umjerenim i visokim dozama (3 i 6 mg/kg) povećala brzinu kretanja šipke u potisku s ravne klupe pri opterećenjima od 25% i 50% 1RM, ali pri opterećenju od 75% 1RM samo su doze od 6 i 9 mg/kg bile učinkovite (Pallarés i sur., 2013). Kod najvećeg opterećenja od 90% 1RM, samo je vrlo visoka doza od 9 mg/kg bila učinkovita. Rezultati ovog doktorskog rada nisu u potpunosti u skladu s radom Pallarésa i suradnika (2013) obzirom na to da je apsolutna doza od 300 mg (~3.6 mg/kg) rezultirala ergogenim učinkom u smislu povećanja brzine kretanja šipke kod svih razina opterećenja (uključujući i 90% 1RM). Za razliku od nalaza Pallarésa i suradnika (2013), veličina učinka u ovom istraživanju je rasla s rastom opterećenja koje su sudionici savladavali. Najizraženiji učinak, koji iznosi +12.0% povećanja brzine kretanja šipke, primijećen je pri opterećenju koje odgovara 90% 1RM. Zanimljivo je što su Pallares i suradnici (2013) izvijestili o vrlo sličnom ergogenom (+13.1%) učinku na istom relativnom opterećenju od 90% 1RM, ali samo pri vrlo visokoj dozi od 9 mg/kg, dok niže doze od 3 i 6 mg/kg (koje su usporedive sa dozama korištenim u ovom doktorskome radu) nisu imale ergogeni učinak. Na temelju ovih nalaza čini se da su učinci kofeina izraženiji, barem za motorički zadatak potiska s ravne klupe, kada su zahtjevi za mišićnom silom najveći. S obzirom na izravnu važnost velike brzine kretanja šipke u razvoju snage (Tufano i sur., 2017), rezultati ovog istraživanja ukazuju da je suplementacija kofeinom prije početka vježbanja s otporom opravdana kada se želi postići akutno povećanje brzine pokreta i, posljedično, jači podražaj za razvoj mišićne snage.

Nisu opažene značajne razlike između konzumacije kofeina i placeba u snazi mišića cijelog tijela, procijenjenoj putem vršnog izlaza snage tijekom testa na veslačkom ergometru (veličina učinka = 0.08, +1.4%, $p = 0.647$). Na temelju ovih rezultata, ne čini se da konzumacija kofeina iz gela ima ergogeni učinak na vršnu snagu mišića cijelog tijela. Međutim, treba uzeti u obzir da ovaj nalaz može biti posljedica velike varijabilnosti između pojedinaca u odgovorima na konzumaciju kofeina (Grgić i sur. 2018). U jednom istraživanju unos gela s kofeinom (100 mg) i ugljikohidratima (21.6 grama) je značajno poboljšao tjelesnu izvedbu u veslanju na 2000 m u usporedbi s gelom koji je sadržao samo ugljikohidrate (Scott i sur., 2015). Iako se radi o veslanju, to istraživanje nije direktno usporedivo zbog velike razlike između korištenih testova u kontekstu funkcionalnih (aerobnih i anaerobnih) sposobnosti. Stoga, zanimljivo je da prilikom ispitivanja učinka kofeina iz gela (3 doze od 100 mg kofeina svakih 45 minuta kroz testiranje) na ponovljeni sprint nije se pokazalo ergogeno djelovanje, iako je opažena redukcija umora i subjektivne percepcije napora prilikom izvedbe sprinta (Cooper i sur., 2014).

9.3. USPOREDBA UČINKA KOFEINA IZ RAZLIČITIH IZVORA (GUMA ZA ŽVAKANJE NASPRAM GELA) NA MIŠIĆNU JAKOST I SNAGU

Kako je apsolutna doza kofeina koju su sudionici konzumirali bila identična u gumama za žvakanje i u gelovima (300 mg), u trećem segmentu istraživanja omogućena je izravna usporedba učinaka kofeina iz ova dva alternativna izvora kofeina na mišićnu jakost i snagu. S obzirom na to da su ispitanici dolazili natašte, a kofeinski i placebo gelovi sadrže nezanemarljivu količinu ugljikohidrata (88 grama), što nije bio slučaj sa gumama za žvakanje, smatrali smo da je metodološki opravdano, umjesto izravne usporedbe rezultata po konzumaciji kofeina iz guma za žvakanje i kofeina iz gela, usporediti razliku u učinku kofeina iz guma za žvakanje i placebo guma za žvakanje s razlikom u učinku kofeina iz gela i placebo gela.

Rezultati su pokazali da niti u jednoj varijabli praćenju u ovom istraživanju nema statistički značajne razlike između rezultata tj. promjena u testovima jakosti i snage kada je kofein konzumiran iz gume za žvakanje u usporedbi s placebo gumom za žvakanje, naspram rezultata tj. promjena kada je kofein konzumiran iz gela u usporedbi s placebo gelom. Oba izvora kofeina pokazala su ergogene učinke po konzumaciji, a poboljšanja u jakosti i snazi manifestirala su se kroz vrlo slične relativne promjene odnosno vrlo slične veličine učinaka, promatrano u odnosu na konzumaciju placeba.

Unatoč statističkoj neznačajnosti razlika prilikom izravne usporedbe veličine promjena kofein naspram placeba za gumu za žvakanje i za gel, ipak su uočena određena manja odstupanja u nalazima kada se promatraju učinci kofeina iz guma za žvakanje i kofeina iz gela. Naime, iako se kofein iz guma za žvakanje pokazao ergogenim u testu na veslačkom ergometru (veličina učinka = 0.41, +5.0%) naspram placeba, kofein iz gela nije značajno poboljšao izvedbu u tom vidu tjelesne izvedbe naspram placeba (veličina učinka = 0.08, + 1.4%). Postoji mogućnost da su takvi rezultati posljedica značajnog utjecaja tehnike izvođenja testa na veslačkom ergometru. Taj je test definitivno kompleksniji od ostalih testova korištenih u ovom doktorskom radu, pa je moguće da je tehnička izvedba značajno utjecala na rezultate. Nadalje, u testu fleksije potkoljenice na izokinetičkom uređaju pri brzini od 60°/s, kofein iz gela je značajno poboljšao vršni moment sile u odnosu na placebo (veličina učinka = 0.32, +6.7%), ali

kofein iz gume za žvakanje nije statistički značajno poboljšalo rezultat u odnosu na placebo (veličina učinka = 0.09, +1.7%).

Iako izravna usporedba učinaka kofeina iz guma za žvakanje i kofeina iz gela ima smisla u ovom istraživanju obzirom na istu konzumiranu apsolutnu dozu kofeina kod oba izvora, pored ranije spomenute činjenice da su gelovi sadržavali i određenu količinu ugljikohidrata, kvalitetnu usporedbu dva izvora donekle otežava i raspored dolazaka u laboratorij. Naime, kako je navedeno u poglavlju Metode rada, konzumacija guma za žvakanje odvijala se kroz 2. i 3. dolazak u laboratorij, a konzumacija gela kroz 7. i 8. dolazak u laboratorij. Stoga, iako je dizajn istraživanja smatramo dobar za izravne usporedbe učinaka kofeina s učinkom placeba iz istog izvora, usporedbu različitih izvora (guma za žvakanje i gela) otežava i činjenica da su ispitanici do konzumacije gela bili bolje specifično trenirani za testove jer su ih do tada već prošli 6 odnosno 7 puta kroz prethodne dolaske u laboratorij. Taj „efekt učenja“ čini se evidentnim kad se pogledaju aritmetičke sredine testova nakon konzumacije gelova koje su bez iznimke veće naspram aritmetičkih sredina testova nakon konzumacije guma za žvakanje. Naravno, u kojoj mjeri je to posljedica konzumiranih ugljikohidrata u gelovima, a u kojoj mjeri „efekta učenja“, nije moguće do kraja precizno odgovoriti.

Različiti načini konzumacije kofeina (odnosno, kofein konzumiran iz različitih izvora) mogu djelovati ergogeno na tjelesnu izvedbu (Guest i sur., 2021). Drugi pregledni rad također navodi da se različiti alternativni izvori kofeina poput guma za žvakanje i gelova mogu koristiti s ciljem poboljšanja tjelesne izvedbe (Grgić, 2021). Nalazi ovog doktorskog rada u suglasju su s tim zaključcima te podržavaju stav da se ergogeni učinak kofeina na dimenzije jakosti i snage može očekivati neovisno o načinu konzumacije kofeina, da će veličina učinka biti vrlo vjerojatno ista ili slična te da je stoga odabir izvora iz kojeg će se kofein konzumirati vjerojatno stvar osobnih preferencija. Naravno, usprkos očekivanoj istoj ili sličnoj veličini učinka, treba uzeti u obzir razlike u brzini manifestacije tog učinka koji ovisi o tome kreće li apsorpcija već u usnoj šupljini (npr. pri konzumaciji gume za žvakanje s kofeinom) ili tek u želucu (npr. pri konzumaciji kapsule s kofeinom).

9.4. UČINCI KOFEINA IZ KAPSULE NA MIŠIĆNU JAKOST I SNAGU

U ovom segmentu istraživanja utvrđivao se učinak kofeina iz kapsula na tjelesnu izvedbu treniranih muškaraca u testovima koji su vrlo kratkog trajanja i zahtijevaju maksimalni napor. Dodatno, napravljena je usporedba spomenutih učinaka kofeina s učinkom placeba s jedne, i s kontrolnim mjerenjem (mjerenjem bez suplementacije) s druge strane.

Rezultati su pokazali da, u odnosu na placebo, suplementacija kofeinom iz kapsula u dozi od 6 mg/kg, primijenjena 60 minuta prije početka testiranja, ima ergogeni učinak na: (1) visinu skoka s pripremom; (2) izokinetičku jakost i snagu mišića donjeg dijela tijela; (3) snagu mišića gornjeg dijela tijela procijenjenu brzinom kretanja šipke u vježbi potisak s ravne klupe s opterećenjima od 50%, 75% i 90% 1RM; i (4) snagu mišića cijelog tijela procijenjenu vršnim izlazom snage tijekom testa na veslačkom ergometru. U odnosu na kontrolno mjerenje, kofein je imao ergogeni učinak na: (1) visinu skoka s pripremom; (2) izokinetičku jakost i snagu ekstenzora (ali ne i fleksora) potkoljenice; i (3) snagu mišića gornjeg dijela tijela procijenjenu brzinom kretanja šipke u vježbi potisak s ravne klupe s opterećenjima od 75% i 90% 1RM. Zasljepljivanje je generalno bilo učinkovito i samo je jedan ispitanik prilikom jednog dolaska morao prekinuti testiranje nakon skokova s pripremom, zbog mučnine izazvane konzumacijom kofeina.

Konzumacija kofeina iz kapsula sat vremena prije testiranja bila je učinkovita u usporedbi s placebom (+3.8%) i s kontrolnim mjerenjem (+6.6%) za povećanje visine vertikalnog skoka. Postoji mali broj istraživanja koja nisu pokazala ergogeni učinak kofeina iz kapsula na skok s pripremom. Jedno takvo istraživanje na deset odraslih sportašica nije pokazalo ergogeni učinak 6 mg/kg kofeina iz kapsula (+ 1.0%, veličina učinka = 0.08, $p = 0.582$) na skok s pripremom (Ali i sur., 2016). Na sličnom tragu, na uzorku od sedamnaest mladih rekreativnih sportašica nije primijećen ergogeni učinak 3 mg/kg kofeina iz kapsula na visinu skoka s pripremom (Gawel i sur., 2022). Potencijalni razlog nedostatka učinka kofeina u tim istraživanjima bi mogao biti različit metabolizam kofeina između muškaraca i žena, iako izgleda da se ergogeni učinci kofeina ne čine ovisnima o fazama menstrualnog ciklusa (Grgić, 2021). Ipak, postoje nalazi koji pokazuju da uzimanje oralne kontracepcije može utjecati na metabolizam kofeina (Nehlig, 2018). Međutim, većina istraživanja koja su ispitala učinak kofeina na tjelesnu izvedbu je utvrdilo da konzumacija kofeina ima ergogeni učinak na tjelesnu

izvedbu kod žena, te se veličina tih učinaka čini sličnom onoj opaženoj kod muškaraca (Grgić, 2021).

Iako postoji mali broj istraživanja koja ne pokazuju ergogeni učinak kofeina iz kapsula na skok s pripremom, rezultati ovog doktorskog rada su u skladu s većinom drugih istraživanja u ovom području. Zbinden-Foncea i sur. (2018) su istražili učinak kofeina iz kapsula (5 mg/kg) na skupini od deset elitnih odbojkaša te su uočili značajne ergogene učinke u testu skoka s pripremom u mnogobrojnim varijablama (vrijeme leta, snaga pri odrazu, gradijent sile), ali nisu direktno testirali visinu skoka. Kofein iz kapsule u dozi od 6 mg/kg se pokazao ergogenim po pitanju skoka s pripremom (+2.7%) i na skupini od dvanaest nogometaša (Foskett, Ali i Gant, 2009). Također, kofein iz kapsule u dozi od 5 mg/kg je značajno poboljšao visinu skoka s pripremom (+10.4%, veličina učinka = 0.45) kod profesionalnih skakača u vis (Santos-Mariano i sur., 2022), dok je na uzorku od dvadeset profesionalnih košarkaša pokazano da doza od 3 mg/kg kofeina iz kapsula značajno povećava visinu odraza (+2.4%, veličina učinka = 0.14) u odnosu na placebo (Puente i sur., 2017).

Ti nalazi ukazuju na činjenicu da kofein može djelovati ergogeno i kod vrhunskih sportaša koji su adaptirani na motoričke testove koji se koriste u istraživanju ergogenih učinaka kofeina na tjelesnu izvedbu. Nadalje, nalazi ovog doktorskog rada podržavaju nalaze drugih istraživanja koja su izvijestila o ergogenim učincima kofeina na visinu vertikalnog skoka u usporedbi s placebo (Grgić i sur., 2018; Salinero, Lara i Del Coso, 2019). Veličina učinka (0.19) opažena u ovom doktoratu bila je vrlo slična veličinama učinka (0.17 i 0.19) u spomenutim preglednim radovima u tom području (Grgić i sur., 2018; Salinero, Lara i Del Coso, 2019).

Konzumacija placebo kapsule (u usporedbi s kontrolnim mjerenjem) također je proizvela ergogeni učinak (+2.8%) za povećanje visine vertikalnog skoka. Ti rezultati potencijalno sugeriraju da je davanje placebo moguća opcija za akutno poboljšanje izvedbe skoka s pripremom. Međutim, davanje placebo može biti etički problematično i može dovesti do problema u smislu povjerenja između davatelja i primatelja placebo (Beedie i Foad, 2009). U konsenzusu o učincima placebo u sportu i vježbanju (Beedie i sur., 2018) autori su primijetili da u mnogim slučajevima učinci placebo mogu biti slične veličine kao i učinci stvarne suplementacije (u ovom slučaju kofeina). S obzirom na rezultate ovog istraživanja, to je djelomično točno, ali samo ako usporedimo učinke kofeina naspram placebo (+4.0%, veličina

učinka = 0.19) s učincima placebo naspram kontrolnog mjerenja (+2.5%, veličina učinka = 0.13). Međutim, isto se ne može tvrditi prilikom usporedbe učinaka kofeina naspram kontrolnog mjerenja budući da je tu veličina učinka bila veća i iznosila je 0.31 (+6.6%). Unatoč činjenici da placebo može dovesti do povećanja visine vertikalnog skoka, učinci kofeina čine se većima od učinaka placebo. To je važno s praktičnog stajališta ako uzmemo u obzir da će pojedinac zainteresiran za suplementaciju s ciljem poboljšanja tjelesne izvedbe ili uzeti kofein ili ga jednostavno neće uzeti. Drugim riječima, namjerno korištenje placebo nije vjerojatna opcija. S istraživačke perspektive, to sugerira da bi istraživanja koja koriste dvostruko slijepi eksperimentalni nacrt bez kontrolnog mjerenja mogla zapravo podcijeniti učinak kofeina, budući da bi stvarni učinak mogao biti veći nego što je prikazano u usporedbi s placebo.

U pogledu učinka kofeina iz kapsula na izvedbu na izokinetičkom uređaju, postoji nekoliko važnih opažanja koja proizlaze iz rezultata ovog istraživanja. Prvo, ovo je istraživanje pokazalo da unos 6 mg/kg kofeina iz kapsula povećava izokinetičku jakost i snagu mišića ekstenzora potkoljenice, ali ne i mišića fleksora potkoljenice. Drugo, ergogeni učinci uočeni su na testovima izokinetičkom uređaju pri obje kutne brzine. Treće, kofein je imao ergogeni učinak i u usporedbi s placebo i u usporedbi s kontrolnim mjerenjem te nije bilo značajnih razlika između placebo i kontrolnog mjerenja za bilo koju analiziranu varijablu.

Unos kofeina je, dakle, povećao izokinetičku jakost i snagu mišića ekstenzora potkoljenice pri nižim i višim kutnim brzinama. Ti su učinci konzistentni i vidljivi kad se kofein uspoređuje s kontrolnim mjerenjem, ali i pri usporedbi kofeina s placebo. Jedan od glavnih nalaza ovog istraživanja je da unos kofeina povećava izokinetičku jakost i snagu mišića ekstenzora potkoljenice, iako se taj pozitivan učinak nije opazio kod mišića fleksora potkoljenice. Takve divergentne reakcije na konzumaciju kofeina između različitih mišićnih skupina također su prethodno evidentirane u literaturi (Grgić i sur., 2019; Warren i sur., 2010). Primjerice, evidentiran je ergogeni učinak kofeina na jakost mišića ekstenzora potkoljenice, ali ne i drugih mišićnih skupina (Warrena i sur., (2010). Te specifične reakcije mišićnih skupina uglavnom se pripisuju razlikama u njihovoj aktivaciji. Koristeći tehniku trzaja mišićnih vlakana (eng. *interpolated twitch technique, ITT*), pokazano je da je aktivacija mišića ekstenzora potkoljenice prije unosa kofeina iznosila 83%, dok je aktivacija mišića fleksora lakta iznosila 97% (Black, Waddell i Gonglach, 2015). Zbog niže bazne aktivacije, hipotetski se smatra da je povećanje regrutacije motoričkih jedinica i kontraktilnih svojstava mišića nakon konzumacije

kofeina vjerojatnije u mišićima ekstenzorima potkoljenice nego u drugim mišićnim skupinama (Warren i sur., 2010).

Samo je nekoliko istraživanja (Tallis i sur., 2016; Ali i sur., 2016) izravno procjenjivalo učinke kofeina na mišiće ekstenzore i fleksore potkoljenice. Tallis i sur. (2016) su istražili učinke kofeina u dozi od 5 mg/kg na vršni moment sile u obje skupine mišića, te su uočili ergogeni učinak kofeina samo na mišiće ekstenzore potkoljenice (+8.3%), što se podudara s nalazima ovog doktorskog rada. Drugo istraživanje (Ali i sur., 2016) analiziralo je ishode 5 mg/kg kofeina iz kapsula i izvijestilo o odsutnosti ergogenog učinka, iako su podaci za mišiće ekstenzore potkoljenice značajno podržavali učinak kofeina (+ 9.7%, veličina učinka = 0.29, $p = 0.053$). Stoga, rezultati ovog i drugih istraživanja podupiru činjenicu da su ergogeni učinci kofeina posebno izraženi u mišićima ekstenzorima potkoljenice. Jedan je pregledni rad izvijestio da unos kofeina utječe ergogeno na vršni moment sile pri kutnim brzinama od 60°/s i 180°/s, dok nije bilo značajne razlike između kofeina i placeba pri kutnoj brzini od 30°/s (Grgić i Pickering, 2019). Međutim, jedno ograničenje ovih nalaza je da su dobiveni u podgrupnim analizama u istraživanjima koja su se razlikovala po korištenim kutnim brzinama, ali i po drugim metodološkim čimbenicima, poput doze kofeina i trenažnog statusa sudionika, što bi sve moglo imati utjecaja na učinak intervencije (Grgić i Pickering, 2019; Tallis i sur., 2018).

U ovom doktorskome radu se direktno usporedio učinak pri različitim kutnim brzinama i uočeno je da su učinci kofeina slični pri kutnim brzinama od 60°/s i 180°/s. Ovi podaci se slažu s nalazima istraživanja Bazzucchija i suradnika (2011) koji su izvijestili o ergogenom učinku kofeina pri obje kutne brzine. Međutim, drugo je istraživanje izvijestilo o ergogenom učinku kofeina iz kapsula samo pri brzini od 180°/s (Tallis i sur., 2018). Iako postoje konfliktni dokazi, izgleda da kofein iz kapsula u većini slučajeva djeluje ergogeno (pri različitim kutnim brzinama) na jakost i snagu kada se ti aspekti tjelesne izvedbe procjenjuju na izokinetičkom uređaju.

Ergogeni učinak kofeina u ovom istraživanju bio je evidentan u usporedbi s placebom, ali i u usporedbi s kontrolnim mjerenjem. Jedini izuzetak bio je vršni moment sile mišića ekstenzora potkoljenice pri 180°/s, kod kojeg je ergogeni učinak kofeina opažen samo u usporedbi s placebom, ali ne i u usporedbi s kontrolnim mjerenjem. Budući da konzumacija placeba nije imala ergogeni učinak, a zasljepljivanje je općenito bilo učinkovito, može se zaključiti da su učinci kofeina uvelike temeljeni na fiziološkim mehanizmima (Bazzucchi i sur.,

2011). Slični nalazi opaženi su i u drugim modalitetima tjelesnog vježbanja. Primjerice, McNaughton i sur., (2008) istražili su učinke konzumacije kofeina, placeba i uvjet bez konzumacije na funkcionalne sposobnosti biciklista. U tom istraživanju, koje je uključivalo testiranje na bicikl ergometru (20 km), unos kofeina pokazao je ergogeni učinak u usporedbi s placeboom i kontrolnim uvjetom, dok nije bilo značajnih razlika između placeba i kontrolnog mjerenja.

Konzumacija kofeina, u usporedbi s konzumacijom placeba, povećala je prosječnu brzinu kretanja šipke u vježbi potiska s ravne klupe pri 75% (+5.5%) i 90% (+8.5%) 1RM, ali ne i pri opterećenju od 50% 1RM (+1.2%). U usporedbi s kontrolnim mjerenjem, konzumacija kofeina rezultirala je ergogenim učincima na prosječnu brzinu kretanja šipke pri svim analiziranim razinama opterećenja. Međutim, nije bilo značajne razlike u ovoj varijabli između placeba i kontrolnog mjerenja što sugerira da izolirano uzimanje placeba vjerojatno ne povećava prosječnu brzinu kretanja šipke u vježbama s otporom. Ergogeni učinak kofeina u odnosu na kontrolno mjerenje je iznosio 3.7% pri opterećenju od 50% 1RM, 5.5% na 75% 1RM, te 11.4% pri najvećem opterećenju od 90% 1RM. Drugim riječima, pri većim razinama otpora kofein je izazvao veći ergogeni učinak.

Ovi su rezultati u skladu s literaturom u ovom području. Na uzorku od dvanaest visoko utreniranih muškaraca je pokazano da kofein iz kapsula u dozi od 3 mg/kg, konzumiran 60 minuta prije početka testiranja, poboljšava brzinu kretanja šipke u potisku s ravne klupe za 4.6% (Mora-Rodríguez i sur., 2012). Drugo istraživanje slične metodologije je koristilo istu dozu kofeina iz kapsula (3 mg/kg) na skupini od četrnaest brazilskih jiu-jitsu sportaša, te je pokazalo da kofein djeluje ergogeno (+5.3%) u odnosu na placebo u varijabli potiska s ravne klupe (Diaz-Lara i sur., 2016). Kada se procjenjuju učinci kofeina na brzinu ponavljanja motoričkog zadatka, važno je koristiti različita opterećenja, budući da neki autori sugeriraju da učinci kofeina na brzinu kretanja šipke mogu ovisiti o vanjskom opterećenju (Grgić i sur., 2019). Zanimljivo je da se u ovom istraživanju veličina učinka prilikom konzumacije kofeina (u usporedbi s placeboom i kontrolnim mjerenjem) povećava s povećanjem vanjskog otpora. Pri 50%, 75% i 90% 1RM, veličina učinka je varirala i progresivno se povećavala od 0.19-0.29, 0.32-0.34, do 0.36-0.46. Ti rezultati pokazuju da su učinci kofeina na brzinu kretanja šipke najveći kada su zahtjevi za proizvodnjom sile najveći (tj. kad je masa utega koji se savladava najveća). Sukladno nalazima ovog istraživanja, opažen je sličan obrazac i u istraživanju Grgića

i Mikulića (2021) u kojem se veličina učinka za brzinu kretanja šipke kretala od 0.20-0.29 za opterećenja do 50% 1RM, 0.36-0.50 za 75% 1RM i 0.57-0.61 za 90% 1RM.

Rezultati ovog dijela doktorskog rada nisu u skladu s prethodnim radovima koji su istraživali učinke uzimanja placeba na tjelesnu izvedbu u vježbama s otporom. Konkretno, Pollo i suradnici (2008), te Duncan i suradnici (2009) su izvijestili da je uzimanje placeba poboljšalo ukupno obavljen rad i mišićnu izdržljivost u vježbi ekstenzije potkoljenice. Također, Costa i suradnici (2019) su izvijestili da je konzumacija placeba, u kombinaciji sa sugestijom da kapsula sadrži kofein, rezultiralo ergogenim učincima na brzinu kretanja šipke pri 50%, ali ne i pri 60%, 70% i 80% 1RM. Ti su rezultati u suprotnosti s onima predstavljenima u ovom dijelu istraživanja, možda zbog metodoloških razlika u nacrtu istraživanja. Konkretno, prethodna istraživanja su koristila nacrt u kojem su sudionici konzumirali kapsulu, a bilo im je sugerirano da kapsula sadrži kofein (iako kofein nije konzumiran niti u jednom uvjetu). Međutim, u ovom istraživanju se koristio dvostruko slijepi nacrt u kojem ni istraživači ni sudionici nisu znali koji je sadržaj kapsula, a također nije bilo nikakvih sugestija prema sudionicima koje bi eventualno mogle utjecati na njihovu tjelesnu izvedbu tijekom testiranja.

Uzimanje kofeina može rezultirati nuspojavama (i pozitivnim i negativnim), kao što su povećan broj otkucaja srca, glavobolja i povećana koncentracija (Juliano i Griffiths, 2004). Zbog ovih nuspojava neki sudionici mogu ispravno prepoznati sadržaj kapsula. Važno je uzeti to u obzir jer ispravno prepoznavanje dodataka prehrani može utjecati na rezultate izvedbe i dovesti do pristranosti u rezultatima, unatoč dvostruko slijepom nacrtu istraživanja (Saunders i sur., 2017). Stoga je za istraživanja koja ispituju učinke kofeina na tjelesnu izvedbu važno također ispitati i učinkovitost zasljepljivanja sudionika. Mnoga istraživanja ne provode ovaj postupak (Grgić, 2018; Grgić i sur., 2018). U nekim istraživanjima koja su koristila 6 mg/kg kofeina je izviješteno da je 75% do 92% svih sudionika moglo ispravno prepoznati kofein nakon konzumacije (Carr i sur., 2011; Tarnopolsky i Cupido, 2000).

U ovom istraživanju, učinkovitost zasljepljivanja bila je visoka, obzirom da je samo 20% do 28% sudionika ispravno prepoznalo kofein. Obzirom na učinkovitost zasljepljivanja te izostanak ergogenih učinaka placeba, čini se da je uočeni ergogeni učinak kofeina primarno posljedica promjena u fiziološkim procesima, poput npr. povećane regrutacije motoričkih jedinica (Bazzucchi i sur., 2011). Istraživanje Tallisa i suradnika (2016) dodatno potvrđuje ovu

pretpostavku. U tom istraživanju sudionici su testirani četiri puta u četiri različita uvjeta: (a) "rečeno kofein - dobili kofein"; (b) "rečeno kofein - dobili placebo"; (c) "rečeno placebo - dobili placebo"; i (d) "rečeno placebo - dobili kofein". Poboljšanje vršnog momenta sile pri izokinetičkom testiranju bilo je vidljivo samo kada su sudionici zaista konzumirali kofein (tj. uvjeti "rečeno kofein - dobili kofein" i "rečeno placebo - dobili kofein").

Za procjenu vršnog izlaza snage mišića cijelog tijela koristio se validirani test na veslačkom ergometru (Metikoš i sur., 2015) koji se sastojao od šest uvodnih, progresivnih zaveslaja te odmah potom šest maksimalnih zaveslaja na veslačkom ergometru. Konzumacija kofeina, u usporedbi s konzumacijom placeba, pokazala se ergogenom (+3.5%) za vršni izlaz snage u ovom testu. Nije bilo statistički značajne razlike između konzumacije kofeina i kontrolnog mjerenja, iako je uočen trend poboljšanja izvedbe kada je konzumiran kofein (+1.5%). Nema puno istraživanja koja su koristila kofein iz kapsula na ovaj specifičan test veslanja, ali rezultati su u skladu s istraživanjem provedenim na trinaest sveučilišnih sportaša koje je pokazalo da unos kofeina iz gela (100 mg) značajno poboljšava izvedbu u veslanju na 2000 m u usporedbi s gelom bez kofeina (Scott i sur., 2015). Također, opaženi ergogeni učinak kofeina podudara se s nalazima preglednog rada u kojem je izviješteno o njegovim ergogenim učincima u izvedbi veslanja na 2000 m (Grgić i sur., 2020b), kao i s nalazima koji sugeriraju da kofein ima ergogeni učinak na anaerobne aspekte tjelesne izvedbe poput skoka i sprinta (Guest i sur., 2021). Navedeni pregledni rad je proučavao učinak kofeina na veslanje na veslačkom ergometru (na dionicama od 1000 m i 2000 m) te je izvijestio da konzumacija kofeina djeluje ergogeno te prosječno poboljšava izvedbu za ~4s (Grgić i sur., 2020b). Ta je promjena popraćena malim povećanjem prosječnog izlaza snage. Naravno, trajanje motoričkog zadatka je drastično drugačije u usporedbi s ovim istraživanjem, u kojem je ispitano kratkotrajno (trajanje svega nekoliko sekundi) veslanje maksimalnim intenzitetom, dok je spomenuti pregledni rad uključio testove veslanja koja traju nekoliko minuta. Različit udio energetske mehanizama ograničava izravnu usporedbu. Prilikom prvog upoznavajućeg dolaska sudionici istraživanja su više puta isprobali ovaj test kako bi se izbjegle razlike u ishodu testa zbog nedovoljnog znanja u tehničkoj izvedbi, iako se radi o relativno jednostavnom pokretu. Međutim, s obzirom da je ovaj motorički zadatak tehnički zahtjevniji od ostalih testova u ovom istraživanju, postoji mogućnost da su variranja u tehnici između sudionika ipak utjecala na nalaze.

10. PREDNOSTI I OGRANIČENJA ISTRAŽIVANJA

Prednosti istraživanja za potrebe izrade ovog doktorskog rada su sljedeća:

1. Ovo je istraživanje koristilo dvostruko slijepi, randomizirani, placebo kontrolirani eksperimentalni nacrt. Takav se nacrt smatra zlatnim standardom u metodologiji ovakvih vrsta istraživanja. Također, provjeravala se učinkovitost zasljepljivanja sudionika putem Bangovog indeksa zasljepljivanja.
2. Svi su sudionici dobili detaljne upute o tome što mogu konzumirati prije istraživanja i kojim se tjelesnim aktivnostima i na koji način mogu baviti u danima prije samih dolazaka u laboratorij (kako ne bi došli umorni). Ovo se provjeravalo svakim dolaskom prije početka testiranja. Na ovaj način eliminirani su neki čimbenici koji su mogli negativno utjecati na dobivene rezultate i otežati njihovu interpretaciju.
3. Provedeno je pilot mjerenje s pet sudionika prije početka glavnog dijela istraživanja u svrhu određivanja koeficijenta varijacije koji su poslužili za procjenu pouzdanosti mjernih instrumenata. Svi su se mjerni instrumenti pokazali zadovoljavajuće pouzdanima, što rezultatima i zaključcima ovog doktorskog rada daje dodanu vrijednost.
4. Isti istraživač je proveo sva testiranja sa svim sudionicima, što doprinosi konzistentnosti i boljoj kontroli protokola istraživanja. Sva testiranja sa svim sudionicima provedena su u isto doba dana, u istom laboratoriju i u istim mikroklimatskim uvjetima.
5. Svi sudionici su eksperimentalni protokol prolazili na tašte, bez konzumacije zajutraka ili doručka, što je eliminiralo nepredvidljivi utjecaj hrane na metabolizam kofeina.
6. Istraživanje je imalo relativno velik broj sudionika što doprinosi njegovoj statističkoj snazi.

Ograničenja istraživanja za potrebe izrade ovog doktorskog rada su sljedeća:

1. Obzirom na to da su svi sudionici bili muškarci mlađe životne dobi s iskustvom u treningu s otporom, dobivene rezultate u kontekstu učinaka kofeina nije moguće izravno generalizirati na druge populacije (npr. na osobe starije životne dobi, osobe ženskog spola ili na tjelesno neaktivne osobe).
2. Sudionici su eksperimentalni protokol prolazili na tašte, što se može promatrati kao prednost (vidjeti prethodno navedene prednosti istraživanja), ali i kao nedostatak, jer tjelesno vježbanje na tašte nije uobičajena praksa za većinu osoba koje prakticiraju trening s otporom. Tjelesno vježbanje na tašte nije u skladu s trenutnim smjernicama za sportsku prehranu (Aird i sur., 2018), te učinci kofeina mogu biti umanjeni kada se kofein unosi nakon jela u usporedbi s konzumacijom na tašte (McLellan, Caldwell i Lieberman, 2016).
3. Sudionici ovog istraživanja su uglavnom su bile osobe s redovitim, ali niskim habitualnim unosom kofeina, s medijanom unosa od 0.6 mg/kg/dan. Ovo ukazuje da bi se buduća istraživanja ovog tipa mogla usmjeriti na sudionike s umjerenim ili visokim redovitim habitualnim unosom kofeina.
4. Pri testu potiska s ravne klupe, mišićna snaga gornjeg dijela tijela nije izravno mjerena nego procjenjivana putem brzine izvedbe pokreta. Korištena PowerLift aplikacija, naime, ne omogućava izravno mjerenje izlaza snage pri izvedbi vježbi s otporom. Međutim, veličina učinka kofeina koji se tipično opažaju za prosječnu brzinu pokreta pri potisku s ravne klupe općenito vrlo blisko prati veličinu učinka kofeina koji se tipično opazi za prosječni izlaz snage. Stoga, iako mišićna snaga u tom dijelu eksperimenta nije izravno mjerena, smatramo da je njena procjena putem brzine izvedbe pokreta opravdana.
5. Test na veslačkom ergometru, iako relativno jednostavan, zahtjeva određeno tehničko znanje prilikom izvedbe. Unatoč činjenici što su svi sudionici isprobali više puta ovaj test na upoznavajućem dolasku, razlike u tehničkoj izvedbi, poznavanju veslanja te razlike u koordinaciji ispitanika su potencijalno zbunjujuća varijabla pri analizi rezultata, u odnosu na druge korištene testove koji su uglavnom motorički jednostavni.

11. ZAKLJUČAK

Primarni cilj istraživanja ovog doktorskog rada bio je ispitati akutne učinke kofeina iz alternativnih izvora na mišićnu jakost i snagu u osoba iskusnih u treningu s otporom. Preciznije, ispitaio se učinak: (1) kofeina iz guma za žvakanje u odnosu na placebo gume za žvakanje, (2) kofeina iz gela u odnosu na placebo gel, i (3) kofeina iz kapsula u odnosu na placebo kapsule i kontrolno mjerenje. Sekundarni cilj bio je izravno usporediti učinak kofeina iz gelova i guma za žvakanje na mišićnu jakost i snagu. Također, istražen je i učinak kofeina iz kapsula u usporedbi s placebo kapsulom i u usporedbi s kontrolnim mjerenjem.

Rezultati pokazuju da svi oblici konzumacije kofeina mogu imati ergogeni učinak na mišićnu jakost i snagu. U ovom se doktorskome radu pokazalo da relativno niska apsolutna doza kofeina od 300 mg (relativna doza: 2.7 mg/kg do 4.5 mg/kg) u obliku guma za žvakanje i gelova, konzumirana samo 10 minuta prije početka vježbanja, može biti učinkovita u cilju akutnog poboljšanja: visine vertikalnog skoka; izokinetičke jakosti i snage mišića ekstenzora i fleksora potkoljenice; brzine kretanja šipke kod potiska s ravne klupe pri opterećenjima od 50%, 75% i 90% 1RM; te vršnog izlaza snage mišića cijelog tijela pri testu na veslačkom ergometru.

Nije primijećena razlika u učincima kofeina na promatrane izvedbene varijable kada su izravno uspoređeni učinci kofeina iz guma za žvakanje i kofeina iz gelova. Konzumacija kofeina u kapsuli, 60 minuta prije početka aktivnosti u dozi od 6 mg/kg, može biti učinkovita u smislu poboljšanja mišićne jakosti i snage. Također, u pojedinim aspektima tjelesne izvedbe konzumacija placebo kapsula je bila ergogena u odnosu na kontrolno mjerenje. Ovaj nalaz ukazuje na postojanje placebo učinka kojeg treba uzeti u obzir kako u znanstvenim istraživanjima kofeina kao ergogenog sredstva, tako i u praksi tjelesnog vježbanja i sportskog treninga.

Zaključno, temeljem rezultata ovog doktorskog rada, može se tvrditi da su postavljene hipoteze H1, H2 i H3 prihvaćene u cijelosti obzirom da je konzumacija kofeina iz alternativnih izvora u apsolutnoj dozi od 300 mg akutno poboljšala tjelesnu izvedbu u svim testovima mišićne jakosti i snage, a također nije bilo razlika u veličini ergogenog učinka kofeina kada se uspoređivao kofein iz guma za žvakanje i kofein iz gela. Hipoteza H4 je djelomično (većinom)

prihvaćena iz razloga što je kofein iz kapsula akutno poboljšao tjelesnu izvedbu u svim promatranim testovima mišićne jakosti i snage osim u testu snage mišića cijelog tijela (test na veslačkom ergometru).

Uzimajući u obzir navedene rezultate, ne može se tvrditi da je veličina učinka kofeina ovisna o njegovom izvoru, te se može tvrditi da je odabir izvora putem kojeg se želi konzumirati kofein u kontekstu akutnih poboljšanja jakosti i snage stvar osobne preferencije. Velika prednost suplementacije kofeinom iz gume za žvakanje i gela (u odnosu na kofein iz kapsula) jest puno brža apsorpcija kofeina te posljedično puno brža manifestacija akutnog ergogenog učinka kofeina, što može biti od velike važnosti i prednosti u uvjetima sportskog treninga i natjecanja.

12. PRAKTIČNE PREPORUKE

Općenito, suplementacija kofeinom iz različitih izvora može akutno pozitivno djelovati na mišićnu jakost i snagu. Kofein u apsolutnoj dozi od 300 mg (relativna doza: 2.7 mg/kg do 4.5 mg/kg), 10 minuta prije početka aktivnosti, konzumiran putem gume za žvakanje ili gela, može povoljno utjecati na tjelesnu izvedbu kod treniranih muškaraca mlađe životne dobi te može akutno poboljšati visinu vertikalnog skoka, jakost i snagu mišića donjih ekstremiteta mjerenu na izokinetičkom uređaju, brzinu kretanja šipke u potisku s ravne klupe pri umjerenim do visokim opterećenjima te vršni izlaz snage pri maksimalnom testu na veslačkom ergometru.

Također, i konzumacija kofeina iz kapsula 60 minuta prije aktivnosti, u dozi od 6 mg/kg, može poboljšati tjelesnu izvedbu u motoričkim zadacima koji zahtijevaju manifestaciju mišićne jakosti i snage, iako suplementacija kofeinom iz gume za žvakanje i gela može biti od velike prednosti u odnosu na suplementaciju kofeinom iz kapsule u situacijama kada je potrebna brza apsorpcija i brzo djelovanje kofeina.

Na temelju evidentiranih pozitivnih učinaka na tjelesnu izvedbu u ovom doktorskom radu, osobe s iskustvom u treningu s otporom mogu razmotriti suplementaciju kofeinom u obliku guma za žvakanje, kapsula i gelova prije početka vježbanja ako žele akutno poboljšati manifestaciju mišićne jakosti i snage. Obzirom da svi u ovom radu ispitivani načini konzumacije kofeina (gume za žvakanje, gelovi, kapsule) mogu imati približno jednak ergogeni učinak, može se smatrati da je odabir izvora putem kojeg vježbač konzumira kofein stvar osobne preferencije.

13. LITERATURA

1. Aguilar-Navarro, M., Muñoz, G., Salinero, J., Muñoz-Guerra, J., Fernández-Álvarez, M., Plata, M., & Del Coso, J. (2019). Urine caffeine concentration in doping control samples from 2004 to 2015. *Nutrients*, *11*(2), 286.
2. Aird, T. P., Davies, R. W., & Carson, B. P. (2018). Effects of fasted vs fed-state exercise on performance and post-exercise metabolism: A systematic review and meta-analysis. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *28*(5), 1476–1493.
3. Algrain, H. A., Thomas, R. M., Carrillo, A. E., Ryan, E. J., Kim, C.-H., Lettan, R. B., & 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.
4. Ali, A., O'Donnell, J., Foskett, A., & 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*(1).
5. Alpert, P. T. (2012). The Health Lowdown on caffeine. *Home Health Care Management & Practice*, *24*(3), 156–158.
6. Astorino, T., Rohmann, R., & Firth, K. (2007). Effect of caffeine ingestion on one-repetition maximum muscular strength. *European Journal of Applied Physiology*, *102*(2), 127–132.
7. Balsalobre-Fernández, C., Marchante, D., Muñoz-López, M., & Jiménez, S. L. (2017). Validity and reliability of a novel iPhone app for the measurement of barbell velocity and 1RM on the bench-press exercise. *Journal of Sports Sciences*, *36*(1), 64–70.
8. Bang, H., Flaherty, S. P., Kolahi, J., & 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*(2), 42–51.

9. Barreto, G., Loureiro, L. M., Reis, C. E., & Saunders, B. (2023). Effects of caffeine chewing gum supplementation on exercise performance: A systematic review and meta-analysis. *European Journal of Sport Science*, *23*(5), 714–725.
10. Bazzucchi, I., Felici, F., Montini, M., Figura, F., & Sacchetti, M. (2011). Caffeine improves neuromuscular function during maximal dynamic exercise. *Muscle & Nerve*, *43*(6), 839–844.
11. Beedie, C. J., & Foad, A. J. (2009). The placebo effect in sports performance. *Sports Medicine*, *39*(4), 313–329.
12. Beedie, C., Benedetti, F., Barbiani, D., Camerone, E., Cohen, E., Coleman, D., Davis, A., Elsworth-Edelsten, C., Flowers, E., Foad, A., Harvey, S., Hettinga, F., Hurst, P., Lane, A., Lindheimer, J., Raglin, J., Roelands, B., Schiphof-Godart, L., & Szabo, A. (2018). Consensus statement on placebo effects in sports and exercise: The need for conceptual clarity, methodological rigour, and the elucidation of neurobiological mechanisms. *European Journal of Sport Science*, *18*(10), 1383–1389.
13. Bellar, D. M., Kamimori, G., Judge, L., Barkley, J. E., Ryan, E. J., Muller, M., & Glickman, E. L. (2012). Effects of low-dose caffeine supplementation on early morning performance in the Standing Shot Put Throw. *European Journal of Sport Science*, *12*(1), 57–61.
14. Benowitz, N. L. (1990). Clinical Pharmacology of Caffeine. *Annual Review of Medicine*, *41*(1), 277–288.
15. Black CD, Waddell DE, Gonglach AR. (2015). Caffeine's ergogenic effects on cycling. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *47*(6), 1145–1158.
16. Bloms, L. P., Fitzgerald, J. S., Short, M. W., & Whitehead, J. R. (2016). The effects of caffeine on vertical jump height and execution in collegiate athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *30*(7), 1855–1861.
17. Burke, L. M. (2008). Caffeine and sports performance. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, *33*(6), 1319–1334.

18. Bühler, E., Lachenmeier, D., Schlegel, K., & Winkler, G. (2014). Development of a tool to assess the caffeine intake among teenagers and young adults. *Ernahrungsumschau*, *61*, 58–63.
19. Carvalho, A., Marticorena, F. M., Grecco, B. H., Barreto, G., & Saunders, B. (2022). Can I have my coffee and drink it? A systematic review and meta-analysis to determine whether habitual caffeine consumption affects the ergogenic effect of caffeine. *Sports Medicine*, *52*(9), 2209–2220.
20. Cappelletti, S., Daria, P., Sani, G., & Aromatario, M. (2015). Caffeine: Cognitive and physical performance enhancer or psychoactive drug? *Current Neuropharmacology*, *13*(1), 71–88.
21. Cooper, R., Naclerio, F., Allgrove, J., & Larumbe-Zabala, E. (2014). Effects of a carbohydrate and caffeine gel on intermittent sprint performance in recreationally trained males. *European Journal of Sport Science*, *14*(4), 353–361.
22. Costa, G. D., Galvão, L., Bottaro, M., Mota, J. F., Pimentel, G. D., & Gentil, P. (2019). Effects of placebo on bench throw performance of Paralympic Weightlifting Athletes: A pilot study. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, *16*(1).
23. Cunha, R. A., & Agostinho, P. M. (2010). Chronic caffeine consumption prevents memory disturbance in different animal models of memory decline. *Journal of Alzheimer's Disease*, *20*(s1).
24. Davis, J. K., & Green, J. M. (2009). Caffeine and anaerobic performance. *Sports Medicine*, *39*(10), 813–832.
25. de Souza, J. G., Del Coso, J., Fonseca, F. de, Silva, B. V., de Souza, D. B., da Silva Gianoni, R. L., Filip-Stachnik, A., Serrão, J. C., & Claudino, J. G. (2022). Risk or benefit? side effects of caffeine supplementation in sport: A systematic review. *European Journal of Nutrition*, *61*(8), 3823–3834.
26. Del Coso, J., Muñoz, G., & 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.

27. Del Coso, J., Salinero, J. J., González-Millán, C., Abián-Vicén, J., & Pérez-González, B. (2012). Dose response effects of a caffeine-containing energy drink on muscle performance: A repeated measures design. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 9(1).
28. 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., ... Lashermes, P. (2014). The coffee genome provides insight into the convergent evolution of caffeine biosynthesis. *Science*, 345(6201), 1181–1184.
29. Desbrow, B., Hughes, R., Leveritt, M., & Scheelings, P. (2007). An examination of consumer exposure to caffeine from retail coffee outlets. *Food and Chemical Toxicology*, 45(9), 1588–1592.
30. Desbrow, B., Henry, M., & Scheelings, P. (2012). An examination of consumer exposure to caffeine from commercial coffee and coffee-flavoured milk. *Journal of Food Composition and Analysis*, 28(2), 114–118.
31. Desbrow, B., Hall, S., & Irwin, C. (2018). Caffeine content of Nespresso® Pod Coffee. *Nutrition and Health*, 25(1), 3–7.
32. Diaz-Lara, F. J., Del Coso, J., García, J. M., Portillo, L. J., Areces, F., & Abián-Vicén, J. (2016). Caffeine improves muscular performance in elite Brazilian jiu-jitsu athletes. *European Journal of Sport Science*, 16(8), 1079–1086.
33. 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.
34. Duncan, M. J., Dobell, A. P., Caygill, C. L., Eyre, E., & Tallis, J. (2018). The effect of acute caffeine ingestion on upper body anaerobic exercise and cognitive performance. *European Journal of Sport Science*, 19(1), 103–111.
35. Evans, M., Tierney, P., Gray, N., Hawe, G., Macken, M., & Egan, B. (2018). Acute ingestion of caffeinated chewing gum improves repeated sprint performance of team

- sport athletes with low habitual caffeine consumption. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 28(3), 221–227.
36. Fernandes, A. L., Lopes-Silva, J. P., Bertuzzi, R., Casarini, D. E., Arita, D. Y., Bishop, D. J., & 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).
 37. Filip-Stachnik, A., Kaszuba, M., Dorozynski, B., Komarek, Z., Gawel, D., Del Coso, J., Klocek, T., Spieszny, M., & Krzysztofik, M. (2022). Acute effects of caffeinated chewing gum on volleyball performance in high-performance female players. *Journal of Human Kinetics*, 84, 92–102.
 38. Fleisher, D., Li, C., Zhou, Y., Pao, L., & Karim, A. (1999). Drug, meal and formulation interactions influencing drug absorption after oral administration. *Clinical Pharmacokinetics*, 36(3), 233–254.
 39. Foskett, A., Ali, A., & 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.
 40. Freedman, N. D., Park, Y., Abnet, C. C., Hollenbeck, A. R., & Sinha, R. (2012). Association of coffee drinking with total and cause-specific mortality. *New England Journal of Medicine*, 366(20), 1891–1904.
 41. Fulgoni, V. L., Keast, D. R., & 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.
 42. Gardiner, C., Weakley, J., Burke, L. M., Roach, G. D., Sargent, C., Maniar, N., Townshend, A., & Halson, S. L. (2023). The effect of caffeine on subsequent sleep: A systematic review and meta-analysis. *Sleep Medicine Reviews*, 69, 101764.
 43. Gawel, D., Kaszuba, M., Komarek, Z., Krawczyk, R., Bichowska, M., Jasinski, M., & Trybulski, R. (2022). The effect of caffeine on countermovement jump performance in recreationally trained women habituated to caffeine. *Baltic Journal of Health and Physical Activity*, 14(2).

44. Giráldez-Costas, V., Del Coso, J., Mañas, A., & Salinero, J. J. (2023). The Long Way to Establish the Ergogenic Effect of Caffeine on Strength Performance: An Overview Review. *Nutrients*, *15*(5), 1178.
45. Goldstein, E., Jacobs, P. L., Whitehurst, M., Penhollow, T., & Antonio, J. (2010). Caffeine enhances upper body strength in resistance-trained women. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, *7*(1).
46. Graham, T. E. (2001). Caffeine and exercise. *Sports Medicine*, *31*(11), 785–807.
47. Grgic, J., & 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.
48. Grgic, J., Trexler, E. T., Lazinica, B., & Pedisic, Z. (2018). 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).
49. Grgic, J. (2018). Caffeine ingestion enhances Wingate Performance: A meta-analysis. *European Journal of Sport Science*, *18*(2), 219–225.
50. Grgic, J., & Pickering, C. (2019a). The effects of caffeine ingestion on isokinetic muscular strength: A meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *22*(3), 353–360.
51. Grgic, J., Mikulic, P., Schoenfeld, B. J., Bishop, D. J., & Pedisic, Z. (2019b). The influence of caffeine supplementation on resistance exercise: A Review. *Sports Medicine*, *49*(1), 17–30.
52. Grgic, J., Sabol, F., Venier, S., Mikulic, I., Bratkovic, N., Schoenfeld, B.J., Pickering, C., Bishop, D.J., Pedisic, Z. & Mikulic, P. (2019). 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.
53. Grgic, J., Grgic, I., Pickering, C., Schoenfeld, B. J., Bishop, D. J., & Pedisic, Z. (2020a). Wake up and smell the coffee: Caffeine supplementation and exercise performance—an umbrella review of 21 published meta-analyses. *British Journal of Sports Medicine*, *54*(11), 681–688.

54. Grgic, J., Diaz-Lara, F. J., Del Coso, J., Duncan, M. J., Tallis, J., Pickering, C., Schoenfeld, B. J., & Mikulic, P. (2020b). The effects of caffeine ingestion on measures of rowing performance: A systematic review and meta-analysis. *Nutrients*, *12*(2), 434.
55. Grgic, J., & Mikulic, P. (2021). Acute effects of caffeine supplementation on resistance exercise, jumping, and Wingate Performance: No influence of habitual caffeine intake. *European Journal of Sport Science*, *21*(8), 1165–1175.
56. Grgic, J. (2021). Effects of caffeine on resistance exercise: A review of recent research. *Sports Medicine*, *51*(11), 2281–2298.
57. Grgic, J. (2022). Effect of low caffeine doses on jumping performance: A meta-analysis. *Nutrition & Food Science*, *53*(1), 50–60.
58. Guest, N. S., VanDusseldorp, T. A., Nelson, M. T., Grgic, J., Schoenfeld, B. J., Jenkins, N. D., Arent, S. M., Antonio, J., Stout, J. R., Trexler, E. T., Smith-Ryan, A. E., Goldstein, E. R., Kalman, D. S., & Campbell, B. I. (2021). International Society of Sports Nutrition Position Stand: Caffeine and Exercise Performance. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, *18*(1).
59. Haskell, C. F., Kennedy, D. O., Wesnes, K. A., & Scholey, A. B. (2005). Cognitive and mood improvements of caffeine in habitual consumers and habitual non-consumers of caffeine. *Psychopharmacology*, *179*(4), 813–825.
60. Hodgson, A. B., Randell, R. K., & Jeukendrup, A. E. (2013). The metabolic and performance effects of caffeine compared to coffee during endurance exercise. *PLoS ONE*, *8*(4).
61. Jeacocke, N. A., & Burke, L. M. (2010). Methods to standardize dietary intake before performance testing. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, *20*(2), 87–103.
62. Jenkins, N. T., Trilk, J. L., Singhal, A., O'Connor, P. J., & 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.

63. Juliano, L. M., & Griffiths, R. R. (2004). A critical review of caffeine withdrawal: Empirical validation of symptoms and signs, incidence, severity, and associated features. *Psychopharmacology*, *176*(1), 1–29.
64. Kamimori, G. H., Karyekar, C. S., Otterstetter, R., Cox, D. S., Balkin, T. J., Belenky, G. L., & Eddington, N. D. (2002). The rate of absorption and relative bioavailability of caffeine administered in chewing gum versus capsules to normal healthy volunteers. *International Journal of Pharmaceutics*, *234*(1-2), 159–167.
65. Kaszuba, M., Klocek, O., Spieszny, M., & Filip-Stachnik, A. (2022). The effect of caffeinated chewing gum on volleyball-specific skills and physical performance in volleyball players. *Nutrients*, *15*(1), 91.
66. Kerrigan, S., & Lindsey, T. (2005). Fatal caffeine overdose: Two case reports. *Forensic Science International*, *153*(1), 67–69.
67. Lane, J. D., Steege, J. F., Rupp, S. L., & Kuhn, C. M. (1992). Menstrual cycle effects on caffeine elimination in the human female. *European Journal of Clinical Pharmacology*, *43*(5), 543–546.
68. Magdalan, J., Zawadzki, M., Skowronek, R., Czuba, M., Porębska, B., Sozański, T., & Szpot, P. (2017). Nonfatal and fatal intoxications with pure caffeine – report of three different cases. *Forensic Science, Medicine and Pathology*, *13*(3), 355–358.
69. Marticorena, F.M.; Carvalho, A.; de Oliveira, L.F.; Dolan, E.; Gualano, B.; Swinton, S.; Saunders, B. (2021). Nonplacebo controls to determine the magnitude of ergogenic interventions: A systematic review and meta-analysis. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *53*(8), 1766–1777.
70. McCusker, R. R., Goldberger, B. A., & Cone, E. J. (2003). Caffeine content of specialty coffees. *Journal of Analytical Toxicology*, *27*(7), 520–522.
71. McLellan, T. M., Caldwell, J. A., & Lieberman, H. R. (2016). A review of caffeine's effects on cognitive, physical and occupational performance. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *71*, 294–312.

72. McNaughton, L. R., Lovell, R. J., Siegler, J., Midgley, A. W., Moore, L., & Bentley, D. J. (2008). The effects of caffeine ingestion on time trial cycling performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 3(2), 157–163.
73. Metikos, B., Mikulic, P., Sarabon, N., & Markovic, G. (2015). Peak power output test on a rowing ergometer. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(10), 2919–2925.
74. Mora-Rodríguez, R., Pallarés, J. G., López-Samanes, Á., Ortega, J. F., & Fernández-Elías, V. E. (2012). Caffeine ingestion reverses the circadian rhythm effects on neuromuscular performance in highly resistance-trained men. *PLoS ONE*, 7(4).
75. Mora-Rodríguez, R., Pallarés, J. G., López-Gullón, J. M., López-Samanes, Á., Fernández-Elías, V. E., & 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.
76. Nehlig, A., Daval, J.-L., & Debry, G. (1992). Caffeine and the central nervous system: Mechanisms of action, biochemical, metabolic and psychostimulant effects. *Brain Research Reviews*, 17(2), 139–170.
77. Nehlig, A. (2010). Is caffeine a cognitive enhancer? *Journal of Alzheimer's Disease*, 20(s1).
78. Nehlig, A. (2018). Interindividual differences in caffeine metabolism and factors driving caffeine consumption. *Pharmacological Reviews*, 70(2), 384–411.
79. Osswald, H., & Schnermann, J. (2010). Methylxanthines and the kidney. *Methylxanthines*, 391–412.
80. Pallarés JG, Fernández-Elías VE, Ortega JF, Muñoz G, Muñoz-Guerra J, Mora-Rodríguez R. (2013). Neuromuscular responses to incremental caffeine doses. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 45(11), 2184–2192.
81. Park, N. D., Maresca, R. D., McKibans, K. I., Morgan, D. R., Allen, T. S., & Warren, G. L. (2008). Caffeine's beneficial effect on maximal voluntary strength and activation

in uninjured but not injured Muscle. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 18(6), 639–652.

82. Pasma, W., van Baak, M., Jeukendrup, A., & de Haan, A. (1995). The effect of different dosages of caffeine on endurance performance time. *International Journal of Sports Medicine*, 16(04), 225–230.
83. Paton, C. D., Lowe, T., & Irvine, A. (2010). Caffeinated chewing gum increases repeated sprint performance and augments increases in testosterone in competitive cyclists. *European Journal of Applied Physiology*, 110(6), 1243–1250.
84. Pesta, D. H., Angadi, S. S., Burtscher, M., & Roberts, C. K. (2013). The effects of caffeine, nicotine, ethanol, and tetrahydrocannabinol on exercise performance. *Nutrition & Metabolism*, 10(1).
85. Pickering, C., & Kiely, J. (2017). 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.
86. Pickering, C., & Grgic, J. (2019). Caffeine and exercise: What next? *Sports Medicine*, 49(7), 1007–1030.
87. Pollo, A., Carlino, E., & Benedetti, F. (2008). The top-down influence of ergogenic placebos on muscle work and fatigue. *European Journal of Neuroscience*, 28(2), 379–388.
88. Puente, C., Abián-Vicén, J., Salinero, J., Lara, B., Areces, F., & Del Coso, J. (2017). Caffeine improves basketball performance in experienced basketball players. *Nutrients*, 9(9), 1033.
89. Ranchordas, M. K., King, G., Russell, M., Lynn, A., & Russell, M. (2018). Effects of caffeinated gum on a battery of soccer-specific tests in trained university-standard male soccer players. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 28(6), 629–634.
90. Ranchordas, M. K., Pratt, H., Parsons, M., Parry, A., Boyd, C., & 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).

91. Richardson, D. L., & Clarke, N. D. (2016). Effect of coffee and caffeine ingestion on resistance exercise performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(10), 2892–2900.
92. Rivers, W. H., & Webber, H. N. (1907). The action of caffeine on the capacity for muscular work. *The Journal of Physiology*, 36(1), 33–47.
93. Ruiz-Fernández, I., Valadés, D., Dominguez, R., Ferragut, C., & Pérez-López, A. (2023). Load and muscle group size influence the ergogenic effect of acute caffeine intake in muscular strength, power and endurance. *European Journal of Nutrition*, 62(4), 1783–1794.
94. Salinero, J. J., Lara, B., & Del Coso, J. (2018). Effects of acute ingestion of caffeine on Team Sports Performance: A systematic review and meta-analysis. *Research in Sports Medicine*, 27(2), 238–256.
95. Santos, C., Costa, J., Santos, J., Vaz-Carneiro, A., & Lunet, N. (2010). Caffeine intake and dementia: Systematic review and meta-analysis. *Journal of Alzheimer's Disease*, 20(s1).
96. Santos-Mariano, A. C., Cristina-Souza, G., Santos, P. S., Domingos, P. R., De-Oliveira, P., Bertuzzi, R., Rodacki, C., & Lima-Silva, A. E. (2022). Caffeine intake increases countermovement jump performance in well-trained high jumpers. *PharmaNutrition*, 21, 100305.
97. 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., & 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.
98. Scott, A. T., O’Leary, T., Walker, S., & Owen, R. (2015). Improvement of 2000-m rowing performance with caffeinated carbohydrate-gel ingestion. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(4), 464–468.

99. Sökmen, B., Armstrong, L. E., Kraemer, W. J., Casa, D. J., Dias, J. C., Judelson, D. A., & Maresh, C. M. (2008). Caffeine use in sports: Considerations for the athlete. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(3), 978–986.
100. Tabrizi, R., Saneei, P., Lankarani, K. B., Akbari, M., Kolahehdooz, F., Esmailzadeh, A., Nadi-Ravandi, S., Mazoochi, M., & Asemi, Z. (2018). The effects of caffeine intake on weight loss: A systematic review and DOS-response meta-analysis of randomized controlled trials. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(16), 2688–2696.
101. Tallis, J., Duncan, M. J., & James, R. S. (2015). What can isolated skeletal muscle experiments tell us about the effects of caffeine on exercise performance?. *British journal of pharmacology*, 172(15), 3703–3713.
102. Tallis, J., Muhammad, B., Islam, M., & Duncan, M. J. (2016). Placebo effects of caffeine on maximal voluntary concentric force of the knee flexors and extensors. *Muscle & Nerve*, 54(3), 479–486.
103. Tallis, J., & 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.
104. Tarnopolsky M. A. (2008). Effect of caffeine on the neuromuscular system--potential as an ergogenic aid. *Applied physiology, nutrition, and metabolism = Physiologie appliquee, nutrition et metabolisme*, 33(6), 1284–1289.
105. Tarnopolsky, M., & Cupido, C. (2000). Caffeine potentiates low frequency skeletal muscle force in habitual and nonhabitual caffeine consumers. *Journal of Applied Physiology*, 89(5), 1719–1724.
106. Timmins, T. D., & Saunders, D. H. (2014). Effect of caffeine ingestion on maximal voluntary contraction strength in upper- and lower-body muscle groups. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(11), 3239–3244.
107. Trexler, E. T., Smith-Ryan, A. E., Roelofs, E. J., Hirsch, K. R., & Mock, M. G. (2016). Effects of coffee and caffeine anhydrous on strength and sprint performance. *European Journal of Sport Science*, 16(6), 702–710.

108. Tufano, J. J., Brown, L. E., & Haff, G. G. (2017). Theoretical and practical aspects of different cluster set structures: A systematic review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *31*(3), 848–867.
109. Warren GL, Park ND, Maresca RD, McKibans KI i Millard-Stafford ML (2010). Effect of caffeine ingestion on muscular strength and endurance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *42*(7), 1375–1387.
110. Woolf, K., Bidwell, W. K., & 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.
111. Wickham, K. A., i Spriet, L. L. (2018). Administration of caffeine in alternate forms. *Sports Medicine*, *48*(S1), 79–91.
112. Wikoff, D., Welsh, B. T., Henderson, R., Brorby, G. P., Britt, J., Myers, E., Goldberger, J., Lieberman, H. R., O'Brien, C., Peck, J., Tenenbein, M., Weaver, C., Harvey, S., Urban, J., & Doepker, C. (2017). Systematic review of the potential adverse effects of caffeine consumption in healthy adults, pregnant women, adolescents, and children. *Food and Chemical Toxicology*, *109*, 585–648.
113. Wiles, J. D., Bird, S. R., Hopkins, J., i Riley, M. (1992). Effect of caffeinated coffee on running speed, respiratory factors, blood lactate and perceived exertion during 1500-m treadmill running. *British Journal of Sports Medicine*, *26*(2), 116–120.
114. Williams, A. D., Cribb, P. J., Cooke, M. B., & Hayes, A. (2008). The effect of ephedra and caffeine on maximal strength and power in resistance-trained athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *22*(2), 464–470.
115. Zbinden-Foncea, H., Rada, I., Gomez, J., Kokaly, M., Stellingwerff, T., Deldicque, L., & Peñailillo, L. (2018). Effects of caffeine on countermovement-jump performance variables in elite male volleyball players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *13*(2), 145–150.

14. 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 60 ml	Mala šalica 150 ml	Velika šalica 250 ml	Mala čaša 150 ml	Velika čaša 250 ml	Energetski napitak – limenka 250 ml	Energetski napitak – limenka 500 ml	Energetski „shot“, posudica 60 ml	Čokolada, rebro 20g
								















Na primjer:

	KAVA			
	TURSKA 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 NAPITCI		ENERGY SHOT	ALKOHOLNA PIĆA S ENERGETSKIM NAPITKOM (Redbull votika, Shock-kola npr.)		ČOKOLADA	
	Mala šalica 150 ml	Velika šalica 250 ml	Mala šalica 150 ml	Velika šalica 250 ml	Mala šalica za espresso 60 ml	Mala šalica 150 ml	Velika šalica 250 ml	Mala šalica 150 ml	Velika šalica 250 ml	Mala šalica 150 ml	Velika šalica 250 ml	Mala čaša 150 ml	Velika čaša 250 ml	Mala čaša 150 ml	Velika čaša 250 ml	limenka 250 ml	limenka 500 ml	„shot“ zapremnina 60 ml	Mala čaša 150 ml	Velika čaša 250 ml	Rebro 20g	
																						
DORUČAK																						
MEDUOBROK između doručka i ručka																						
RUČAK																						
MEDUOBROK između ručka i večere																						
VEČERA																						
SNACK nakon večere/ prije spavanja																						

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.)

PRILOG 2: UPITNIK ZA PROCJENU NUSPOJAVA

Datum:	Ime i prezime ispitanika:			
Stavka	Odgovor (odmah nakon testiranja)		Odgovor (po buđenju nakon testiranja)	
Bol u mišićima	Da	Ne	Da	Ne
Povećano mokrenje	Da	Ne	Da	Ne
Tahikardija i lupanje srca	Da	Ne	Da	Ne
Anksioznost ili nervoza	Da	Ne	Da	Ne
Glavobolja	Da	Ne	Da	Ne
Gastrointestinalni problemi	Da	Ne	Da	Ne
Nesanica			Da	Ne
Povećana snaga/aktivnost	Da	Ne	Da	Ne
Percepcija poboljšanja izvedbe	Da	Ne	Da	Ne

PRILOG 3: PROCJENA UČINKOVITOSTI ZASLJEPLJIVANJA

Što mislite koji ste suplement danas dobili?	Molimo Vas obrazložite svoj odgovor u polju ispod
(a) kofein (b) placebo (c) ne znam	

15. ŽIVOTOPIS I POPIS OBJAVLJENIH RADOVA AUTORA

15.1. ŽIVOTOPIS

Sandro Venier rođen je 06.04.1993. godine u Puli. Talijansku osnovnu školu, kao i Talijansku srednju matematičku gimnaziju (SMSI) završio je u Rovinju. Kineziološki fakultet u Zagrebu upisuje 2011. godine na kojem je 28. travnja 2017. godine diplomirao (s usmjerenjem: *Kineziterapija*) pod mentorstvom doc. dr. sc. Pavla Mikulića. Iste godine upisuje poslijediplomski doktorski studij na Kineziološkom fakultetu u Zagrebu uz stipendiju Talijanske Zajednice.

Stručni studij za fizioterapiju upisuje 2016. godine gdje brani svoj završni rad i postiže zvanje prvostupnika fizioterapije 2020. godine pod mentorstvom Ivana Juraka, dipl. physioth.

Od 8. do 21. godine života bavio se odbojkom i odbojkom na pijesku te je nastupao za kadetsku i juniorsku hrvatsku reprezentaciju u oba sporta. Najveće mu je sportsko postignuće osvajanje 9. mjesta na svjetskom prvenstvu U21 u odbojci na pijesku 2013. godine u Umagu.

Od 2014. godine radi i intenzivno se educira te sudjeluje na brojnim seminarima, radionicama, konferencijama i istraživanja iz područja kineziologije i fizioterapije. Rezultat tog procesa je osnivanje centra „Venier“ 2019. godine u Zagrebu, u kojem svakodnevno pomaže sportašima i rekreativnim vježbačima kroz rehabilitaciju ozljeda i mišićno koštanih bolova.

Također, zanima ga područje edukacije i često održava seminare, radionice i predavanja u području rehabilitacije i prevencije ozljeda i boli mišićno koštanog sustava.

15.2. POPIS OBJAVLJENIH RADOVA

Radovi objavljeni u časopisima:

1. **Venier, S.**, Grgic, J., & Mikulic, P. (2019). 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.
2. **Venier, S.**, Grgic, J., Mikulic, P. (2019). Caffeinated Gel Ingestion Enhances Jump Performance, Muscle Strength, and Power in Trained Men. *Nutrients*, 11, 937.
3. 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.
4. Grgic, J., Sabol, F., **Venier, S.**, Mikulic, I., Bratkovic, N., Schoenfeld, B.J., Pickering, C., Bishop, D.J., Pedisic, Z. i Mikulic, P. (2019). 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.
5. Grgic, J., **Venier, S.**, Schoenfeld, B.J., i Mikulic, P. (2020). Caffeine ingestion enhances repetition velocity in resistance exercise: a randomized, crossover, double-blind study involving control and placebo conditions. *Journal of Human Kinetics*, 68(1), 37–48.
6. Grgic, J., **Venier, S.**, i Mikulic, P. (2021). Both caffeine and placebo improve vertical jump performance as compared to a non-supplement, control condition. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 16(3), 448–451.
7. Grgic, J., **Venier, S.**, Mikulic, P. (2022). Examining the Effects of Caffeine on Isokinetic Strength, Power, and Endurance. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 7, 71.

Radovi objavljeni na konferencijama:

1. **Venier, S.** (2016). Ekscentrične kontrakcije u rehabilitaciji patelarne tendinopatije. Gdje smo sada i u kojem smjeru idemo? U: *14. godišnja međunarodna konferencija Kondicijska priprema sportaša*. Zagreb: Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Str. 260-266.
2. **Venier, S., Mikulic, P.** (2017). Akutni učinci primjene Kinesio® taping metode na izvedbu unilateralnog skoka s pripremom. U: *15. godišnja međunarodna konferencija Kondicijska priprema sportaša*. Zagreb: Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Str. 244-247.
3. **Venier, S., Mikulic, P.** (2018). Poboľjšava li kinesio taping metoda izlaz snage pri unilateralnom vertikalnom skoku s pripremom?. U: *Primjeri dobre prakse u području edukacije, sporta, sportske rekreacije i kineziterapije*. Zagreb: Hrvatski kineziološki savez. Str. 366-371.