

Utjecaj kofeina na izdržljivost, stabilnost, eksplozivnost, agilnost i percepciju napora kod mladih rekreativnih sportaša

Zelić, Ivana

Master's thesis / Diplomski rad

2019

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:159:841955>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-16**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PREHRAMBENO – BIOTEHNOLOŠKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, srpanj 2019.

Ivana Zelić

982/N

**UTJECAJ KOFEINA NA
IZDRŽLJIVOST, STABILNOST,
EKSPLOZIVNOST, AGILNOST I
PERCEPCIJU NAPORA KOD
MLADIH REKREATIVNIH
SPORTAŠA**

Rad je izrađen na Prehrambeno-biotehnološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu na Zavodu za poznavanje i kontrolu sirovina i prehrambenih proizvoda u Laboratoriju za znanost o prehrani pod mentorstvom izv.prof. dr.sc. Zvonimira Šatalića, te uz pomoć prof. dr.sc. Ane Vukelić i v.pred. Nevena Karkovića.

Zahvaljujem Bogu na svim darovima i talentima. Hvala izv. prof. dr.sc. Zvonimiru Štaliću na prihvaćanju mentorstva unatoč brojnim obavezama te ispunjenju želja vezanih uz temu i istraživanje. Hvala prof. dr.sc. Ani Vukelić na nesebičnom angažmanu oko statističkog dijela istraživanja. Hvala v.pred. Nevenu Karkoviću na nesebičnoj pomoći oko kineziološkog dijela istraživanja. Hvala ekipi iz Red Bull Hrvatska na sponzorstvu. Hvala mojim ispitanicima i Nikolini bez kojih istraživanja ne bi bilo. Hvala svima koji su bili dio moje studentske priče na bilo koji način i učinili ove dane posebnima.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Diplomski rad

Sveučilište u Zagrebu

Prehrambeno-biotehnološki fakultet

Zavod za poznavanje i kontrolu sirovina i prehrambenih proizvoda

Laboratorij za znanost o prehrani

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti

Znanstveno polje: Nutricionizam

UTJECAJ KOFEINA NA IZDRŽLJIVOST, STABILNOST, EKSPLOZIVNOST, AGILNOST I PERCEPCIJU NAPORA KOD MLADIH REKREATIVNIH SPORTAŠA

Ivana Zelić, 982/N

Sažetak: S obzirom da ne postoje istraživanja koja ispituju direktni utjecaj kofeina na plank test cilj ovog istraživanja je bio ispitati taj učinak kao test za izdržljivost i stabilnost te uz to testirati eksplozivnost putem skoka u dalj s mjesta, agilnost putem T – testa, ispitati postoji li utjecaj na percepciju napora nakon ingestije kofeina (RPE skala) te utječe li uobičajena konzumacija kofeina na sportsku izvedbu. Izvor kofeina korišten u istraživanju je energetski napitak *Red Bull Sugarfree*, a doze su 0 (placebo), 3 i 6 mg kg⁻¹. Ispitanici su 16-ero mladih rekreativnih sportaša u dobi 18 do 35 godina. Metode za ispitivanje uobičajenog dnevnog unosa kofeina su trodnevni dnevnik prehrane i FFQ. Kofein (6 mg kg⁻¹) značajno poboljšava izvedbu plank testa i skoka u dalj s mjesta u odnosu na placebo, a ne utječe na T – test i percepciju napora.

Ključne riječi: kofein, sportska izvedba, rekreativni sportaši, dnevnik prehrane, FFQ

Rad sadrži: 61 stranicu, 9 slika, 18 tablica, 134 literaturna navoda, 4 priloga

Jezik izvornika: hrvatski

Rad je u tiskanom i elektroničkom (pdf format) obliku pohranjen u: Knjižnica Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta, Kačićeva 23, Zagreb

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

Pomoć pri izradi: prof. dr.sc. Ana Vukelić i Neven Karković, v.pred.

Stručno povjerenstvo za ocjenu i obranu:

1. prof. dr.sc. Ana Vukelić
2. izv. prof. dr.sc. Zvonimir Šatalić
3. prof. dr.sc. Ines Panjkota Krbavčić
4. doc. dr.sc. Ivana Rumora Samarin (zamjena)

Datum obrane: 19. srpnja 2019.

BASIC DOCUMENTATION CARD

Graduate thesis

University of Zagreb

Faculty of Food Technology and Biotechnology

Department of Food Quality Control

Laboratory for Nutrition Science

Scientific area: Biotechnical Sciences

Scientific field: Nutrition

THE EFFECT OF CAFFEINE ON ENDURANCE, STABILITY, EXPLOSIVITY, AGILITY AND PERCEPTION OF EXERTION IN YOUNG RECREATIONAL ATHLETES

Ivana Zelić, 982/N

Abstract: Considering there are no studies dealing with direct effect of caffeine on the plank aim of this study was to examine this effect (endurance and stability). The aim was also to examine explosivity (standing jump test), agility (T – test), examine is there any effect on perception of exertion after caffeine ingestion (RPE scale) and does habitually caffeine consumption affect sport performance. The source of caffeine is energy drink *Red Bull Sugarfree*, doses are 0 (placebo), 3 and 6 mg kg⁻¹. Respondents are 16 young recreational athletes aged 18 to 35. Methods for testing habitually daily intake of caffeine are three-day diet diary and FFQ. Caffeine (6 mg kg⁻¹) significantly improves performance of plank and the standing jump test in comparison with placebo, and caffeine does not affect the T - test and perception of exertion.

Keywords: caffeine, sports performance, recreational athletes, diet diary, FFQ

Thesis contains: 61 pages, 9 figures, 18 tables, 134 references, 4 supplements

Original in: Croatian

Graduate Thesis in printed and electronic (pdf format) version is deposited in: Library of the Faculty of Food Technology and Biotechnology, Kačićeva 23, Zagreb

Mentor: *Zvonimir Šatalić, PhD, Associate Professor*

Technical support and assistance: *Ana Vukelić, PhD, Full Professor, and Neven Karković*

Reviewers:

1. PhD. *Ana Vukelić*, Full Professor
2. PhD. *Zvonimir Šatalić*, Associate Professor
3. PhD. *Ines Panjkota Krbavčić*, Full Professor
4. PhD. *Ivana Rumora Samarin*, Assistant Professor (substitute)

Thesis defended: 19 July 2019

Sadržaj

1. UVOD	1
2. TEORIJSKI DIO	3
2.1. KOFEIN U SVAKIDAŠNJOJ PREHRANI	3
2.2. METABOLIZAM KOFEINA	5
2.3. UTJECAJ KOFEINA NA ORGANSKE SUSTAVE U TIJELU I MEHANIZMI ERGOGENOG DJELOVANJA.....	6
2.3.1. UTJECAJ NA SREDIŠNJI ŽIVČANI SUSTAV	7
2.3.2. UTJECAJ NA MIŠIĆE.....	8
2.3.3. UTJECAJ NA MASNO TKIVO I PROMJENE U OKSIDACIJI SUPSTRATA	10
2.3.4. UTJECAJ NA SRŽ NADBUBREŽNE ŽLIJEZDE.....	11
2.3.5. UTJECAJ NA KARDIOVASKULARNI SUSTAV	12
2.4. UTJECAJ KOFEINA NA SPORTSKU IZVEDBU	12
2.4.1. UTJECAJ KOFEINA NA DUGOTRAJNU AKTIVNOST	12
2.4.2. UTJECAJ KOFEINA NA KRATKOTRAJNU AKTIVNOST	14
2.4.3. UTJECAJ KOFEINA NA BRZINU I SNAGU	15
2.5. NAČIN PRIMJENE KOFEINA.....	15
2.5.1. VRIJEME PRIMJENE KOFEINA.....	15
2.5.2. DOZA KOFEINA	16
2.5.3. IZVOR KOFEINA	16
2.6. UTJECAJ UOBIČAJENOG UNOSA KOFEINA NA ERGOGENI UČINAK.....	17
2.7. UTJECAJ KOFEINA NA PERCEPCIJU NAPORA	18
2.7.1. PROCJENA PERCIPIRANOG NAPORA.....	18
2.7.2. MEHANIZMI DJELOVANJA KOFEINA NA PERCEPCIJU NAPORA.....	20
3. EKSPERIMENTALNI DIO	22
3.1. ISPITANICI.....	22
3.2. METODE RADA.....	22
3.2.1. PROCJENA UOBIČAJENOG UNOSA KOFEINA.....	23
3.2.2. SUPLEMENTACIJA	24
3.2.3. PROTOKOL ISTRAŽIVANJA	25
3.2.4. OBRADA PODATAKA.....	28
4. REZULTATI I RASPRAVA	29
5. ZAKLJUČCI	49
6. LITERATURA	50

PRILOZI

1. INFORMIRANI PRISTANAK NA SUDJELOVANJE U ISTRAŽIVANJU
2. OBRAZAC ZA VOĐENJE DNEVNIKA PREHRANE

3. UPITNIK O KONZUMACIJI KOFEINA
4. RPE SKALA ZA PROCJENU SUBJEKTIVNOG OSJEĆAJA NAPORA

1. UVOD

Kofein je psihoaktivno sredstvo koje se najčešće koristi u većini zemalja svijeta iako ga se ne smatra uobičajenim sredstvom ovisnosti. Konzumiran je od 90% strane svjetske odrasle populacije, društveno je prihvaćen što pokazuje i njegova široka rasprostranjenost konzumacije (Burke, 2008). U prirodi se nalazi u oko 60 biljnih vrsta, a glavni izvori kofeina su: kava, čaj, mate, guarana, gazirana pića. Prosječan dnevni unos kofeina kod populacije dobi 18-34 godine iznosi 199 mg za muškarce, odnosno 166 mg za žene, od čega je preko 70% podrijetlom iz kave (Frary i sur., 2005).

Fiziološki učinci kofeina su mnogobrojni i uključuju: stimulaciju centralnog živčanog sustava, povećanje produkcije urina, smanjenje perifernog vaskularnog otpora, povećanje želučane sekrecije, aktivaciju srčanog mišića i relaksaciju glatkog mišića. Kofein ulazi u sva tkiva, prolazi krvno – moždanu barijeru i dostiže najveće koncentracije u tijelu 30 do 60 minuta nakon ingestije (Spriet, 1995; Kalmar i Cafarelli, 1999; Harland, 2000; Armstrong, 2002).

Kofein je stimulans središnjeg živčanog sustava, uzrokuje povećanje budnosti, uzbuđenja, opreznosti, učinkovitosti, samopouzdanja. S obzirom da prolazi krvno-moždanu barijeru, brzo se povećava koncentracija kofeina u mozgu što onda posljedično utječe na promjene u drugim tjelesnim tkivima. Ergogeno djelovanje najvjerojatnije je posredovano inhibiranjem djelovanja adenoizina i smanjenjem percepcije napora i boli.

Kofein poboljšava sportsku izvedbu u većini sportova, a najveće učinke pokazuje kod dugotrajnih aktivnosti posebice kad dolazi do pojave višeg stupnja umora u posljednjim fazama aktivnosti. Najmanji učinak kofeina uočen je kod eksplozivnih aktivnosti vrlo visokog intenziteta kao što su sprintevi, bacanja, skokovi i slično.

Novija istraživanja pokazuju da u mnogim sportskim aktivnostima, maksimalna doza koja pokazuje efekt na izvedbu je otprilike pola doze koja se koristila u ranijim istraživanjima te iznosi 3 mg kg⁻¹. Ta doza kofeina može se uzeti prije same aktivnosti, podijeliti tijekom aktivnosti ili uzeti pri kraju sportske aktivnosti (Burke i sur., 2013). S obzirom da kofein u plazmi dostiže najveću koncentraciju nakon 30 do 60 minuta, najbolji način primjenjivanja suplementacije kofeinom je 1 sat prije aktivnosti. Sportašima se preporučuje unos kofeina od 2,5 mg kg⁻¹ do 3 mg kg⁻¹, a doze više od 6 mg kg⁻¹ nije opravdano unositi kad niža doza ima isti učinak, a uz to vrlo visoke doze imaju negativan utjecaj na sportsku izvedbu.

S obzirom da ne postoje istraživanja koja direktno ispituju utjecaj kofeina na plank test kao test za mjerenje izdržljivosti i stabilnosti cilj ovog rada je bio istražiti taj utjecaj, a uz to i utjecaj

kofeina na eksplozivnost putem vježbe skok u dalj s mjesta s obzirom da je malo studija koje dokazuju poboljšanje eksplozivnosti nakon ingestije kofeina. Uz to mjerit će se i izvedba T – testa za istraživanje utjecaja kofeina na agilnost koja je potrebna u većini sportova. Cilj je vidjeti postoji li utjecaj kofeina na percepciju napora koja će se mjeriti Borgovom CR – 10 RPE skalom. Istražit će se i postoji li direktan utjecaj uobičajene konzumacije kofeina mladih rekreativnih sportaša na bolju sportsku izvedbu, te koju količinu kofeina uobičajeno unose i iz kojih izvora. U svrhu procjene unosa kofeina u uobičajenoj prehrani uzet će se metode trodnevnog dnevnika prehrane i upitnik o učestalosti konzumacije hrane korišten u ranijem istraživanju (Bühler i sur., 2013). Izvor kofeina koji će se koristiti u istraživanju je energetska napitak *Red Bull Sugarfree*, a doza kofeina će biti 0 mg kg⁻¹ (placebo), 3 mg kg⁻¹ i 6 mg kg⁻¹.

2. TEORIJSKI DIO

Kofein je spoj po kemijskom sastavu 1, 3, 7 trimetilksantin, bijeli prah bez mirisa i gorkog okusa. Uz paraksantin, teofilin i teobromin pripada u skupinu biljnih alkaloida metilksantina (Wanyika i sur., 2010). Liječnik Friedlieb Ferdinand Runge otkrio je kofein 1819. godine, a njemački kemičar L. Medicus 1875. godine dao je točan kemijski sastav kofeina. Godinama je poznat učinak kofeina na smanjenje percepcije umora i boli, pojačanje stanja pozornosti i budnosti, pozitivan učinak na tretiranje glavobolje i letargije, te potencijalni učinak kofeina kao mišićnog stimulansa (Burke i sur., 2013).

2.1. KOFEIN U SVAKIDAŠNJOJ PREHRANI

Kofein je psihoaktivno sredstvo koje se najčešće koristi u većini zemalja svijeta iako ga se ne smatra uobičajenim sredstvom ovisnosti. Konzumiran je od 90% strane svjetske odrasle populacije, društveno je prihvaćen što pokazuje i njegova široka rasprostranjenost konzumacije (Burke, 2008).

U prirodi se nalazi u oko 60 biljnih vrsta, a glavni izvori kofeina su: kava, čaj, mate, guarana, gazirana pića. Količina kofeina u proizvodima, hrani i pićima nije jednaka u svim zemljama svijeta, a ovisi o mnogim faktorima kao što su način pripreme i zakonske regulative (Lundsberg, 1998; Spiller, 1998; Harland, 2000). U Tablici 1 možemo vidjeti raspon proizvoda koji sadrže kofein i količinu u kojoj je u njima prisutan.

Tablica 1. Sadržaj kofeina u učestalo konzumiranim prehrambenim proizvodima (Burke i sur., 2013; Centre for science in the public interest (www.cspinet.org))

Izvori kofeina	Serviranje	Kofein (mg)
Kava		
Espresso	45 – 60 mL	107 (25 – 214)
Filtar	250 mL	80 (40 – 280)
Turska	200 mL	80 – 135
Bez kofeina	250 mL	2 – 12
Instant	200 mL	60 (12 – 169)
Čaj		
Crni	250 mL	30 – 80
Zeleni	250 mL	35 – 60

Sokovi		
Coca Cola	500 mL	48
Cola Light	500 mL	63
Pepsi Cola	500 mL	54
Pepsi Max	500 mL	97
Energetska pića		
Red Bull	250 mL	80
Monster	500 mL	160
Guarana Green	250 mL	250
Guarana Black	250 mL	320
Burn	250 mL	80
Kakao i čokolada		
Kakao	250 mL	3 – 12
Vruća čokolada	250 mL	5 – 13
Mliječna čokolada	100 g	8 – 25
Tamna čokolada	100 g	16 - 83

Osim u tradiciionalnim izvorima kofeina kao što su kava i čaj, kofein možemo pronaći i u brojnim bezalkoholnim pićima te u energetske pićima u kojima je sadržaj kofeina poprilično visok. Nalazimo ga također i u čokoladi (osobito onoj s visokim udjelom kakaa), u sportskim pripravcima kao što su gelovi, energetske pločice, praškovi, te u tabletama u obliku samostalnog lijeka ili kao dodatak nekom drugom osnovnom lijeku kao što su npr. lijekovi protiv prehlade ili pripravci za mršavljenje (Graham, 2001).

Prosječan dnevni unos kofeina kod populacije starosti 18-34 godine iznosi 199 mg/dan za muškarce, odnosno 166 mg/dan za žene, od čega je preko 70% podrijetlom iz kave (Frary i sur., 2005). Konzumaciju kofeina potrebno je promatrati i kroz pozadinu zdravstvenih rizika koje može uzrokovati, ali smatra se da u zdravoj odrasloj populaciji umjerena konzumacija do 400 mg/dan ili $\sim 6 \text{ mg kg}^{-1}$ na dan nije povezana sa štetnim učincima na zdravlje, dok djeca ispod 12 godina starosti moraju smanjiti konzumaciju kofeina na $< 2,5 \text{ mg kg}^{-1}$ na dan zbog povećanog rizika od nuspojava u ponašanju koje kofein kod njih može izazvati (Nawrot i sur., 2003).

Prema podacima Fredholma i suradnika iz 1999. godine na svjetskoj razini najveći unos kofeina imaju Nizozemska (414 mg/dan po osobi), Švedska (407 mg/dan po osobi), Norveška (400 mg/dan po osobi), Danska (390 mg/dan po osobi), Finska (329 mg/dan po osobi), Njemačka (313 mg/dan po osobi), Austrija (300 mg/dan po osobi), a najmanji unos kofeina Angola i Nigerija (4 mg/dan po osobi), Tanzanija (7 mg/dan po osobi), Kina (16 mg/dan po osobi), Obala Bjelokosti (20 mg/dan po osobi) i Indija (27 mg/dan po osobi) (Fredholm i sur., 1999).

2.2.METABOLIZAM KOFEINA

Kofein pripada u grupu kemijskih spojeva po imenu metilksantin koja također uključuje teofilin, paraksantin i teobromin (Graham i Spriet, 1995). Fiziološki učinci kofeina su mnogobrojni i uključuju: stimulaciju centralnog živčanog sustava, povećanje produkcije urina, smanjenje perifernog vaskularnog otpora, povećanje želučane sekrecije, aktivaciju srčanog mišića i relaksaciju glatkog mišića. Kofein ulazi u sva tkiva, prolazi krvno – moždanu barijeru i dostiže najveće koncentracije u tijelu 30 do 60 minuta nakon ingestije (Spriet, 1995; Kalmar i Cafarelli, 1999; Harland, 2000; Armstrong, 2002).

Koncentracije kofeina u krvi ovise o veličini doze koja je konzumirana. Ingestija kofeina od 3 mg kg⁻¹ uzrokuje koncentracije u krvi od ~ 15 - 20 mikromola po litri (μM), dok ingestija 6 mg kg⁻¹ uzrokuje koncentracije od ~ 40 - 50 μM, a ingestija 9 mg kg⁻¹ uzrokuje koncentracije od ~ 60 - 75 μM (Burke i sur., 2013). Najviše koncentracije u plazmi kofein dostiže nakon 15 do 120 minuta nakon oralne ingestije kod ljudi te iznosi 8 - 10 mg L⁻¹ za doze od 5 - 8 mg kg⁻¹ (Arnaud i Welsch, 1982; Bonati i sur., 1982).

Apsorpcija kofeina jednaka je neovisno o tome unosi li se putem kave, soka ili kapsule. Kofein se metabolizira u jetri preko sustava citokroma P450. Paraksantin čini otprilike 80% njegovih metabolita, a ostatak otpada na teobromin i teofilin (Graham i Spriet, 1995). Kad se kofein ingestira, sporo se metabolizira i razgrađuje u jetri s poluvijekom od 3,5 – 5 sati. To znači da samo polovica unesenog kofeina u krvi ostaje nakon 3,5 – 5 sati, i onda u slijedećih 3,5 – 5 sati druga polovica kofeina nestaje ostavljajući 25% početno unesene količine, itd. To znači da tragovi kofeina u krvi mogu ostati i 24 sata nakon njegove ingestije. No, također postoje individualne razlike i u razini i u brzini metaboliziranja kofeina. Sav kofein koji se unese u organizam ne prolazi ovaj put metabolizacije već određena količina (0,5 do 3%) se izlučuje, nepromijena, putem urina. Upravo zbog toga mogu se uzimati uzorci urina kako bi se odredila količina unesenog kofeina u organizam što je posebno važno kod sportaša i ograničene količine kofeina koju mogu imati u svom organizmu (Burke i sur., 2013). Metaboliti kofeina se

uglavnom izlučuju bubrezima, a oko 0,5 – 3% kofeina izlučuje se urinom u nepromijenjenom obliku kao što je već spomenuto (Newton i sur., 1981; Bonati i sur., 1982; Tang-Liu i sur., 1983). Otprilike ista količina kofeina se izluči i znojem tijekom tjelesne aktivnosti pa tako znoj također postaje oblik izlučivanja kofeina (Tsuda i sur., 2000).

Metaboliziranje kofeina započinje uklanjanjem metilnih skupina pomoću jetrenih enzima pod imenom citokrom P450 oksigenaze. Neke tvari koje se prirodno nalaze u hrani mogu utjecati na aktivnost ovih enzima te na taj način mogu usporiti ili ubrzati samu metabolizaciju kofeina. Također na aktivnost ovih enzima utječu i genetske predispozicije pojedinca. Ovo je jedan od razloga zašto različiti ljudi reagiraju različito na iste doze kofeina ili pak jedna osoba može drukčije reagirati na kofein ovisno o dozi. U ovisnosti o više faktora koji utječu na metabolizaciju kofeina, može se dogoditi da ingestirani kofein bude prisutan u plazmi u visokim koncentracijama dugo vremena ili da se brzo ukloni iz plazme (Fredholm i sur., 1999).

2.3.UTJECAJ KOFEINA NA ORGANSKE SUSTAVE U TIJELU I MEHANIZMI ERGOGENOG DJELOVANJA

Kofein je farmakološki vrlo aktivna tvar koja se odmah apsorbira iz gastrointestinalnog trakta i brzo raspodjeljuje u sve tjelesne tekućine (Arnaud, 1993). Mehanizam na koji značajno utječe odgovarajuća doza kofeina i preko kojeg kofein najvjerojatnije djeluje na organizam je vezanje na adenzinske receptore. Na taj način kofein zapravo inhibira djelovanje adenzina (Fredholm, 1995). Kemijska struktura kofeina vrlo je slična strukturi adenzina, biološki vrlo aktivnoj tvari u tijelu. Adenzin može djelovati samostalno ili se vezati s ostalim kemijskim spojevima. Adenzin čini okosnicu adenzin trifosfata (ATP), što je forma najvažnije upotrebljive energije u organizmu. Adenzin je također uključen u proces dilatacije krvnih žila, te u procese otpuštanja hormona i goriva iz tkiva. Također djeluje i kao signalna molekula stanicama (Burke i sur., 2013). Kofein i njegovi metaboliti djeluju neselektivno blokirajući A1 i A2 adenzinske receptore, te su snažni antagonisti adenzina. Receptori za adenzin su prisutni u brojnim tkivima u organizmu, kao što su mozak, srce, mišići, masno tkivo. Upravo zbog toga kofein djeluje na većinu organskih sustava u tijelu (Fredholm, 1995). U velikim dozama djelovanje kofeina na stanicu može biti i putem inhibicije fosfodiesteraze i povećanjem cAMP-a, ali je to vrlo malo vjerojatna mogućnost u fiziološkim uvjetima (Echeverri i sur., 2010). S obzirom da kofein prolazi membrane svih tkiva u tijelu nemoguće je odrediti točno koji mehanizam je najviše odgovoran za ergogeno djelovanje. Primjerice, kofein istovremeno djeluje na živčani sustav i mišićni sustav te nije moguće odvojiti utjecaj kofeina na jedan ili drugi sustav. Moguće

je također da su različiti mehanizmi odgovorni za poboljšanje sportske izvedbe u različitim tipovima tjelovježbe (Spriet, 1995).

2.3.1. UTJECAJ NA SREDIŠNJI ŽIVČANI SUSTAV

Kofein je stimulans središnjeg živčanog sustava, uzrokuje povećanje budnosti, uzbuđenja, opreznosti, učinkovitosti, samopouzdanja. S obzirom da prolazi krvno - moždanu barijeru, brzo se povećava koncentracija kofeina u mozgu što onda posljedično utječe na promjene u drugim tjelesnim tkivima. Mozak ima brojne adenzinske receptore, pa je jasno da kofein utječe na povećanje neurotransmitera u mozgu preko mehanizma inhibiranja djelovanja adenzina. Prisutnost adenzina i molekula sličnih adenzinu u mozgu reducira motoričku aktivnost, smanjuje budnost i energičnost te smanjuje prisutnost ostalih stimulatornih neurotransmitera. Kofein i ostali antagonisti adenzina imaju suprotno djelovanje blokirajući adenzinske receptore. Kofein povećava koncentraciju, sintezu i djelovanje svih bitnih neurotransmitera uključujući serotonin, dopamin, acetilkolin, norepinefrin, glutamat (Fredholm i sur., 1999).

Brojne studije koje su istraživale utjecaj kofeina na mozak dokazale su njegovo pozitivno djelovanje na pamćenje, budnost, brzinu, preciznost, raspoloženje i zamjetan umor (Ruxton, 2008). Childs i Wit su istraživali utjecaj kofeina različitih doza (50 mg, 150 mg, 450 mg) na pamćenje, reakcijsko vrijeme, raspoloženje i budnost. Ispitanici, njih 102, bili su umjereni konzumenti kofeina. Rezultati istraživanja su pokazali pozitivan utjecaj kofeina na raspoloženje ispitanika, kofein je također poboljšao izvedbu u vježbama budnosti i reakcijskim vježbama, te je također dokazano djelovanje kofeina na poboljšanje pamćenja (Childs i Wit, 2006). Istraživanje Smitha i suradnika, koje je uključivalo 25 uobičajenih konzumenata kofeina te 25 onih koji nisu uobičajeni konzumenti, pokazalo je također poboljšanu kognitivnu funkciju nakon konzumacije kofeina, te pozitivan utjecaj na raspoloženje bez obzira jesu li ispitanici bili uobičajeni konzumenti ili ne. Koristili su relativno nisku dozu kofeina u svom istraživanju koja je iznosila 2 mg kg^{-1} (Smith i sur., 2006). Follow – up studija sa Sveučilišta u Guelphu istraživala je utjecaj dvije niske doze kofeina (100 mg i 200 mg) u istoj sportskoj izvedbi i protokolu konzumacije kofeina – kofein su ispitanici konzumirali u zadnjoj trećini izvedbe biciklističke vožnje. Doza kofeina od 100 mg odgovarala je količini od $\sim 1,5 \text{ mg kg}^{-1}$, a ona od 200 mg dozi od $\sim 3 \text{ mg kg}^{-1}$. Iako su doze bile niske, ispitanici su vožnju završili sa znatno bržim vremenom (3% za dozu od 100 mg i 4% za dozu od 200 mg) u odnosu na placebo. Nije bilo značajne razlike u fiziološkim odgovorima što se tiče otkucaja srca, razini glukoze, stres hormona i slobodnih masnih kiselina između tretmana koji su se koristili u istraživanju (placebo, 100 mg kofeina, 200 mg kofeina). Ovi rezultati potvrđuju tezu da niske doze kofeina

koje se uzimaju pri kraju dugotrajnih aktivnosti djeluju preko centralnog živčanog sustava kako bi poboljšale sportsku izvedbu (Talanian i Spriet, 2007). Rezultati navedenog istraživanja Talaniana i Sprieta iz 2007. godine snažni su argument činjenici da je mozak mnogo osjetljiviji na kofein kad je već izmoren. U takvim uvjetima, čak i mala doza kofeina može imati veliki utjecaj. Nova mišljenja vezana za sport i kofein zapravo idu prema tome da niske doze kofeina mogu imati brze i snažne utjecaje kod većine ljudi, posebno ako se kofein konzumira kad se umor tek počinje pojavljivati (Burke i sur., 2013).

Kofein znatno utječe na percepciju napora i boli preko središnjeg živčanog sustava. Sve studije koje su ispitivale učinak kofeina na percepciju napora jedinstveno se slažu u mišljenju da kofein znatno smanjuje percepciju napora. S obzirom da je za centralne mehanizme umora dijelom odgovorno i smanjenje koncentracije dopamina kofein utječe na smanjenu percepciju umora blokiranjem adenozičkih receptora i posljedičnog oslobađanja dopamina (Fredholm i sur., 1999). Također, kofein smanjuje osjećaj jakosti submaksimalne kontrakcije, što onda posljedično održava kontrakciju (Plaskett i Cafarelli, 2001). O'Connor i suradnici u svom istraživanju potvrdili su tezu da kofein ima i analgetski učinak djelujući na središnji živčani sustav. S dozom od 5 mg kg⁻¹ kofeina zaključili su da se znatno smanjuje bol u nogama nakon vježbanja (O'Connor i sur., 2004). U studiji Laurenta i njegovih suradnika doza kofeina iznosila je 6 mg kg⁻¹. Podvrgli su 20 ispitanika dvosatnoj aktivnosti intenziteta 60% VO_{2max}. Ingestija kofeina uzrokovala je povećanje beta - endorfina za 1,8 puta i kortizola za 1,6 puta. Do povećanja beta – endorfina došlo je zbog kofeinom posredovanog oslobađanja kortikotropina. Beta – endorfini uzrokuju euforiju i smanjuju osjećaj boli, te su na taj način važni čimbenici u povećanju tjelesne izdržljivosti (Laurent i sur., 2000). Meta – analiza Doherty-a i Smith-a koja je uključivala podatke iz 21 studije potvrdila je da ako su razine percipiranog napora niže kod sportaša zbog konzumacije kofeina, sportska izvedba bit će poboljšana za 30%. Autori su zaključili da je kofein utjecao na smanjenu percepciju umora te na taj način djelovao ergogeno na sportsku izvedbu (Doherty i Smith, 2005).

Djelovanja kofeina na centralni živčani sustav i općenito na mozak su brojna i vrlo složena tako da je potrebno mnogo istraživanja kako bi se potvrdili i rasvijetlili mehanizmi preko kojih kofein djeluje na tjelesnu aktivnost i sportsku izvedbu.

2.3.2. UTJECAJ NA MIŠIĆE

Kofein osim preko mehanizma blokiranja adenozičkih receptora (neizravan utjecaj preko središnjeg živčanog sustava) može imati i direktan utjecaj na mišić, a najpoznatiji mehanizam preko kojeg kofein direktno poboljšava mišićnu kontrakciju je preko povećanja oslobađanja

Ca^{2+} unutar stanice mišića, što posljedično uzrokuje kontrakciju i povećava snagu. Jedan od uzročnika umora u mišiću je postepena redukcija u količini kalcija (Ca^{2+}) oslobođenog svaki put kad želimo da mišić bude kontrahiran. Ako kofein poveća oslobađanje kalcija, zamor mišića nastupit će malo kasnije (Kalmar i Cafarelli, 1999). Van Soeren i suradnici potvrdili su svojim istraživanjem na tetraplegičarima da kofein smanjuje porast kalija u plazmi tijekom vježbanja što je direktni učinak kofeina, tj. paraksantina (glavni metabolit kofeina), a ne adrenalina (Van Soeren i sur., 1996). U skladu s ovim rezultatima su i rezultati istraživanja Hawkea i suradnika koji su dokazali da koncentracije paraksantina između 0,01 i 0,5 mM uzrokuju ulazak kalija u stanicu preko aktivacije Na – K pumpe (Hawke i sur., 2000). Hawke i suradnici u drugom istraživanju iz 1999. godine pokazali su da fiziološke koncentracije paraksantina povećavaju unutarstanični kalcij oslobađanjem kalcija iz sarkoplazmatskog retikuluma (Hawke i sur., 1999).

Drugi mehanizam preko kojeg kofein direktno djeluje na mišić odnosi se na količinu natrija (Na^+) i kalija (K^+) s obe strane membrane mišićne stanice. Enzim $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ ATP – aza odgovoran je za pumpanje natrijevih i kalijevih iona preko membrane unutar i izvan stanice kako bi se postigao potencijal važan za mišićnu kontrakciju. Kofein utječe na aktivnost ovog enzima te posljedično na membranski potencijal te time na sniženje mišićnog zamora. Istraživanja vezana za ova dva navedena mehanizma direktnog utjecaja na mišić rađena su s visokim koncentracijama kofeina i s mišićnim tkivom u epruveti pa se smatra da možda ipak nisu odgovorni kao glavni mehanizmi ergogenog djelovanja kofeina s obzirom da mnoga istraživanja potvrđuju ergogeno djelovanje kofeina s niskim dozama (Tarnopolsky, 1994).

Također, kofein može poboljšati dostupnost ugljikohidrata mišiću na dva načina. Prvo, preko transportiranja glukoze u mišićne stanice, a drugo, preko razbijanja glikogena u glukozu.

Kofein ima sposobnost inhibicije enzima fosfodiesteraze. To je enzim koji razbija molekulu cikličkog AMP-a koja je signalna molekula u mnogim stanicama. Ciklički AMP se stvara kad se epinefrin ili norepinefrin vežu za svoje receptore na stanicama. Ta dva enzima važna su za reakcije u tijelu pod nazivom *fight – or – flight* fenomen. S obzirom da kofein značajno povećava mišićni cAMP ubrzo nakon početka vježbanja, smatra se da cAMP potiče oslobađanje epinefrina i norepinefrina (Greer i sur., 2000). Sva ova istraživanja vezana za mehanizme kako kofein djeluje izravno na mišić rađena su in vitro s visokim koncentracijama kofeina tako da bi trebalo prilagoditi fiziološke doze kako bi se bolje potvrdio direktan utjecaj kofeina na mišićnu aktivnost (Spriet, 1995).

2.3.3. UTJECAJ NA MASNO TKIVO I PROMJENE U OKSIDACIJI SUPSTRATA

Rana istraživanja Costill-a i suradnika predložili su da je ergogeni utjecaj kofeina u aerobnim aktivnostima povezan s povećanjem oksidacije masnih kiselina što posljedično utječe na štednju glikogena (Costill i sur., 1978). Tijelo koristi energiju iz više izvora, naročito iz masnih i ugljikohidratnih zaliha. Koji izvor energije će se iskoristiti ovisi koliko kojeg goriva je dostupno i kojom brzinom se treba iskoristiti. Tjelovježba je jedno od stanja koje povećava iskorištavanje energetskih goriva u organizmu i u kojem se neke zalihe mogu vrlo brzo potrošiti kao što je mišićni glikogen. Većina ljudi ima veliku zalihu tjelesne masti pohranjenu u adipoznom tkivu, te se iskorištavanje energije iz masti temelji na otpuštanju slobodnih masnih kiselina u krv kako bi se dostavile do mišića koji će ih iskoristiti kao energetsko gorivo. Kad tijelo miruje adenzin i inzulin se vežu za receptore na površini adipoznog tkiva i inhibiraju procese koji razbijaju mast i otpuštaju masne kiseline u krv. Kad je mast potrebna kao izvor energije, potrebno je i povećanje epinefrina i norepinefrina u krvi. Kofein s obzirom da je antagonist adenzina, veže se na njegove receptore u adipoznom tkivu te na taj način djeluje lipolitički i povećava nakupljanje masnih kiselina u krvi. Povišenjem koncentracije masnih kiselina u krvi povećava se i njihovo iskorištavanje kao izvora energije u mišićima. Na taj način u prvi plan bi se stavilo iskorištavanje masti kao izvora energije i sačuvao bi se mišićni glikogen tj. ugljikohidratne zalihe (Paluska, 2003). Ivy i suradnici u svom istraživanju dokazali su da kofein smanjuje iskorištavanje glikogena u produženim aktivnostima koje nisu bile do iscrpljenosti (Ivy i sur., 1979). Ryu i suradnici u svom istraživanju utvrdili su povišenje vrijednosti slobodnih masnih kiselina u krvi nakon ingestije kofeina. Također su dokazali i sniženi respiracijski kvocijent tijekom vježbanja (Ryu i sur., 2001). Brojnije su studije koje nisu dokazale povećanje slobodnih masnih kiselina ni promjene u respiracijskom kvocijentu.

1970.-tih godina znanstvenici su postali svjesni važnosti mišićnog glikogena za dugotrajne aktivnosti i aktivnosti visokog intenziteta jer je trošenje glikogena povezano s umorom i smanjenom sportskom izvedbom. Jedan od načina kako povećati glikogen je strategija glikogenskog punjenja, a drugi način je smanjiti potrošnju glikogena. Ako kofein može povećati iskorištenje masti kao izvora energije to znači da bi se ugljikohidratne zalihe iskorištavale sporije i zalihe bi bile dostupne u kasnijim periodima dugotrajnih aktivnosti. Sredinom 1990.-tih znanstvenici su shvatili da mobilizacija masti i štednja glikogena nisu jedini mehanizmi djelovanja kofeina na sportsku izvedbu. Također je dokazano da osobe koje su konzumirale kofein i u njihovoj krvi se povećala koncentracija masnih kiselina izgube taj efekt nakon 10 do 15 minuta što znači da ovaj mehanizam nije odgovor za poboljšanu performansu u dugotrajnim aktivnostima (Burke i sur., 2013). Novija istraživanja koja su uključivala aktivnosti duže od

dva sata nisu uspjela dokazati razlike u razgradnji glikogena. Tako primjerice istraživanje Jackmana i suradnika nije dokazalo razlike u razgradnji glikogena tijekom tjelovježbe (VO_{2max}) iako je kofein poboljšao izdržljivost (Jackman i sur., 1996). Isto tako, Chesley i suradnici nisu uspjeli dokazati razlike u razgradnji glikogena niti nakon 3 niti nakon 15 minuta 85% VO_{2max} tjelovježbe (Chesley i sur., 1998). Kofein je koristan i u aktivnostima od tek nekoliko minuta pri kojima trošenje zaliha glikogena nema veliku ulogu, tako da sagledavajući sve skupa možemo zaključiti kako promjena u oksidaciji supstrata nije mehanizam koji je odgovoran za ergogeno djelovanje kofeina na sportsku izvedbu.

2.3.4. UTJECAJ NA SRŽ NADBUBREŽNE ŽLIJEZDE

Kofein povećava koncentraciju adrenalina u krvi što je dokazano brojnim studijama (Graham i Spriet, 1991, 1995; Spriet i sur., 1992; Van Soeren i sur., 1993; Jackman i sur., 1996; Van Soeren i Graham, 1998; Greer i sur., 1998, 2000; Graham i sur., 2000).

Srž nadbubrežne žlijezde je jezgra nadbubrežne žlijezde koja se nalazi blizu bubrega. U krv otpušta nekoliko hormona koji pripadaju skupini katekolamina ili stres hormona. Srž nadbubrežne žlijezde odgovorna je za proizvodnju 80% tjelesnog epinefrina (adrenalin) i 20% norepinefrina (noradrenalin). Ova dva hormona odgovorna su za pokretanje tijela u akciju kao odgovor na stres. Taj fenomen još se naziva *fight – or – flight* koji uključuje mobiliziranje izvora energije kako bi se mišić opskrbio energijom, povišenje otkucaja srca i kontrakcija mišića srca, suženje krvnih žila u područjima organizma koji nisu esencijalni za vježbanje (kao na primjer crijevo), te povećanje budnosti. Kod niskih doza kofeina ($1,5 - 3 \text{ mg kg}^{-1}$), generalno nema utjecaja na koncentraciju epinefrina u krvi, a kod srednjih do visokih doza ($5 - 9 \text{ mg kg}^{-1}$), postoji mali utjecaj na koncentraciju norepinefrina. Kofein povećava koncentraciju epinefrina u mirovanju i vježbanju za oko 50% do 100%, vjerojatno zbog toga što kofein interferira s procesima koji ograničavaju oslobađanje epinefrina (Nehlig i sur., 1992).

Istraživanje Chesley-a i njegovog tima sastojalo se od intravenskog ubrizgavanja adrenalina u koncentracijama koje se pojavljuju u plazmi nakon primjene 9 mg kg^{-1} kofeina. Nakon 15 – minutne aktivnosti intenziteta 86% VO_{2max} nije se promijenila koncentracija ADP – a, AMP – a, laktata niti brzina glikogenolize (Chesley i sur., 1995). Također, još jedno istraživanje nije pokazalo važnu ulogu adrenalina pod utjecajem kofeina. Pokazalo se da primjena 3 mg kg^{-1} kofeina povećava izdržljivost, ali ne mijenja koncentraciju adrenalina, dok primjena 9 mg kg^{-1} kofeina dovodi do porasta adrenalina, ali ne djeluje na izdržljivost (Graham i sur., 1995).

2.3.5. UTJECAJ NA KARDIOVASKULARNI SUSTAV

Utjecaj kofeina na kardiovaskularni sustav je izravan, ali može biti i preko povećavanja koncentracije adrenalina u plazmi kao što je navedeno u prethodnom poglavlju. Pod utjecajem kofeina povećava se frekvencija srca, sistolički i dijastolički tlak (Passmore i sur., 1987). Visoke doze kofeina uzrokuju tahikardiju te dolazi do malog povišenja otkucaja srca. Tolerancija na utjecaj kofeina na kardiovaskularni sustav, tj. na utjecaj na krvni tlak i otkucaje srca obično se razvija u periodu od nekoliko dana (Fredholm i sur., 1999). Van Soeren i njegovi suradnici proučavali su utjecaj kofeina na tetraplegičarima, a rezultati su pokazali kako kofein nije povišio razinu adrenalina, ali je zabilježeno povećanje slobodnih masnih kiselina, glicerola i arterijskog tlaka što je dokaz o izravnom utjecaju kofeina na te parametre (Van Soeren i sur., 1998).

2.4.UTJECAJ KOFEINA NA SPORTSKU IZVEDBU

Kofein poboljšava sportsku izvedbu u većini sportova, a najveće učinke pokazuje kod dugotrajnih aktivnosti posebice kad dolazi do pojave višeg stupnja umora u posljednjim fazama aktivnosti. Najmanji učinak kofeina uočen je kod eksplozivnih aktivnosti vrlo visokog intenziteta kao što su sprintevi, bacanja, skokovi i slično. Na ergogeni učinak kofeina akutno primijenjene doze ne utječe uobičajena konzumacija kofeina, a apstinencija od kofeina nekoliko dana prije natjecanja u pravilu ne dovodi do ostvarenja boljeg učinka (Graham, 2001). Čini se da samo netoksične, niske do srednje doze ingestiranog kofeina (3 mg kg^{-1} do 10 mg kg^{-1}) su potrebne kako bi se poboljšala sportska izvedba (Lindinger i sur., 1993; Graham i Spriet, 1995). Tipična doza kofeina koja je imala učinka na sportsku izvedbu u većini starijih studija bila je od 5 do 6 mg kg^{-1} konzumirana 1 sat prije aktivnosti. Novija istraživanja pokazuju da u mnogim sportskim aktivnostima, maksimalna doza koja pokazuje efekt na izvedbu je otprilike pola doze koja se koristila u ranijim istraživanjima te iznosi 3 mg kg^{-1} . Ta doza kofeina može se uzeti prije same aktivnosti, podijeliti tijekom aktivnosti ili uzeti pri kraju sportske aktivnosti (Burke i sur., 2013).

2.4.1. UTJECAJ KOFEINA NA DUGOTRAJNU AKTIVNOST

Brojne studije dokazale su pozitivan učinak kofeina na aktivnosti u trajanju od 20 minuta do nekoliko sati. Costill i suradnici bili su među prvima koji su dokazali da je kofein (330 mg) ingestiran 1 sat prije aktivnosti (do iscrpljenosti) značajno poboljšao izvedbu kod profesionalnih biciklista (Costill i sur., 1978). Brojni drugi istraživači također su potvrdili ovu studiju te dokazali kako je kofein poboljšao kontrakciju mišića, krajnji rezultat, vrijeme do

iscrpljenosti te dugotrajne aktivnosti kao i one aktivnosti srednjeg do visokog intenziteta u trajanju 30 do 120 minuta (Nehlig i Debry, 1994; Graham i Spriet, 1995; Trayes i Haymes, 1995; Graham i sur., 1998; Applegate, 1999; Greer i sur., 2000; Jackman i sur., 2000; Tarnopolsky i Cupido, 2000; Laurent i sur., 2000; Graham, 2001; Plaskett i Cafarelli, 2001). Manji je broj studija čiji rezultati su pokazali kako kofein ne utječe značajno na dugotrajne aktivnosti do iscrpljenosti niti poboljšava sportsku izvedbu (Bell i sur., 1998, 2001; Ferrauti i sur., 1997).

Dvije su vrste studija koje su ispitivale učinak kofeina na dugotrajnim aktivnostima. Prva vrsta ispitivanja temeljila se na sposobnosti dužine rada zadanim konstantnim intenzitetom, ali u natjecateljskim sportovima intenzitet aktivnosti se mijenja, a udaljenost je zadana. Ovakav način istraživanja omogućuje kvalitativnu procjenu utjecaja kofeina na sportsku izvedbu i rezultat. Druga vrsta ispitivanja mjeri poboljšanje rezultata na zadanoj udaljenosti i većina takvih istraživanja se odvijala u laboratorijskim uvjetima. Istraživanja koja su smještena u stvarnim uvjetima jako su rijetka.

Iako je doza od 6 mg kg^{-1} tradicionalna doza koja se koristila u većini istraživanja, sve više postaje jasno kako je 3 mg kg^{-1} kofeina dovoljno kako bi se postigao maksimalni učinak na poboljšanje sportske izvedbe (Burke i sur., 2013). Hogervorst i suradnici demonstrirali su kako su relativno niske doze kofeina (150 – 225 mg) poboljšale kognitivnu funkciju jednako kao i visoke doze (320 mg) (Hogervorst i sur., 1999). Podaci iz ove i ostalih studija potvrđuju kako je optimalna doza za poboljšanje dugotrajnih aktivnosti od 3 do 6 mg kg^{-1} (Graham, 2001). Istraživanje Grahama i Sprieta dokazalo je kako je izdržljivost poboljšana kod dobro utreniranih trkača ($85\% \text{ VO}_{2\text{max}}$) s dozama kofeina od 3 mg kg^{-1} ili 6 mg kg^{-1} , ali ne i s dozom od 9 mg kg^{-1} (Graham i Spriet, 1995).

Postoje neki dokazi kako su prednosti suplementacije kofeinom manji u uvjetima kada je sportaš dobro energetski opskrbljen i konzumira ugljikohidrate tijekom sportske aktivnosti, ali su potrebna daljnja istraživanja na ovom području (Burke i sur., 2013).

Istraživanje s nordijskim trkačima koji su simulirali utrku na 21 km nakon ingestije kofeina u dozi od 6 mg kg^{-1} ili placebo na dvije nadmorske visine (300 i 2900 m) dokazala je poboljšanje sportske izvedbe za 59 s na 300 m nadmorske visine (1,7%) i za 152 s na 2900 m nadmorske visine (3,2%) (Berglund i Hemmingsson, 1982). Kofein je također koristan i plivačima, a studija MacIntosh – a i Wright – a dokazuje poboljšanje sportske izvedbe u utrci na 1500 m slobodnim načinom za 2% (MacIntosh i Wright, 1995).

2.4.2. UTJECAJ KOFEINA NA KRATKOTRAJNU AKTIVNOST

Nema mnogo istraživanja koja poklanjaju pozornost utjecaju kofeina na kratkotrajne aktivnosti od nekoliko minuta, ali većina onih koji su istraživali potvrđuju poboljšanje izvedbe nakon ingestije kofeina (Astorino i Roberson, 2010).

Dokazano je kako ingestija kofeina prije aktivnosti poboljšava izvedbu u aktivnostima visokog intenziteta koje traju od 1 do 30 minuta. Visoke doze kofeina od 6 mg kg^{-1} su najčešće korištene u istraživanjima, te su potrebna daljnja istraživanja kako bi se dokazalo je li doza od 3 mg kg^{-1} također jednako učinkovita u aktivnostima ovakve vrste. Problem kod ovih aktivnosti povezan sa suplementacijom kofeina je taj što neki sportaši imaju nekoliko utrka dnevno ili kroz nekoliko dana natjecanja, pa bi se točno trebala utvrditi duljina utjecaja kofeina na individualca i je li bolje da dozu kofeina uzme odjednom ili podijeli ovisno o aktivnostima (Paluska, 2003). Wiles i suradnici ispitivali su utjecaj kofeina s atletičarima u simuliranoj utrci na 1500 m, te je poboljšanje rezultata bilo 4,2 s (1,5%) (Wiles i sur., 1992). Istraživanje Bruce – a i njegovog tima koje je uključivalo simuliranu veslačku utrku na 2000 m pokazala je poboljšanje sportske izvedbe nakon ingestije kofeina za 1 – 1,5% (Bruce i sur., 2000). Doherty je dokazao kako je ingestija kofeina u dozi od 5 mg kg^{-1} prije utrke rezultirala u značajnom poboljšanju anaerobnog metabolizma i performanse kod rekreacijskih trkača (Doherty, 1998). No, postoje i one studije koje nisu dokazale poboljšanje sportske izvedbe u kratkotrajnim aktivnostima. Greer i suradnici dokazali su kako kofein u dozi od 6 mg kg^{-1} nije poboljšao izvedbu tijekom perioda intenzivne aktivnosti uz *Wingate* test kod rekreativnih sportaša (Greer i sur., 1998). Paton i suradnici primjetili su kako je kofein u dozi od 6 mg kg^{-1} imao neznatan utjecaj na izvedbu sprinta te utjecaj na umor među rekreativnim trkačicama (Paton i sur., 2001).

U većini istraživanja s kratkotrajnim aktivnostima doza kofeina koja se primjenjivala bila je prilično velika (6 mg kg^{-1}), no postoje dokazi da i doza od 3 mg kg^{-1} pokazuje jednake učinke (Astorino i Roberson, 2010).

Kofein zasigurno pokazuje ergogeni učinak tijekom aktivnosti visokog intenziteta koje traju barem 1 minutu, iako u puno manjem postotku nego kod dugotrajnih aktivnosti (Spriet, 1995; Graham, 2001; Bell i sur., 2001; Armstrong, 2002). S obzirom da je potrošnja glikogena neznatna tijekom kratkotrajnih aktivnosti visokog intenziteta, fiziološki učinak kofeina odnosi se najvjerojatnije direktno na aktivaciju centralnog živčanog sustava, te poboljšava neuromuskularni prijenos (Doherty, 1998; Applegate, 1999; Bruce i sur., 2000; Anderson i sur., 2000; Bell i sur., 2001).

2.4.3. UTJECAJ KOFEINA NA BRZINU I SNAGU

Za aktivnosti koje traju kraće od jedne minute rezultati istraživanja o utjecaju kofeina nisu konzistentna. Postoje dokazi kako suplementacija kofeinom poboljšava mišićnu izdržljivost – sportaši mogu odraditi veći broj ponavljanja ili imaju bolje rezultate u ponavljajućim sprintevima, skokovima, bacanjima (Burke i sur., 2013). Jacobson i suradnici istraživali su učinak kofeina u dozi od 7 mg kg⁻¹ na snagu i izdržljivost ekstenzora i fleksora koljena. Ispitanici su bili 20 vrhunskih sportaša. Dokazan je povoljan učinak na neke parametre snage u obje skupine mišića (Jacobson i sur., 1992). Kofein može biti koristan u sportovima jakosti i snage kod ponavljajućih aktivnosti poput sprinteva, skokova, ponavljanja u radu s utezima, pa su tako Stuart i suradnici proveli istraživanje na devet ragbijaša koji su obavljali različite zadatke tijekom simuliranih poluvremena ragbi utakmice (2 puta po 40 min). U jednom od zadataka (rušenje) mjerili su uporabljenu snagu gdje je kofein povećao snagu pri rušenju za 5%. Brzina 20 m sprinteva na kraju utakmice poboljšana je za 3%. Zamijećen je također i učinak kofeina na dodavanje lopte gdje je to poboljšanje iznosilo 10%. To je prvi izvještaj o utjecaju kofeina na složenu psihomotoričku aktivnost (Stuart i sur., 2005). Vrlo vjerojatno jedna od najkontroliranijih studija u ovom području, ona Kovacs – a i suradnika provodila se s utreniranim biciklistima kojima je rečeno da bicikliranje obave što je brže moguće u nekoliko setova aktivnosti koja je procijenjena na približno 1 sat aktivnosti sveukupno. Ingestija otopine ugljikohidrata i elektrolita tijekom aktivnosti sigurno je bila korisna, a kad je otopina sadržavala kofein, ukupna snaga je bila značajno veća kao i vrijeme izvedbe aktivnosti (Kovacs i sur., 1998). Novija studija Schneiker – a i suradnika dokazuje poboljšanje izvedbe u isprekidanim sprintevima (sprintevi u trajanju od 4 sekunde) kod nogometaša nakon ingestije kofeina u dozi od 6 mg kg⁻¹ (Schneiker i sur., 2006).

2.5. NAČIN PRIMJENE KOFEINA

2.5.1. VRIJEME PRIMJENE KOFEINA

S obzirom da kofein u plazmi dostiže najveću koncentraciju nakon 30 do 60 minuta, najbolji način primjenjivanja suplementacije kofeinom je 1 sat prije aktivnosti (Graham, 2001). Velika većina istraživanja primjenjivala je kofein u tom vremenu. Cox i njegov tim pokazali su da je svejedno uzima li se kofein jednokratno ili u nekoliko manjih doza. Ispitanici su uzimali istu dozu kofeina jednokratno ili svakih 20 minuta. Ustanovljeno je da su oba načina jednako poboljšala sportsku izvedbu. Također je dokazano da je kofein učinkovit ako se uzme i tijekom dugotrajne aktivnosti (Cox i sur., 2002). Slična stvar je primijećena u istraživanju Conway – a

i suradnika u kojem nije bilo razlike u utjecaju 6 mg kg^{-1} kofeina primijenjenog jednokratno jedan sat prije aktivnosti ili 3 mg kg^{-1} jedan sat prije aktivnosti plus 3 mg kg^{-1} nakon 45 minuta aktivnosti (Conway i sur., 2003). Što se tiče trajanja učinka kofeina, istraživanje Bell – a i McLellan – a potvrdilo je da učinak kofeina ne traje jednako kod osoba koje redovito konzumiraju kofein i kod apstinenata. Njihovi ispitanici uzimali su dozu od 5 mg kg^{-1} kofeina. Kod apstinenata učinak kofeina bio je uočljiv i 6 sati nakon ingestije, dok kod redovitih konzumenata učinak kofeina se zadržao 3 sata, ali ne i 6 sati nakon ingestije (Bell i McLellan, 2002). Najdjelotvorniji protokol uzimanja kofeina potrebno je odrediti individualno.

2.5.2. DOZA KOFEINA

Prva istraživanja koja su ispitivala ergogenost kofeina primjenjivala su vrlo visoke doze (9 mg kg^{-1}) jer se smatralo da će se učinak uočiti puno bolje, no novija istraživanja idu prema mnogo nižoj dozi kofeina koja također pokazuje ergogeni učinak. Smatra se kako visoke doze kofeina imaju slabiji učinak s obzirom na one niže doze koje su sličnije prosječnom dnevnom unosu u populaciji (Graham, 2001). Najniža doza kofeina koja je pokazala pozitivan učinak na sportsku izvedbu u strogo kontroliranim uvjetima iznosila je oko 2 mg kg^{-1} (Kovacz i sur., 1998). Sportašima se preporučuje unos kofeina od $2,5 \text{ mg kg}^{-1}$ do 3 mg kg^{-1} , a doze više od 6 mg kg^{-1} nema smisla unositi kad niža doza ima isti učinak, a uz to vrlo visoke doze mogu imati negativan utjecaj na sportsku izvedbu (Bruce i sur., 2000).

2.5.3. IZVOR KOFEINA

Osim ingestije kofeina preko tableta, najlakši način unosa je preko namirnica koje ga sadrže u umjerenim količinama (kava, čaj, cola napici). Graham i suradnici uspoređivali su uzimanje kofeina kavom i tabletama. Ispitanici su uzimali vodu, kavu bez kofeina, običnu kavu ili čisti kofein u obliku tablete, te su vježbali do iscrpljenosti intenzitetom od $85\% \text{ VO}_{2\text{max}}$. Izdržljivost nakon čistog kofeina bila je znatno duža (41 min) za razliku od prva tri slučaja (32 min). Koncentracije kofeina i paraksantina su u plazmi bile jednake u svim slučajevima. Autori su pretpostavili da je razlog razlika obične kave i kofeina u obliku tableta u složenosti sastava kave koja sadrži mnogo farmakološki aktivnih sastojaka pa neki od njih moguće imaju suprotno djelovanje od kofeina (Graham i sur., 1998). Bez obzira na ovo istraživanje, nema razloga da se kava izbacila kao izvor kofeina jer većina rezultata sličnih studija ipak pokazuje da kava ima pozitivan utjecaj na sportsku izvedbu. U novijem istraživanju Hodgsona i suradnika ispitanici su bili biciklisti i vozili su utrku od oko 45 minuta nakon konzumiranja instant kave ili čistog kofeina. U oba slučaja izvedba je bila poboljšana za $\sim 4,5\%$ u odnosu na bezkofeinsku kavu ili

placebo (Hodgson i sur., 2013). S obzirom na društvenu ulogu ispijanja kave, sportaše, trenere i ostale sportske djelatnike potiče se da prije treninga ili natjecanja umjesto tableta popiju zajedničku kavu što će uz izvedbu poboljšati i koheziju unutar tima.

2.6.UTJECAJ UOBIČAJENOG UNOSA KOFEINA NA ERGOGENI UČINAK

S obzirom da kofein unosi većina sportaša, znanstvenici su uspoređivali ergogeni učinak akutne ingestije kofeina između uobičajenih konzumenata kofeina i sportaša koji uobičajeno ne unose kofein (Paluska, 2003). Dobro je poznato da uobičajeni unos kofeina može smanjiti fiziološke odgovore na kofein, a tolerancija se može razviti unutar tri dana (Cole i sur., 1996; Daniels i sur., 1998). Više doze kofeina mogu biti potrebne za ostvarivanje jednakog ergogenog učinka kod uobičajenih konzumenata, ali efekt navikavanja strahovito varira među individualcima (Armstrong, 2002). Kako bi se umanjila nedosljednost neki znanstvenici su zatražili od ispitanika da apstiniraju od kofeinskih proizvoda najmanje četiri dana prije sudjelovanja u istraživanju. Tarnopolsky i Cupido u istraživanje su uključili aktivne zdrave muškarce i dokazali da akutna konzumacija kofeina u dozi od 6 mg kg^{-1} pojačava silu mišićne kontrakcije i za uobičajene konzumente kofeina i za one koji nisu uobičajeni konzumenti kofeina bez efekta tolerancije na kofein (Tarnopolsky i Cupido, 2000). U drugom istraživanju dokazano je povećanje biciklističke izdržljivosti među rekreativnim muškim sportašima koji su unijeli dozu kofeina od 6 mg kg^{-1} nakon različitih duljina kratkotrajne apstinencije (0 do 4 dana) od kofeina (Van Soeren i Graham, 1998). Chesley i suradnici također su primjetili da uobičajeni unos kofeina ne mijenja mišićnu glikogenolizu među fizički aktivnim muškarcima tijekom vježbanja (Chesley i sur., 1998). Naposljetku, uobičajeni unos kofeina ima minimalni utjecaj na ergogena svojstva kofeina. Akutna ingestija kofeina poboljšava izvedbu i za uobičajene konzumente kofeina i za one koji uobičajeno ne unose kofein (Wiles i sur., 1992; Nehlig i Debry, 1994; Spriet, 1995; Graham, 2001; Armstrong, 2002).

Također, postavlja se pitanje hoće li kofein pokazati bolji efekt ukoliko sportaš apstinira od kofeina nekoliko dana prije natjecanja tako da na dan natjecanja organizam doživi dodatni šok kad se kofein ponovno uvede (Burke i sur., 2013). Irwin i suradnici u istraživanje su uključili dobro utrenirane muške bicikliste koji su uobičajeni konzumenti kofeina. Studija je bila dvostruko slijepa, placebo kontrolirana te je uključivala četiri različita mjerenja koja su prošli svi ispitanici. Svi ispitanici su također apstinirali od kofeina četiri dana prije svakog mjerenja. Tijekom četiri dana apstinencije svaki od ispitanika je dobio kapsulu, jednu ujutro i jednu popodne koja je sadržavala ili placebo ili kofein u dozi od $1,5 \text{ mg kg}^{-1}$. Peti dan, 90 minuta nakon ingestije kapsule koja je sadržavala placebo ili kofein u dozi od 3 mg kg^{-1} , ispitanici su

pristupili biciklističkom mjerenju u trajanju od 1 sat. Studija je dizajnirana na način da je uspoređivala efekte slijedećih uvjeta: povlačenje – placebo, povlačenje – kofein, bez povlačenja – placebo i bez povlačenja – kofein. Zaključak istraživanja je bio da umjerena doza kofeina u količini od 3 mg kg⁻¹ značajno poboljšava biciklističku izvedbu, te da apstinencija od 4 dana od kofeina ne utječe na njegov ergogeni učinak (Irwin i sur., 2011).

Sudeći prema istraživanjima uobičajeni unos kofeina ne utječe na ergogeni učinak kofeina. Također, apstinencija od kofeina prije natjecanja ne utječe na samu izvedbu na natjecanju, ali postoje individualne razlike kod pojedinih sportaša te neki sportaši mogu imati poboljšan ergogeni učinak nakon apstinencije. Zbog toga i situacije ovakve vrste treba ispitati individualno za svakog sportaša.

2.7.UTJECAJ KOFEINA NA PERCEPCIJU NAPORA

S obzirom da ne postoji metoda kojom bi se direktno moglo izmjeriti što se točno događa u ljudskom mozgu tijekom tjelovježbe, sportski znanstvenici oslanjaju se na subjektivan prikaz pojedinog sportaša koliko je teško završiti određeni sportski zadatak koristeći procjenu percipiranog napora (eng. *rating of perceived exertion* – RPE) (Burke i sur., 2013).

2.7.1. PROCJENA PERCIPIRANOG NAPORA

Percipirani napor je najbolji jednostavni indikator stupnja fizičkog napora. Cjelokupna procjena percipiranog napora uključuje različite informacije povezane sa signalima perifernih mišića i zglobova, centralnog živčanog sustava, kardiovaskularnog sustava te dišnog sustava. Sva ova opažanja i signali uključeni su u konfiguraciju percipiranog napora (Borg, 1982). Praksa u kojoj je mjerenje frekvencije rada srca jedini pokazatelj ukupnog napora kod sportaša, ne omogućuje cjeloviti prikaz upravo zbog toga što ne sadrži nijedan pokazatelj psihološkog opterećenja (Vučetić i Neljak, 2003).

Jedna od mana procjene napora putem skale u prošlosti bila je ta što nije pružala direktne nivoe za interindividualne usporedbe. Ovakva vrsta procjene mogla je dati generalne funkcije za grupu individualaca, ali je bilo teško uspoređivati individualne odgovore (Borg, 1982). Kako bi se izbjegle ovakve poteškoće u procjeni, Gunnar Borg je razvio skalu za procjenu percipiranog napora (Borg, 1962). Prva skala se sastojala od 21 stupnja s verbalnim opisom. Koristi se u situacijama kad je potrebna jednostavna i direktna procjena subjektivnog intenziteta, a metrička procjena je od manje važnosti (Borg, 1982). Borg je uočio da postoje visoki korelacijski koeficijenti između procjene percipiranog napora i otkucaja srca, te je zaključio da integracija centralnih faktora kao što su otkucaji srca i perifernih faktora kao što je

razina laktata u plazmi u cjelokupnoj procjeni percipiranog napora mogu bolje objasniti psihofizičke varijacije od samo jedne samostalne fiziološke varijable (Borg, 1962).

Nova kategorijska skala za procjenu napora razvijena je također od strane Borg-a (Tablica 2) te je u mnogim studijama pokazala visoke korelacije s frekvencijom srca te s ostalim fiziološkim varijablama (Borg i Noble, 1974; Mihevic, 1981; Borg, 1982). Skala je u rasponu od 6 do 20 što predstavlja analogiju s frekvencijom srca u mirovanju (60) i pri maksimalnom opterećenju (200). Malo je dokaza koji govore da određena frekvencija srca bolje predviđa opasnu ozljedu od subjektivnog percipiranog napora (Borg, 1982).

Tablica 2. 15 – razredna Borgova skala za procjenu percipiranog napora, RPE skala (Borg, 1970)

6	
7	Vrlo, vrlo lagano
8	
9	Vrlo lagano
10	
11	Prilično lagano
12	
13	Ponešto teško
14	
15	Teško
16	
17	Vrlo teško
18	
19	Vrlo, vrlo teško
20	

U novije vrijeme sve se više koristi Borgova skala za procjenu percipiranog napora CR - 10. Izrađena je kako bi još jednostavnije i razumljivije povezala razrede, tj. omjere i verbalne ekspresije. To je kategorijska skala s omjernim svojstvima u rasponu od 0 do 10 (Tablica 3) (Borg, 1980).

Tablica 3. Borgova skala CR - 10 za procjenu percipiranog napora – kategorijska skala s omjernim svojstvima (Borg, 1980)

0	Ništa u potpunosti
0.5	Ekstremno lagano
1	Jako lagano
2	Lagano
3	Umjereno
4	
5	Teško
6	
7	Veoma teško
8	
9	
10	Ekstremno teško (maksimalno)

Dokazana je značajna povezanost između procjene percipiranog napora i drugih mjera intenziteta kao što su frekvencija srca ($r = 0,89$) i koncentracija laktata u plazmi ($r = 0,86$). Ova metoda primjenjiva je za svaki sport, jeftina je, ne zahtijeva dodatnu edukaciju za upotrebu, jednostavna je za korištenje u usporedbi s monitorima frekvencije srca, te ne postoji mogućnost gubitka podataka (Borg i sur., 1987).

Borgova skala za procjenu percipiranog napora može se koristiti za osjećaj napora u cijelom tijelu ili za osjećaje specifične za određeno tjelesno područje kao na primjer osjećaj disanja ili osjećaj napora u jednoj nozi (Burke i sur., 2013).

2.7.2. MEHANIZMI DJELOVANJA KOFEINA NA PERCEPCIJU NAPORA

Mehanizam koji je zaslužan da kofein smanji percepciju kojom težinom obavljamo napor vjerojatno se odnosi na smanjenje pucanja pragova motornih neurona ili promjene u sili mišićne kontrakcije. Kod oba mehanizma dolazi do odašiljanja poruke od mišića prema mozgu, a poruka je ta da su kontrakcije mišića lakše postignute. U mnogim slučajevima razina kofeina u krvi povezana sa smanjenim osjećajem napora nije dovoljno visoka da uzrokuje ove promjene na razini mišića i živaca. Tijekom dugotrajnog vježbanja dolazi do smanjenja neuralne sposobnosti da proizvede maksimalnu voljnu snagu i povećanja središnjeg pogona potrebnog

za održavanje određenog intenziteta vježbanja. Jednostavnije rečeno, mišić ne može održavati jednaku snagu i mozak mora raditi jače kako bi mišić mogao davati jednake rezultate. Pokazalo se da kofein poboljšava taj centralni pogon djelujući na spinalne podražaje, voljnu aktivaciju, te posljedično povećava maksimalnu snagu. Dakle, iako koncentracije kofeina u plazmi mogu biti preniske za direktan utjecaj na mišićnu kontrakciju, mogu biti dovoljno visoke za djelovanje na mozak koji će poboljšati aktivaciju mišića (Burke i sur., 2013).

Drugo objašnjenje za niže razine percipiranog napora (RPE) nakon ingestije kofeina odnosi se na to da jednake količine povratnih informacija poslanih iz kontrahiranih mišića u mozgu se interpretiraju kao manje snažne ili manje bolne. U prilog ovoj tvrdnji idu brojna istraživanja koja su ispitala kofeinsku sposobnost smanjenja boli tijekom različitih vrsta tjelovježbe. Većina ovih studija pokazala je smanjenje boli u nogama kod srednjih doza kofeina ($5 - 6 \text{ mg kg}^{-1}$) konzumiranih 60 minuta prije aktivnosti. Neke studije su koristile niže doze kofeina ($2 - 3 \text{ mg kg}^{-1}$) te nije bilo dokaza o efektima smanjenja boli uzrokovanih kofeinom (Davis i Bailey, 1997).

Treća hipoteza koja je povezana sa smanjenjem percepcije napora je ta da kofein moguće direktno utječe na otpuštanje beta – endorfina i ostalih hormona koji reguliraju osjećaje nelagode i boli povezanih s intenzivnom i iscrpljujućom tjelovježbom, no malo je studija koje su se bavile ovim pitanjem. Brojne studije su pokazale kako je stupanj percipiranog napora niži nakon ingestije kofeina u usporedbi s placebom (Burke i sur., 2013).

Bez obzira koji je mehanizam djelovanja kofeina, konzistentan ishod ingestije kofeina za vrijeme vježbanja neovisno o načinu, intenzitetu ili trajanju, je promjena u percepcijskom odgovoru sudionika. Ta se promjena očitovala ili kao poboljšanje radnog učinka pri određenim procjenama percipiranog napora (Ivy i sur., 1979; Cole i sur., 1996; Plaskett i Cafarelli, 2001) ili tipičnije, kao smanjenje percepcije napora pri konstantnom intenzitetu vježbanja (Costill i sur., 1978; Giles i Maclaren, 1984; Casal i Leon, 1985; MacIntosh i Wright, 1995; Doherty i sur., 2002; Doherty i sur., 2004; Birnbaum i Herbst, 2004). Osim ovih promjena, ali ne nužno neovisno o njima, kofein ima dokazana analgetska svojstva što je uočeno tijekom ishemijskih mišićnih kontrakcija (Myers i sur., 1997), kao i tijekom vježbi cijelog tijela (Motl i sur., 2003; O'Connor i sur., 2004).

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. ISPITANICI

Eksperimentalnu skupinu činilo je 16 ispitanika muškog spola u dobi od 18 do 35 godina. Ispitanici su rekreativni sportaši čije aktivno bavljenje sportom ne prelazi 5 sati treninga tjedno. Granica rekreativnog bavljenja sportom postavljena je proizvoljno na 5 sati tjedno kao uobičajeno korišteni *cut-off*. Prosječna dob ispitanika uključenih u istraživanje iznosila je $24,4 \pm 2,03$ godine, prosječna tjelesna visina $186,7 \pm 3,87$ cm, prosječna tjelesna masa $80,8 \pm 6,18$ kg, a prosječni indeks tjelesne mase (ITM) $23,2 \pm 1,62$ kg m⁻² (tablica 4). Podaci za tjelesnu masu i tjelesnu visinu ispitanika dobiveni su na temelju navoda ispitanika uz dnevnik prehrane i FFQ koji su ispunjavali. S obzirom na dizajn istraživanja, ispitanici su sami sebi bili kontrola. Potpisali su informirani pristanak na sudjelovanje u istraživanju zbog mogućnosti pojave negativnih nuspojava visokih doza kofeina (Prilog 1).

Tablica 4. Dob i antropološke karakteristike ispitanika ($\bar{x} \pm SD$) (n = 16)

Dob i antropometrija	Rekreativni sportaši (n = 16)
Dob (godine)	$24,4 \pm 2,03$
Tjelesna masa (kg)	$186,7 \pm 3,87$
Tjelesna visina (cm)	$80,8 \pm 6,18$
Indeks tjelesne mase (kg m ⁻²)	$23,2 \pm 1,62$

3.2. METODE RADA

Istraživanje je podijeljeno u tri mjerenja, te je dvostruko slijepog karaktera. Svako mjerenje je u razmaku od tjedan dana (primjerice srijeda – srijeda – srijeda) u isto vrijeme pod istim klimatskim uvjetima (zatvoreni dvoranski prostor). Razmak od sedam dana uzet je kako bi uvjeti bili što više jednaki za svako od tri mjerenja te kako bi ispitanici imali dovoljno vremena za odmor. Ispitanici su sami sebi kontrola jer su u jednom od tri mjerenja dobili placebo. Niti ispitivač niti ispitanici nisu znali koju količinu kofeina su dobili na određenom mjerenju. Randomizacija ispitanika s obzirom na dozu kofeina koju će dobiti na mjerenju izvršena je pomoću random.org sustava od strane osobe koja nije ispitivač ni ispitanik. Svaki ispitanik je jednom dobio dozu kofeina 0 (placebo), jednom dozu kofeina od 3 mg kg⁻¹ tjelesne mase i

jednom dozu kofeina od 6 mg kg⁻¹ tjelesne mase (Candow i sur., 2009; Astorino i sur., 2012; Gwacham i Wagner, 2012).

Uz popunjene dnevnik prehrane i FFQ ispitanici su popunili i demografske i antropometrijske podatke, a to su dob, tjelesna visina i tjelesna masa. Uz dnevnik prehrane bilježili su i trajanje treninga za pojedini dan. Podaci su prikupljeni u periodu između ožujka i lipnja 2019. godine.

3.2.1. PROCJENA UOBIČAJENOG UNOSA KOFEINA

Svaki od ispitanika ispunio je dnevnik prehrane i upitnik o učestalosti konzumacije hrane (FFQ) preko kojih je procijenjen uobičajeni dnevni unos kofeina za svakog pojedinačno. Dnevnik prehrane ispitanici su vodili za tri dana. Dva dana su uključivala proizvoljno dane od ponedjeljka do četvrtka, a treći dan se odnosio na jedan dan vikenda. Dobili su detaljne upute kako voditi dnevnik prehrane od strane ispitivača, te su ga ispunili samostalno, a u prilogu se nalazi primjer dnevnika prehrane dobivenog uz upute (Prilog 2). Ispitanicima je sugerirano da ne mijenjaju svoje uobičajene prehrabene navike kako bi se što vjerodostojnije procijenio njihov uobičajeni unos kofeina. FFQ je preveden s engleskog na hrvatski jezik (Prilog 3), a izvorno je korišten u istraživanju iz 2013.-e godine (Bühler i sur., 2013). Iz dobivenih podataka računat je dnevni unos kofeina za svaki pojedini dan (tri dana iz dnevnika prehrane i jedan dan iz upitnika o učestalosti konzumacije hrane). S obzirom da su dobiveni dnevni unosi kofeina za četiri dana, uzet je prosjek od ta četiri dana za svakog pojedinačnog ispitanika i to je predstavljao njegov uobičajeni dnevni unos kofeina (Tablica 6).

Podaci iz dnevnika prehrane i FFQ-a obrađeni su pomoću analitičkih podataka iz radova navedenih u nastavku. Analitički podaci za gazirana pića uzeti su iz istraživanja Sveučilišta u Floridi od strane McCuskera, Goldbergera i Conea iz 2006. godine. Oni su u svom istraživanju za izolaciju kofeina koristili ekstrakciju tekuće – tekuće, a analitičke podatke za količinu kofeina u određenom piću dobili plinskom kromatografijom s dušik - fosfor detekterom (McCusker i sur., 2006). Analitički podaci za čokolade uzeti su iz istraživanja s Prehrabeno – biotehnološkog fakulteta u Zagrebu od strane Belščak - Cvitanović i suradnika iz 2012. godine. U tom istraživanju proučavale su se mliječne čokolade (30% kakao dijelova), čokolade za kuhanje (38% kakao dijelova) i tamne čokolade (70% kakao dijelova) s hrvatskog tržišta (Belščak – Cvitanović i sur., 2012). Analitički podaci za kave uzeti su iz istraživanja Niseteo i suradnika s Prehrabeno – biotehnološkog fakulteta u Zagrebu iz 2012. godine. Količina kofeina u različitim uzorcima kave dobivena je metodom tekućinske kromatografije visoke

djelotvornosti (HPLC – PDA) (Niseteo i sur., 2012). Analitički podaci za čajeve s hrvatskog tržišta uzeti su iz istraživanja Komes i suradnika s Prehrambeno – biotehnološkog fakulteta u Zagrebu iz 2009. godine. Količina kofeina u uzorcima određena je koristeći četiri različite metode: ekstrakcija s kloroformom, mikrometoda, metoda s olovo acetatom i tekućinska kromatografija visoke djelotvornosti (HPLC – PDA) (Komes i sur., 2009).

3.2.2. SUPLEMENTACIJA

Izvor kofeina korišten u istraživanju je *Red Bull Sugarfree* (250 mL) te ovisno o dozi koja je bila potrebna za određenog ispitanika u *Red Bull Sugarfree* (80 mg kofeina u 250 mL) se dodala točna doza topljivog kofeina u prahu kako bi se postigla doza potrebna ispitaniku s obzirom na njegovu tjelesnu masu (ili 3 mg kg^{-1} ili 6 mg kg^{-1}) (Candow i sur., 2009). Sastav *Red Bull Sugarfree* prikazan je u tablici 5 za količinu od 250 mL napitka (Eckerson i sur., 2013). Kofein u prahu korišten u istraživanju je kofein u prahu proizvođača Proteos, 100% anhidrid bez aditiva i sladila, odlično topljiv u vodi (HACCP, ISO 9001). Vaganje kofeina u prahu provedeno je na analitičkoj vagi s Prehrambeno – biotehnološkog fakulteta u Zagrebu (proizvođač: YMC CHYO, tip: JK 180, tvor.br.: 91764, razred točnosti: 1, podjeljak d_d : 0,1 mg, isp. podj. e.: 1 mg, max.: 180 g, min.: 100 mg, god. izrade: 1997, sl. oznaka: M – 1 – 9).

Tablica 5. Sastav *Red Bull Sugarfree* u 250 mL napitka (Eckerson i sur., 2013)

SASTOJCI	KOLIČINA
Energetska vrijednost	~ 7,5 kcal
Kofein	80 mg
Taurin	1000 mg
Glukuronolakton	600 mg
Natrij	100 mg
Ugljikohidrati	< 2 g
Šećeri	0 g
Proteini	< 0,5 g
Niacin	20 mg
Pantotenska kiselina	5 mg
Vitamin B6	5 mg

Vitamin B12	5.0 µg
Aspartam	Nedefinirana količina
Acesulfam - K	Nedefinirana količina

Placebo korišten u istraživanju uzet je po uzoru na istraživanje Astorina i suradnika iz 2012. godine. Sastoji se od 190 mL *Canada Dry Ginger ale* (kofein – free; taurin – free; bez šećera), te 60 mL mješavine instant napitka Bolero s okusom limuna i sladila (bez šećera) i hladne vode (po uzoru na istraživanje Astorina i suradnika gdje su koristili mješavinu instant napitka *Crystal Light* s limunom i hladne vode) (Astorino i sur., 2012). Mješavina Bolero napitka i hladne vode iznosi 9 g instant napitka na 1 L hladne vode. S obzirom da *Crystal Light* s limunom nema na hrvatskom tržištu, uzet je instant Bolero napitak koji je po sastavu gotovo jednak kao i *Crystal Light*. Placebo također kao i *Red Bull Sugarfree* ne sadržava šećer.

Količina napitka koja se daje ispitanicima je 250 mL (Astorino i sur., 2012), a nalazi se u neprozirnoj plastičnoj boci (Forbes i sur., 2007) od 500 mL na kojoj je napisano ime ispitanika. Na taj način ispitanik ne može predvidjeti karakteristike napitka. Ispitanici ne znaju koji izvor kofeina je korišten, o kojim napicima se radi, koju količinu napitka su dobili niti jesu li dobili kofein ili ne na određenom mjerenju. Na taj način minimaliziran je psihološki utjecaj ispitanika na rezultate.

3.2.3. PROTOKOL ISTRAŽIVANJA

Svako od tri mjerenja izgleda jednako. Sat vremena prije početka mjerenja ispitanici popiju dobiveni napitak (250 mL) u prisutnosti ispitivača u roku od pet minuta te odmaraju do početka mjerenja uz upute od strane ispitivača na koji način će odraditi koju vježbu te kako će mjerenje izgledati u detalje. Period od 60 minuta uzet je jer je to približno vrijeme potrebno kofeinu da dosegne vrhunac djelovanja u organizmu (Graham, 2001). Nakon tih sat vremena odrade standardno desetominutno zagrijavanje (Foskett i sur., 2009; Astorino i sur., 2012). Ispitanicima je rečeno da na svim mjerenjima i u svim vježbama daju najbolje od sebe.

Nakon zagrijavanja mjeri se izdržljivost i stabilnost putem plank testa (Slika 1). Plank test je vježba kojom mjerimo izdržljivost s obzirom da je to vježba koja aktivira sve skupine mišića. Istraživanje Tonga i suradnika iz 2014. godine dokazalo je valjanost, pouzdanost i praktičnost plank testa kao metode za procjenu izdržljivosti mišića kod sportaša (Tong i sur., 2014). Osim

izdržljivosti plank test je valjana metoda za mjerenje stabilnosti kod sportaša jer je to vježba koja aktivira veliki raspon motoričkih neurona unutar jezgre mišića (Herring i sur., 2017). Ispitanici su imali pravo na probni plank test, te im je ukazano na pravilno izvođenje testa (podlaktice na podu, leđa u ravnom položaju, pravilan položaj glave, stopala u usporednom položaju). Svi ispitanici na znak ispitivača stanu u plank položaj te na znak zviždaljke dižu bokove i kreće mjerenje izdržljivosti i stabilnosti. Vrijeme izdržaja svakog ispitanika bilježi se štopericom i zapisuje.



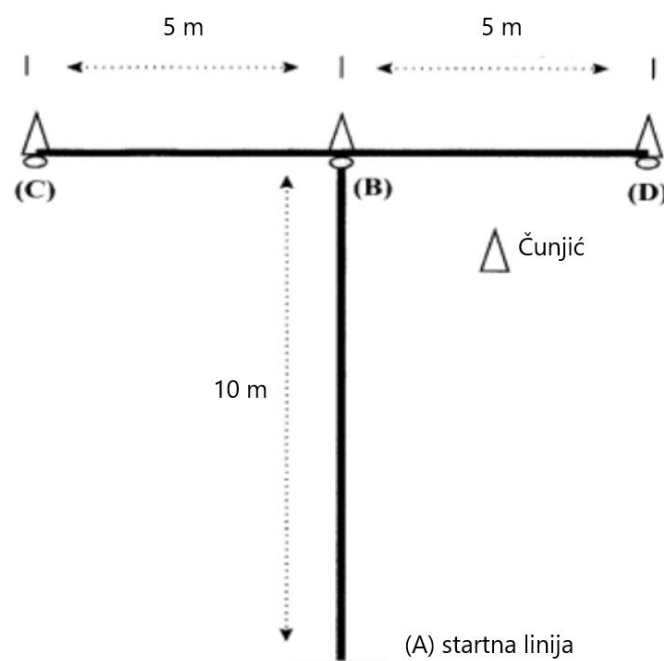
Slika 1. Plank test – položaj ispitanika

Nakon plank testa ispitanici imaju pet minuta odmora, te se odmah nakon pauze mjeri eksplozivnost putem vježbe skok u dalj s mjesta. Skok u dalj s mjesta je jedan od validiranih testova za mjerenje eksplozivnosti što dokazuje istraživanje Markovića i suradnika iz 2004. godine. Različiti skokovi kao testovi koriste se u mjerenju eksplozivnosti kod sportaša, a jedan od njih je skok u dalj s mjesta. Taj test pokazao je visoki koeficijent pouzdanosti kod mjerenja eksplozivnosti (Marković i sur., 2004). Ispitanik je smješten iza startne linije koja je označena na podlozi s razmaknutim nogama i paralelnim razmakom među stopalima (15 – 20 cm). Prsti dodiruju startnu liniju. Priprema za skok uključuje produžetak ramena i fleksiju koljena potičući svoje tijelo naprijed što je više moguće brzinom i silom. Nakon skoka na podlogu (Elan strunjača), ispitanik ostaje u položaju doskoka i mjeri se udaljenost prvog kontakta pete s podlogom i startne linije. Duljina skoka mjeri se metalnim metrom u centrimetrima. Svaki ispitanik ima pravo na tri uzastopna skoka (s pauzom od deset sekundi između svakog skoka), a kao rezultat uzet je najbolji skok. Ispitanici su imali pravo na probni skok u dalj s mjesta.

Nakon skoka u dalj s mjesta i petominutnog odmora, slijedi mjerenje agilnosti putem T – testa. Dokazana je pouzdanost T – testa kao testa za mjerenje agilnosti, snage u nogama, te brzine u nogama. Može se koristiti kod ispitanika koji su profesionalni i rekreativni sportaši (Paoule i

sur., 2000). Plan izvedbe T - testa prikazan je na slici 2, a preuzet je od Semenicka (Semenick, 1990) s minimalnim modifikacijama. Na slici 2 A predstavlja startnu liniju od koje ispitanik kreće, stopalima je izvan startne linije u poluisokom startu. Na poziciji B, C i D postavljeni su niski čunjići. Ispitanik na zvuk zviždaljke kreće sa startne linije, dodiruje čunjić B, potom čunjić C, onda čunjić D, vraća se do čunjića B, dodiruje ga i trčanjem unatrag prolazi startnu liniju te završava test. Čunjiće dodiruje desnom rukom. T – test mora odraditi najbrže moguće.

Svaki od ispitanika također ima pravo na tri uzastopno odrađena T – testa (s pauzama od deset sekundi između svakog), te se kao rezultat uzima vremenski najbolje odrađeni T – test (Paule i sur., 2000). Znak za početak je zvuk zviždaljke, a vrijeme se mjeri štopericom. Ispitanici su imali pravo na probni T – test.



Slika 2. T – test plan izvedbe prema Semenicku s modifikacijama (Semenick, 1990)

Odmah nakon odrađenih svih vježbi i mjerenja svaki od ispitanika ispunjava RPE skalu te bilježi subjektivno procijenjen osjećaj napora za odrađeno mjerenje. RPE skala korištena u istraživanju je Borgova skala CR – 10 za procjenu percipiranog napora (Prilog 4). Dokazana je pouzdanost i validnost mjerenja percipiranog napora Borgovom skalom CR – 10 kod zdravih odraslih sportaša (Ritchie, 2012).

3.2.4. OBRADA PODATAKA

Podaci su obrađeni u Microsoft Excelu.

Računat je prosjek i standardna devijacija za podatke: dob, tjelesna masa, tjelesna visina i indeks tjelesne mase (ITM) (Tablica 4).

Za podatke dobivene RPE skalom (za placebo, dozu od 3 mg kg⁻¹ tjelesne mase i dozu od 6 mg kg⁻¹ tjelesne mase) računat je χ^2 test homogenosti populacija kako bi se dokazalo utječe li unos određene doze kofeina na smanjenje osjećaja napora kod ispitanika (n = 16). χ^2 test homogenosti populacija koristi se kad nas zanima razdioba istog diskretnog statističkog obilježja u raznim populacijama (u ovom slučaju različite doze kofeina: 0 mg kg⁻¹ tjelesne mase, 3 mg kg⁻¹ tjelesne mase, 6 mg kg⁻¹ tjelesne mase). Rezultat koji je dobiven uspoređen je s tablicom razdiobe za χ^2 test kako bi se početna hipoteza odbacila ili prihvatila.

Za rezultate najboljeg skoka u dalj, plank testa i najboljeg T – testa računata je analiza varijance ANOVA. Analiza varijance ANOVA koristi se za usporedbu više od dvije normalno distribuirane populacije (u ovom slučaju tri populacije – placebo, doza od 3 mg kg⁻¹ tjelesne mase, 6 mg kg⁻¹ tjelesne mase). Granična p - vrijednost za prihvaćanje ili odbacivanje hipoteze je 0,05 (razina značajnosti testa). Prije analize varijance ANOVA računat je F – test kako bi se prvotno vidjelo je li podaci imaju istu varijancu. Nakon analize varijance ANOVA, t - testom provjereno je koje populacije se međusobno statistički značajno razlikuju (placebo i 3 mg kg⁻¹ tjelesne mase, placebo i 6 mg kg⁻¹ tjelesne mase, 3 mg kg⁻¹ tjelesne mase i 6 mg kg⁻¹ tjelesne mase) kako bi se dobili točniji podaci o statističkoj značajnosti između različitih doza kofeina i rezultata svakog pojedinog testa (skok u dalj, plank, T – test). T – test se koristi kod usporedbe dvije normalno distribuirane populacije.

F – test i t - test su također korišteni kako bi se usporedilo postoji li statistički značajna razlika između procjene uobičajenog dnevnog unosa kofeina procijenjenog trodnevnim dnevnikom prehrane i upitnikom o konzumaciji hrane (FFQ).

Uobičajeni dnevni unos kofeina svakog ispitanika uspoređen je s njegovim rezultatima plank testa i najboljeg rezultata skoka u dalj s mjesta nakon konzumacije doze kofeina od 6 mg kg⁻¹ tjelesne mase kako bi se dokazalo postoji li povezanost između uobičajenog dnevnog unosa kofeina i rezultata testiranja. Računat je Pearsonov koeficijent korelacije kako bi se vidjelo je li veća uobičajena dnevna doza kofeina utječe na bolji rezultat u testovima.

4. REZULTATI I RASPRAVA

Cilj ovog rada je bio istražiti postoji li utjecaj kofeina na poboljšanje sportske izvedbe kod mladih rekreativnih sportaša. Izvor kofeina je *Red Bull Sugarfree* uz dodatak topljivog kofeina u prahu, a sportska izvedba je uključivala tri testa: skok u dalj s mjesta za mjerenje eksplozivnosti, plank test za mjerenje izdržljivosti i stabilnosti, T – test za mjerenje agilnosti. Ispitanici su mladi rekreativni sportaši prosjeka godina $24,4 \pm 2,03$. Cilj je također bio odrediti dozu kofeina koja poboljšava izvedbu u navedenim testovima, te postoji li povezanost uobičajene dnevne konzumacije kofeina ispitanika s rezultatima sportske izvedbe. Isto tako, određena je povezanost konzumacije kofeina u različitim dozama sa subjektivnom percepcijom napora.

U tablici 4 prikazani su dob i antropološke karakteristike (tjelesna masa, tjelesna visina, indeks tjelesne mase) 16 ispitanika muškog spola uključenih u istraživanje.

Prema podacima prikupljenima dnevnikom prehrane i upitnikom o učestalosti konzumacije hrane (FFQ) u tablici 6 prikazani su uobičajeni dnevni unosi kofeina u miligramima svih 16 ispitanika. Dnevnik prehrane uključivao je tri dana, a upitnik o učestalosti konzumacije hrane jedan dan. Dobiveni su podaci za dnevnu konzumaciju kofeina za četiri dana na razini svakog ispitanika. Izračunat je prosjek od četiri dana te taj podatak predstavlja uobičajeni dnevni unos kofeina u miligramima za svakog ispitanika. U tablici 6 također je prikazan i dnevni unos kofeina svakog ispitanika izražen u mg kg^{-1} tjelesne mase. Prosječan dnevni unos kofeina u miligramima je 41,14 mg, a izražen u mg kg^{-1} iznosi 0,513 što je relativno nizak unos kofeina s obzirom na prosjek. Može se primjetiti kako nijedan ispitanik ne unosi više od $1,307 \text{ mg kg}^{-1}$ tjelesne mase kofeina. Postotak ispitanika koji uopće ne unose kofein iznosi 12,5 %, ispitanici koji unose 0 do 1 mg kg^{-1} tjelesne mase na dan čine 68,75% ispitanika, a oni koji unose više od 1 mg kg^{-1} tjelesne mase na dan čine 18,75% ispitanika. Ne postoje ispitanici koji unose 2 mg kg^{-1} ili više kofeina na dan. Iz tablice 6 primjećujemo kako je najveći postotak onih koji unose manje od 1 mg kg^{-1} tjelesne mase kofeina na dan.

Tablica 6. Uobičajeni dnevni unos kofeina dobiven iz dnevnika prehrane i upitnika o učestalosti konzumacije hrane izražen u miligramima i s obzirom na tjelesnu masu ispitanika ($\bar{x} \pm SD$) (n = 16)

Ispitanici (n = 16)	Dnevni unos kofeina (mg)	Dnevni unos kofeina (mg kg ⁻¹ tjelesne mase)
Ispitanik 1	1,80 ± 1,800	0,021
Ispitanik 2	6,19 ± 3,576	0,079
Ispitanik 3	59,98 ± 31,456	0,652
Ispitanik 4	24,23 ± 38,904	0,279
Ispitanik 5	68,63 ± 39,621	0,807
Ispitanik 6	103,10 ± 25,068	1,242
Ispitanik 7	5,13 ± 4,535	0,068
Ispitanik 8	57,63 ± 37,809	0,800
Ispitanik 9	1,80 ± 1,800	0,021
Ispitanik 10	0	0
Ispitanik 11	98,68 ± 50,982	1,147
Ispitanik 12	44,95 ± 28,018	0,607
Ispitanik 13	91,50 ± 0	1,307
Ispitanik 14	0	0
Ispitanik 15	46,65 ± 46,667	0,598
Ispitanik 16	48,00 ± 45,358	0,578

U tablici 7 prikazan je uobičajeni dnevni unos kofeina procijenjen trodnevnikom prehrane u usporedbi s uobičajenim dnevnim unosom kofeina procijenjen upitnikom o konzumaciji hrane u miligramima na dan (FFQ) ($\bar{x} \pm SD$) (n = 16). Prosječan dnevni unos kofeina dobiven iz trodnevnog dnevnika prehrane iznosi 33,68 mg, a dobiven iz FFQ – a 63,52 mg. Utvrđeno je da ne postoji statistički značajna razlika između uobičajenog dnevnog unosa kofeina procijenjenog dnevnikom prehrane i FFQ – om ($p > 0,05$) te je iz tog razloga uzet prosjek od sva četiri dana što predstavlja uobičajeni dnevni unos kofeina ispitanika prikazan u tablici 6.

Tablica 7. Uobičajeni dnevni unos kofeina procijenjen trodnevnikom prehrane u usporedbi s uobičajenim dnevnim unosom kofeina procijenjenog upitnikom o konzumaciji hrane (FFQ) ($\bar{x} \pm SD$) (n = 16) (p > 0,05)

Ispitanici (n = 16)	Dnevni unos kofeina procijenjen trodnevnikom prehrane (mg)	Dnevni unos kofeina procijenjen FFQ – om (mg)
Ispitanik 1	1,20 ± 1,70	3,60
Ispitanik 2	4,85 ± 3,15	10,20
Ispitanik 3	48,27 ± 27,77	95,10
Ispitanik 4	1,80 ± 2,55	91,50
Ispitanik 5	61,00 ± 43,13	91,50
Ispitanik 6	89,50 ± 9,90	143,90
Ispitanik 7	6,83 ± 3,97	0
Ispitanik 8	46,33 ± 37,36	91,50
Ispitanik 9	1,20 ± 1,70	3,60
Ispitanik 10	0	0
Ispitanik 11	86,79 ± 53,85	134,36
Ispitanik 12	34,43 ± 24,58	76,50
Ispitanik 13	91,50 ± 0	91,50
Ispitanik 14	0	0
Ispitanik 15	31,70 ± 44,83	91,50
Ispitanik 16	33,50 ± 43,61	91,50

Izvori kofeina koji su se našli u dnevnicima prehrane i upitnicima o učestalosti konzumacije hrane (FFQ) uključivali su razne vrste kave (espresso, turska kava, instant cappuccino, vruća čokolada), čajevi (zeleni čaj), razne vrste čokolade (mliječna čokolada – 30% kakao dijelova, čokolada za kuhanje – 38% kakao dijelova, tamna čokolada – 70% kakao dijelova), gazirana pića (Pepsi Cola, Coca Cola). Ukupni unos kofeina kod svih ispitanika zajedno iznosio je 2653,10 mg. Kave su činile 81,83% ukupnog unosa kofeina, čajevi 7,16% ukupnog unosa kofeina, čokolade 7,41%, a gazirana pića 3,60%. Vrste kava koje su bile zastupljene u dnevniku prehrane i upitniku o učestalosti konzumacije hrane su: espresso s 1738,50 mg kofeina (65,53%), turska kava s 268,72 mg kofeina (10,13%), instant cappuccino s 153,00 mg kofeina (5,77%) i vruća čokolada s 10,80 mg kofeina (0,41%). Od čajeva zastupljen je bio samo zeleni

čaj s 190,00 mg kofeina (7,16%). Izvori čokolade koji su bili zastupljeni su: mliječna čokolada s 30% kakao dijelova u iznosu od 64,80 mg kofeina (2,44%), čokolada za kuhanje s 38% kakao dijelova u iznosu od 40,80 mg kofeina (1,54%) i tamna čokolada s 70% kakao dijelova u iznosu od 90,88 mg kofeina (3,43%). Od gaziranih pića zastupljeni su bili samo Pepsi Cola s 54,00 mg kofeina (2,04%) i Coca Cola s 41,60 mg kofeina (1,57%) (Tablica 8). Iz tablice 8 možemo zaključiti da je najučestaliji izvor kofeina kod ispitanika kava (81,83%) i to espresso s 65,53%. Izvor kofeina koji je najmanje zastupljen kod ispitanika su gazirana pića s 3,60%, a od namirnica vruća čokolada s 0,41% od ukupnog unosa kofeina.

Tablica 8. Izvori unosa kofeina procijenjeni dnevnikom prehrane i upitnikom o učestalosti konzumacije hrane (FFQ) u miligramima i izraženi postotkom u odnosu na ukupni unos kofeina

Izvor kofeina	Količina kofeina (mg)	% ukupnog unosa kofeina
KAVE	2171,02	81,83
Espresso	1738,50	65,53
Turska kava	268,72	10,13
Instant cappuccino	153,00	5,77
Vruća čokolada	10,80	0,41
ČAJEVI	190,00	7,16
Zeleni čaj	190,00	7,16
ČOKOLADE	196,48	7,41
Mliječna čokolada	64,80	2,44
Čokolada za kuhanje	40,80	1,54
Tamna čokolada	90,88	3,43
GAZIRANA PIĆA	95,60	3,60
Pepsi Cola	54,00	2,04
Coca Cola	41,60	1,57

Na slici 3 prikazani su rezultati plank testa izraženi u minutama nakon konzumacije placebo (plavi stupac), doze kofeina od 3 mg kg⁻¹ tjelesne mase (crveni stupac), doze kofeina od 6 mg kg⁻¹ tjelesne mase (zeleni stupac) kod svih 16 ispitanika. Kod svih ispitanika najbolji rezultat plank testa ostvaren je pri dozi kofeina od 6 mg kg⁻¹ tjelesne mase što je i bilo očekivano. Što

se tiče najslabijih rezultata kod većine ispitanika je to rezultat nakon konzumacije placeba (87,5% ispitanika), dok je kod ispitanika 1 i ispitanika 7 (12,5%) najslabiji rezultat nakon konzumacije doze kofeina od 3 mg kg⁻¹ tjelesne mase. Kod te dvojice ispitanika rezultat pri dozi od 3 mg kg⁻¹ tjelesne mase i rezultat nakon placeba ne razlikuju se značajno, gotovo da su jednaki (kod ispitanika 1 rezultat nakon konzumacije placeba je 1,31 min, a pri dozi od 3 mg kg⁻¹ tjelesne mase 1,16 min; kod ispitanika 7 rezultat nakon konzumacije placeba je 1,24 min, a pri dozi od 3 mg kg⁻¹ tjelesne mase 1,23 min).

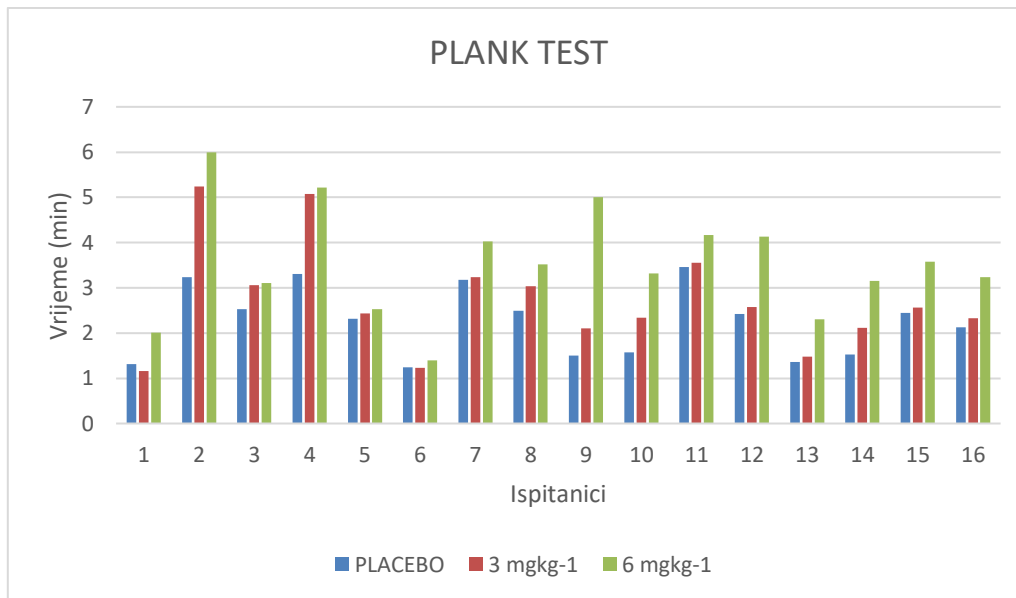
F – testom prihvaćena je jednakost varijanci između rezultata placeba, doze kofeina od 3 mg kg⁻¹ tjelesne mase i doze kofeina od 6 mg/kg tjelesne mase. P vrijednost za F – test između placeba i 3 mg kg⁻¹ kofeina je 0,116, između placeba i 6 mg kg⁻¹ kofeina je 0,090, a između 3 mg kg⁻¹ kofeina i 6 mg kg⁻¹ kofeina 0,894 (Tablica 9).

ANOVA test je proveden, te je dobiven $p = 0,004$. S obzirom da je vrijednost manja od 0,05 zaključak je da su rezultati plank testa statistički značajno različiti što dokazuje poboljšanje sportske izvedbe za plank test kod viših doza kofeina (u ovom slučaju doza od 6 mg kg⁻¹ tjelesne mase) u usporedbi s nekonsumacijom kofeina.

T – testom prihvaćena je statistički značajna razlika između rezultata placeba i doze kofeina od 6 mg kg⁻¹ tjelesne mase ($p = 0,001$; $p < 0,05$), a između rezultata doze kofeina od 3 mg kg⁻¹ tjelesne mase i doze kofeina od 6 mg kg⁻¹ tjelesne mase ($p = 0,060$) te rezultata placeba i doze od 3 mg kg⁻¹ tjelesne mase ($p = 0,190$) nije dokazana statistički značajna razlika ($p > 0,05$) (Tablica 10).

Prema tome, zaključak je da doza kofeina od 6 mg kg⁻¹ tjelesne mase značajno poboljšava izvedbu plank testa u usporedbi s placebom.

Na slici 4 prikazana je usporedba rezultata plank testa svih 16 ispitanika s placebom i nakon doze kofeina od 6 mg kg⁻¹. Iz grafa se iščitava kako svi ispitanici imaju bolji rezultat plank testa nakon doze kofeina od 6 mg kg⁻¹ u usporedbi s placebom. Postotak poboljšanja rezultata nakon konzumacije doze kofeina od 6 mg kg⁻¹ tjelesne mase u usporedbi s placebom u plank testu je prosječno 64%. Najveći postotak poboljšanja pokazuje ispitanik 9 s čak 233% boljim rezultatom nakon doze kofeina od 6 mg kg⁻¹ u usporedbi s placebom, a ispitanik 5 ima najmanji postotak poboljšanja od 9%. (Tablica 11).



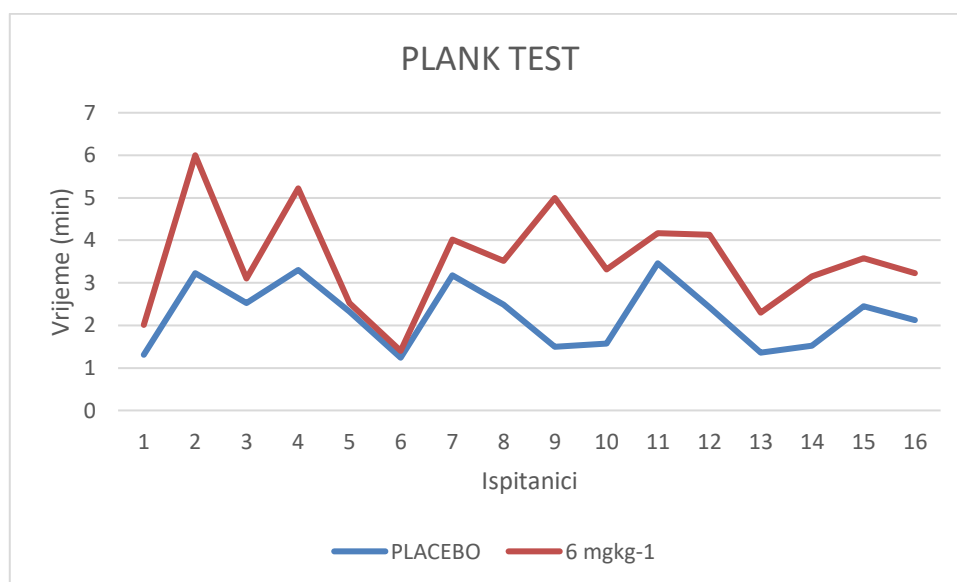
Slika 3. Rezultati plank testa izraženi u minutama s obzirom na konzumiranu dozu kofeina (n = 16) (p < 0,05)

Tablica 9. F – test za rezultate plank testa kod placeba, doze kofeina od 3 mg kg⁻¹ tjelesne mase i doze kofeina od 6 mg kg⁻¹ tjelesne mase (n = 16)

PLANK TEST	Placebo i 3 mg kg ⁻¹	Placebo i 6 mg kg ⁻¹	3 mg kg ⁻¹ i 6 mg kg ⁻¹
Rezultat F – testa (p – vrijednost)	0,116	0,090	0,894

Tablica 10. T - test za rezultate plank testa kod placeba, doze kofeina od 3 mg kg⁻¹ tjelesne mase i doze kofeina od 6 mg kg⁻¹ tjelesne mase (n = 16)

PLANK TEST	Placebo i 3 mg kg ⁻¹	Placebo i 6 mg kg ⁻¹	3 mg kg ⁻¹ i 6 mg kg ⁻¹
Rezultat t- testa (p - vrijednost)	0,190	0,001	0,060



Slika 4. Usporedba rezultata plank testa izraženog u minutama s placeboom i dozom kofeina od 6 mg kg⁻¹ tjelesne mase (n = 16)

Tablica 11. Postotak poboljšanja rezultata plank testa nakon konzumacije doze od 6 mg kg⁻¹ tjelesne mase u usporedbi s placeboom (n = 16)

Ispitanici (n = 16)	Rezultat plank testa – placebo (min)	Rezultat plank testa – doza kofeina 6 mg kg ⁻¹ (min)	Postotak poboljšanja rezultata (%)
Ispitanik 1	1,31	2,01	53
Ispitanik 2	3,23	6	86
Ispitanik 3	2,53	3,10	23
Ispitanik 4	3,30	5,22	58
Ispitanik 5	2,32	2,53	9
Ispitanik 6	1,24	1,40	13
Ispitanik 7	3,18	4,02	26
Ispitanik 8	2,49	3,52	41
Ispitanik 9	1,50	5,00	233
Ispitanik 10	1,57	3,32	111
Ispitanik 11	3,46	4,17	21
Ispitanik 12	2,42	4,13	71

Ispitanik 13	1,36	2,30	69
Ispitanik 14	1,52	3,15	107
Ispitanik 15	2,45	3,58	46
Ispitanik 16	2,13	3,23	52
Prosječni postotak poboljšanja rezultata			64 %

Na slici 5 prikazani su rezultati skoka u dalj s mjesta izraženi u metrima nakon konzumacije placeba (plavi stupci), doze kofeina od 3 mg kg⁻¹ tjelesne mase (crveni stupci) i doze kofeina od 6 mg kg⁻¹ tjelesne mase (zeleni stupci). Kod većine ispitanika (56,25%) najbolji rezultat skoka u dalj s mjesta postignut je pri dozi od 6 mg kg⁻¹. Kod 25% ispitanika najbolji rezultat postignut je pri dozi kofeina od 3 mg kg⁻¹ tjelesne mase. Kod ispitanika 1 (6,25%) najbolji rezultat je postignut nakon konzumacije placeba. Kod dvojice ispitanika (12,5%) najbolji rezultati su postignuti pri istim dozama kofeina. Kod ispitanika 8 rezultat od 2,51 m postignut je i pri dozi od 3 mg kg⁻¹ tjelesne mase i pri dozi kofeina od 6 mg kg⁻¹ tjelesne mase. Kod ispitanika 16 najbolji rezultat od 2,38 m postignut je kod konzumacije placeba i doze kofeina od 3 mg kg⁻¹ tjelesne mase.

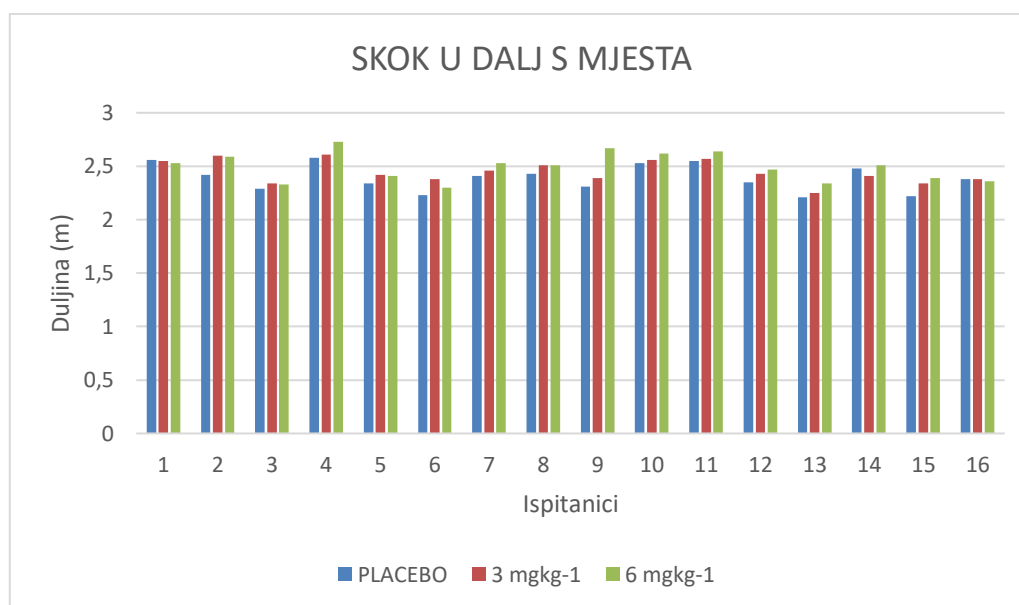
F – testom prihvaćena je jednakost varijanci između rezultata za placebo, dozu kofeina od 3 mg kg⁻¹ tjelesne mase i dozu kofeina od 6 mg kg⁻¹ tjelesne mase. P - vrijednost za F – test između rezultata placeba i 3 mg kg⁻¹ kofeina je 0,565, između placeba i 6 mg kg⁻¹ kofeina je 0,802, a između rezultata doze kofeina 3 mg kg⁻¹ i doze od 6 mg kg⁻¹ iznosi 0,409 (Tablica 12).

ANOVA test je proveden, te je dobivena p = 0,052. Time nije dokazana statistička značajnost rezultata za placebo ili neku od doza kofeina (3 mg kg⁻¹ tjelesne mase ili 6 mg kg⁻¹ tjelesne mase) s obzirom da je p > 0,05.

Provedbom t - testa dokazana je statistička značajnost između rezultata skoka u dalj s mjesta s placebom i s dozom kofeina od 6 mg kg⁻¹ tjelesne mase (p = 0,031; p < 0,05). P vrijednost je veća od 0,05 kad se uspoređuju rezultati skoka u dalj s mjesta s placebom i dozom od 3 mg kg⁻¹ tjelesne mase (p = 0,172) ili rezultati s dozom kofeina od 3 mg kg⁻¹ tjelesne mase i 6 mg kg⁻¹ tjelesne mase (p = 0,289) što ne pokazuje statistički značajnu razliku (Tablica 13).

Prema ovim podacima zaključak je da kofein u dozi od 6 mg kg⁻¹ tjelesne mase značajno poboljšava sportsku izvedbu skoka u dalj s mjesta u usporedbi s placebom tj. nekonzumiranjem kofeina prije izvedbe skoka u dalj s mjesta.

Na slici 6 prikazani su rezultati skoka u dalj s mjesta svih ispitanika s placebom i dozom kofeina od 6 mg kg^{-1} tjelesne mase. Gotovo svi ispitanici imaju bolji rezultat skoka u dalj s mjesta s dozom kofeina od 6 mg kg^{-1} . Ispitanik 9 pokazuje najbolje poboljšanje rezultata s 16%. Dvojica ispitanika (ispitanik 1 i ispitanik 16) imaju pogoršanje rezultata skoka u dalj s mjesta nakon doze kofeina od 6 mg/kg u usporedbi s placebom (-1%). Prosječni postotak poboljšanja izvedbe skoka u dalj s mjesta nakon konzumacije doze kofeina od 6 mg/kg tjelesne mase u odnosu na placebo iznosi 4% (Tablica 14).



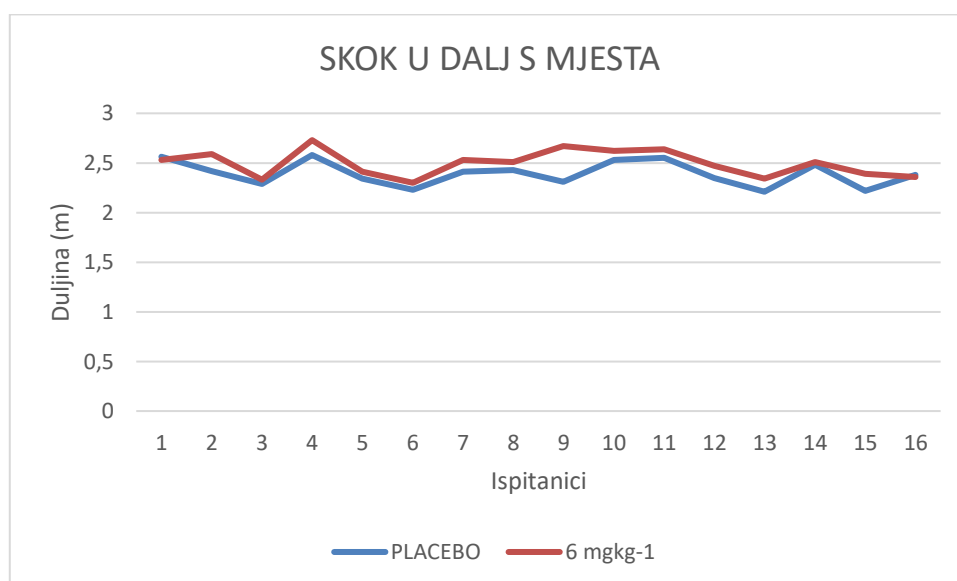
Slika 5. Rezultati skoka u dalj izraženi u metrima s mjesta s obzirom na konzumiranu dozu kofeina ($n = 16$) ($p > 0,05$)

Tablica 12. F – test za rezultate skoka u dalj s mjesta kod placeba, doze kofeina od 3 mg kg^{-1} tjelesne mase i doze kofeina od 6 mg kg^{-1} tjelesne mase ($n = 16$)

SKOK U DALJ S MJESTA	Placebo i	Placebo i	3 mg kg^{-1} i
	3 mg kg^{-1}	6 mg kg^{-1}	6 mg kg^{-1}
Rezultat F – testa (p – vrijednost)	0,565	0,802	0,409

Tablica 13. T - test za rezultate skoka u dalj s mjesta kod placeba, doze kofeina od 3 mg kg⁻¹ tjelesne mase i doze kofeina od 6 mg kg⁻¹ tjelesne mase (n = 16)

SKOK U DALJ S MJESTA	Placebo i 3 mg kg ⁻¹	Placebo i 6 mg kg ⁻¹	3 mg kg ⁻¹ i 6 mg kg ⁻¹
Rezultat t- testa (p - vrijednost)	0,172	0,031	0,289



Slika 6. Usporedba rezultata skoka u dalj s mjesta izraženog u minutama s placebo i dozom kofeina od 6 mg kg⁻¹ tjelesne mase (n = 16)

Tablica 14. Postotak poboljšanja rezultata skoka u dalj s mjesta nakon konzumacije doze od 6 mg kg⁻¹ tjelesne mase u usporedbi s placebo (n = 16)

Ispitanici (n = 16)	Rezultat skoka u dalj s mjesta – placebo (m)	Rezultat skoka u dalj s mjesta – doza kofeina 6 mg kg ⁻¹ (m)	Postotak poboljšanja rezultata (%)
Ispitanik 1	2,56	2,53	-1

Ispitanik 2	2,42	2,59	7
Ispitanik 3	2,29	2,33	2
Ispitanik 4	2,58	2,73	6
Ispitanik 5	2,34	2,41	3
Ispitanik 6	2,23	2,30	3
Ispitanik 7	2,41	2,53	5
Ispitanik 8	2,43	2,51	3
Ispitanik 9	2,31	2,67	16
Ispitanik 10	2,53	2,62	4
Ispitanik 11	2,55	2,64	4
Ispitanik 12	2,35	2,47	5
Ispitanik 13	2,21	2,34	6
Ispitanik 14	2,48	2,51	1
Ispitanik 15	2,22	2,39	8
Ispitanik 16	2,38	2,36	-1
Prosječni postotak poboljšanja rezultata			4%

Na slici 7 prikazani su rezultati T – testa izraženi u sekundama nakon konzumacije placeba (plavi stupci), doze kofeina od 3 mg kg⁻¹ tjelesne mase (crveni stupci) i doze kofeina od 6 mg kg⁻¹ tjelesne mase (zeleni stupci). Najveći broj ispitanika (62,5%) najbolji rezultat T – testa ima nakon konzumacije doze kofeina od 6 mg kg⁻¹ tjelesne mase. 18,75% ispitanika ima najbolji rezultat T – testa nakon konzumacije placeba i isto toliko (18,75%) ispitanika ima najbolji rezultat nakon doze kofeina od 3 mg kg⁻¹ tjelesne mase.

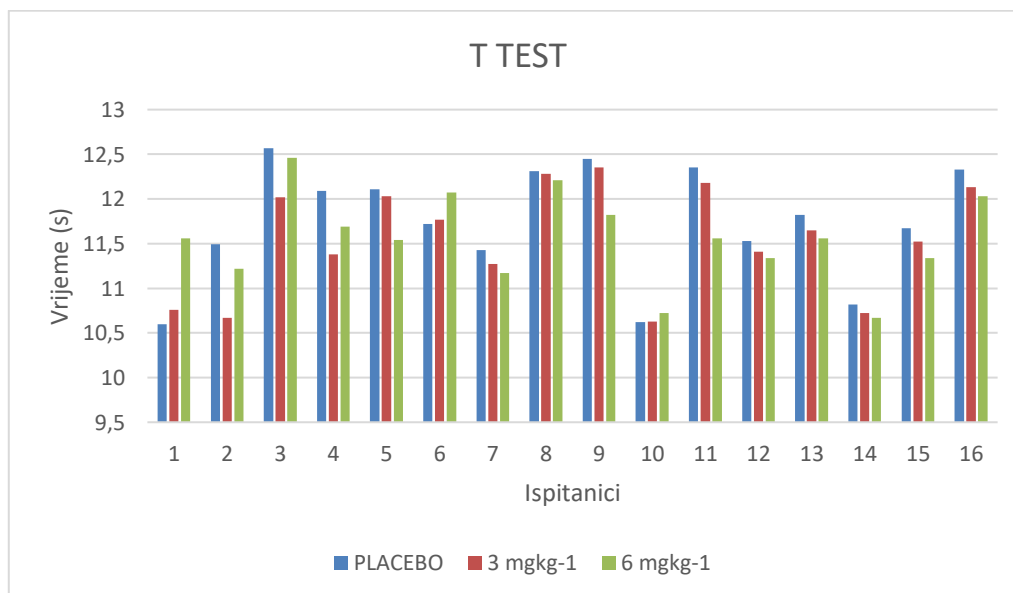
F – testom prihvaćena je jednakost varijanci rezultata T – testa kod ispitanika. P - vrijednost za F – test za rezultate između placeba i 3 mg kg⁻¹ kofeina je 0,835, za rezultate između placeba i

doze kofeina od 6 mg kg⁻¹ tjelesne mase iznosi 0,332, a za rezultate između doze od 3 mg kg⁻¹ i doze od 6 mg kg⁻¹ tjelesne mase iznosi 0,444 (Tablica 15).

ANOVA test je proveden. Dobivena je p - vrijednost koja iznosi 0,399 što dokazuje da ne postoji statistički značajna razlika rezultata ($p > 0,05$) s obzirom na različite doze kofeina.

T – testom provjerena je statistički značajna razlika rezultata s obzirom na različite doze kofeina i također je prihvaćeno da ne postoji statistički značajna razlika kao što je pokazala i ANOVA. Sve vrijednosti su veće od 0,05. P vrijednost za rezultate između placeba i doze kofeina od 3 mg kg⁻¹ tjelesne mase iznosi 0,379, za rezultate placeba i doze od 6 mg kg⁻¹ tjelesne mase je 0,368, a za rezultate između doza kofeina od 3 mg kg⁻¹ tjelesne mase i doze od 6 mg kg⁻¹ je 0,952 (Tablica 16).

Zaključak je da kofein statistički ne poboljšava sportsku izvedbu kod izvođenja T – testa.



Slika 7. Rezultati T - testa izraženi u sekundama s obzirom na konzumiranu dozu kofeina (n = 16) ($p > 0,05$)

Tablica 15. F – test za rezultate T - testa kod placeba, doze kofeina od 3 mg kg⁻¹ tjelesne mase i doze kofeina od 6 mg kg⁻¹ tjelesne mase (n = 16)

T - TEST	Placebo i 3 mg kg ⁻¹	Placebo i 6 mg kg ⁻¹	3 mg kg ⁻¹ i 6 mg kg ⁻¹
Rezultat F – testa (p – vrijednost)	0,835	0,332	0,444

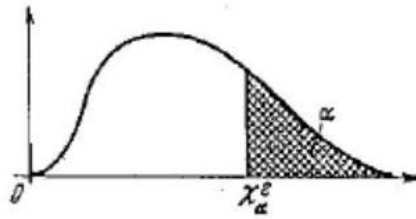
Tablica 16. t- test za rezultate T - testa kod placeba, doze kofeina od 3 mg kg⁻¹ tjelesne mase i doze kofeina od 6 mg kg⁻¹ tjelesne mase (n = 16)

T - TEST	Placebo i 3 mg kg ⁻¹	Placebo i 6 mg kg ⁻¹	3 mg kg ⁻¹ i 6 mg kg ⁻¹
Rezultat t- testa (p - vrijednost)	0,379	0,368	0,952

χ^2 testom homogenosti populacija za rezultate dobivene RPE skalom (Borgova CR – 10 skala) za procjenu napora dobiveni su rezultati: $p = 0,840$, test statistika $H = 1,424$, stupnjevi slobode = 4, $\alpha = 0,05$ (Tablica 17). S obzirom da je $p > 0,05$, zaključak je da su populacije homogene. Iz tablice χ^2 razdbiobe (Slika 8) (Bronstein i Semendjajev, 1991) vidljivo je kako vrijednost test statistike kod χ^2 testa homogenosti populacija 1,4 nije veći od 9,5 što znači da kofein u različitim dozama (placebo, 3 mg kg⁻¹ tjelesne mase i 6 mg kg⁻¹ tjelesne mase) nema utjecaja na percepciju napora kod mladih rekreativnih sportaša. Time je dokazano kako kofein ne utječe na smanjenje osjećaja napora.

Tablica 17. χ^2 test homogenosti populacija za rezultate dobivene RPE skalom kod placeba, doze kofeina od 3 mg kg⁻¹ tjelesne mase i doze kofeina od 6 mg kg⁻¹ tjelesne mase (n = 16)

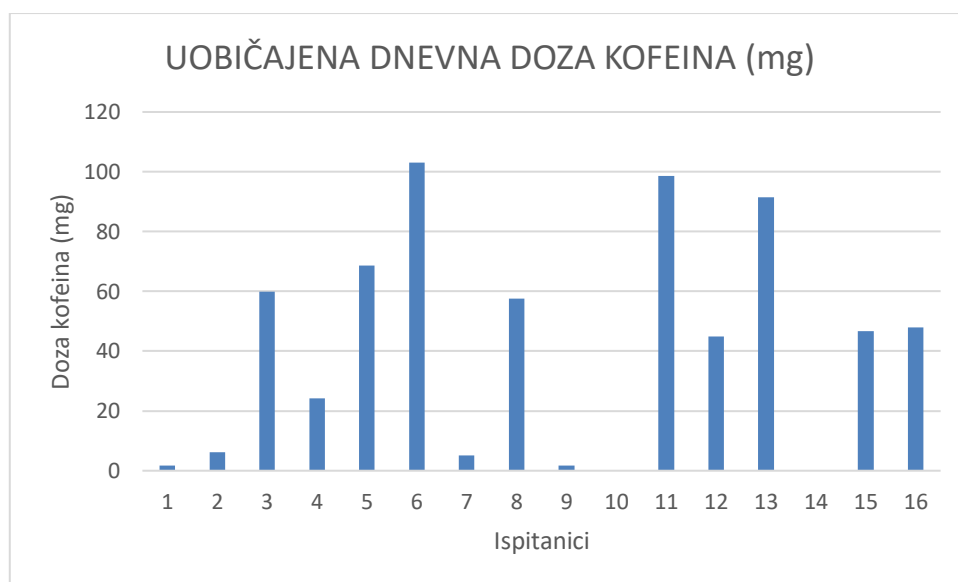
RPE SKALA	p	Stupnjevi slobode	test statistika	α
χ^2 test homogenosti populacija	0,840	4	1,424	0,05



$m \backslash \alpha$	0,99	0,98	0,95	0,90	0,80	0,70	0,50	0,30
1	0,00016	0,0006	0,0039	0,016	0,064	0,148	0,455	1,07
2	0,020	0,040	0,103	0,211	0,466	0,713	1,386	2,41
3	0,115	0,185	0,352	0,584	1,005	1,424	2,366	3,67
4	0,30	0,43	0,71	1,06	1,65	2,19	3,36	4,9
5	0,55	0,75	1,14	1,61	2,34	3,00	4,35	6,1
6	0,87	1,13	1,63	2,20	3,07	3,83	5,35	7,2
7	1,24	1,56	2,17	2,83	3,82	4,67	6,35	8,4
8	1,65	2,03	2,73	3,49	4,59	5,53	7,34	9,5
9	2,09	2,53	3,32	4,17	5,38	6,39	8,34	10,7
10	2,56	3,06	3,94	4,86	6,18	7,27	9,34	11,8
11	3,1	3,6	4,6	5,6	7,0	8,1	10,3	12,9
12	3,6	4,2	5,2	6,3	7,8	9,0	11,3	14,0
13	4,1	4,8	5,9	7,0	8,6	9,9	12,3	15,1
14	4,7	5,4	6,6	7,8	9,5	10,8	13,3	16,2
15	5,2	6,0	7,3	8,5	10,3	11,7	14,3	17,3
16	5,8	6,6	8,0	9,3	11,2	12,6	15,3	18,4
17	6,4	7,3	8,7	10,1	12,0	13,5	16,3	19,5
18	7,0	7,9	9,4	10,9	12,9	14,4	17,3	20,6
19	7,6	8,6	10,1	11,7	13,7	15,4	18,3	21,7
20	8,3	9,2	10,9	12,4	14,6	16,3	19,3	22,8
21	8,9	9,9	11,6	13,2	15,4	17,2	20,3	23,9
22	9,5	10,6	12,3	14,0	16,3	18,1	21,3	24,9
23	10,2	11,3	13,1	14,8	17,2	19,0	22,3	26,0
24	10,9	12,0	13,8	15,7	18,1	19,9	23,3	27,1
25	11,5	12,7	14,6	16,5	18,9	20,9	24,3	28,2
26	12,2	13,4	15,4	17,3	19,8	21,8	25,3	29,2
27	12,9	14,1	16,2	18,1	20,7	22,7	26,3	30,3
28	13,6	14,8	16,9	18,9	21,6	23,6	27,3	31,4
29	14,3	15,6	17,7	19,8	22,5	24,6	28,3	32,5
30	15,0	16,8	18,5	20,6	23,4	25,5	29,3	33,5

Slika 8. χ^2 razdioba (u tablici navedene vrijednosti kvantila $\chi_{1-\alpha}^2 - \alpha^{(m)}$ u ovisnosti o stupnju slobode m i razine značajnosti α) (Bronstein i Semendjajev, 1991)

Na slici 9 prikazane su uobičajene dnevne doze kofeina ispitanika u miligramima koje su uspoređene s rezultatima plank testa s dozom 6 mg kg^{-1} tjelesne mase (Slika 3) i rezultatima skoka u dalj s mjesta s dozom od 6 mg kg^{-1} tjelesne mase (Slika 5) kako bi se vidjelo postoji li povezanost između uobičajene konzumacije kofeina i rezultata na spomenutim testovima. Uzeti su rezultati samo ova dva testa (plank test i skok u dalj s mjesta) s dozom od 6 mg kg^{-1} jer su to jedini slučajevi u kojima je dokazana statistička značajnost kod poboljšanja rezultata nakon konzumacije kofeina (Tablica 10; Tablica 13). Za ovaj dokaz računat je Pearsonov koeficijent korelacije.



Slika 9. Uobičajena dnevna doza kofeina u miligramima (n = 16)

Pearsonov koeficijent korelacije između uobičajene dnevne doze kofeina ispitanika i rezultata plank testa s dozom od 6 mg kg^{-1} tjelesne mase iznosi $r = -0,446$, a između uobičajene dnevne doze kofeina ispitanika i rezultata skoka u dalj s mjesta s dozom od 6 mg kg^{-1} tjelesne mase je $r = -0,560$ (Tablica 18). Dakle ne možemo tvrditi da ako je viša uobičajena dnevna konzumacija kofeina kod ispitanika da će biti i bolji rezultat na plank testu i skoku u dalj s mjesta. Ovim rezultatom koeficijentata korelacije utvrđeno je da ako je uobičajena dnevna doza kofeina veća, rezultat plank testa i skoka u dalj s mjesta nakon konzumacije doze kofeina od 6 mg kg^{-1} tjelesne mase je lošiji.

Tablica 18. Povezanost uobičajene dnevne doze kofeina i rezultata plank testa (kofein 6 mg kg⁻¹) i rezultata skoka u dalj s mjesta (kofein 6 mg kg⁻¹) (n = 16)

Parametri	Uobičajena dnevna doza kofeina i plank test (kofein 6 mg kg ⁻¹)	Uobičajena dnevna doza kofeina i skok u dalj s mjesta (kofein 6 mg kg ⁻¹)
Koeficijent korelacije (r)	-0,446	-0,560

U istraživanju u svrhu procjene uobičajenog dnevnog unosa kofeina kod ispitanika korištene su dvije metode: trodnevni dnevnik prehrane i upitnik o učestalosti konzumacije hrane (FFQ). Trodnevni dnevnik prehrane valjana je metoda za procjenu uobičajene konzumacije hrane kao i sedmodnevni dnevnik prehrane osim kod procjene energetskeg unosa i vitamina, ali u ovom istraživanju to nije ni bilo potrebno pa je trodnevni dnevnik prehrane za procjenu unosa kofeina bio sasvim dovoljan kako bi ispitanicima bilo manje zahtjevno (Deriemaeker i sur., 2006). Ispitanici su vrlo vjerojatno uzeli u obzir sve izvore kofeina koje su konzumirali kroz ta tri dana, ali postoji mogućnost da su neke zaboravili navesti s obzirom da nisu dobili upute o namirnicama koje sadrže kofein te je uz to lako zanemariti unos tekućine koja se konzumirala jer se tekućina često ne smatra hranom. To je mogući nedostatak procjene unosa kofeina metodom trodnevnog dnevnika prehrane. Upitnik o učestalosti konzumacije hrane (FFQ) korišten je u istraživanju iz 2013. godine te je preveden s engleskog na hrvatski jezik bez izmjena. Validiran je za adolescente i mlade odrasle ljude (preko 200 ispitanika) što odgovara ovom istraživanju s obzirom da se radi o mladim rekreativnim sportašima prosjeka godina 24,4 ± 2,03. Ovaj FFQ uzet je u svrhu procjene uobičajenog unosa kofeina jer nije zahtjevan za ispunjavanje, novijeg je datuma, a sadrži sve potrebne izvore kofeina. Prosječni unos kofeina u istraživanju iz 2013. godine procijenjen na više od 200 ispitanika iznosio je između 105 mg i 130 mg (Bühler i sur., 2013) dok je u ovom istraživanju prosječan unos kofeina dobiven iz FFQ – a 64 mg što je znatna razlika. Prosječni dnevni unos kofeina među mladim rekreativnim sportašima dobiven i iz trodnevnog dnevnika prehrane i iz FFQ – a iznosi 41,14 mg, tj. 0,513 mg kg⁻¹. Istraživanje provedeno na Calgary Sveučilištu koje je uključivalo 270 sportaša razlikuje se od ovog istraživanja po količini kofeina kojeg unose ispitanici. Oni su trodnevnim dnevnikom prehrane procijenili da 33% ispitanika ne unosi kofein za razliku od 12,5% dobivenih ovim istraživanjem, 37% ispitanika unosi od 0 do 1 mg kg⁻¹ za razliku od 68,75% iz

ovog istraživanja, 23% unosi 1 do 3 mg kg⁻¹ za razliku od 18,75% ispitanika koji unose više od 1 mg kg⁻¹ iz ovog istraživanja. U ovom istraživanju ne postoje ispitanici koji unose 2 ili više mg kg⁻¹ kofeina na dan dok u istraživanju Tunnicliffe i suradnika takvi ispitanici čine 7% ukupnog broja ispitanika (Tunnicliffe i sur., 2008). Ove razlike unosa kofeina moguće su zbog razlike u broju ispitanika (16 naspram 270) kao i razlike u njihovoj tjelesnoj aktivnosti (rekreativni i profesionalni sportaši; profesionalni u pravilu unose veću količinu kofeina). Uspoređujući dnevni unos kofeina dobiven ovim istraživanjima s podacima iz literature gdje prosječan dnevni unos kofeina kod muškaraca starosti 18 – 34 godine iznosi 199 mg na dan (Frary i sur., 2005) uočljiva je velika razlika u prosječnim dnevnim unosima kad se usporedi s 41,14 mg na dan. Razlike isto tako mogu biti zbog razlike u broju ispitanika, populaciji koja je ispitivana ili zbog razlike u metodama procjene dnevnog unosa kofeina. Kao i u istraživanju Bühlera i suradnika iz 2013. tako i u ovom istraživanju najčešći izvor unosa kofeina je kava (81%). To potvrđuju i podaci Fraryja i suradnika iz 2005. gdje najčešći izvor kofeina predstavlja kava (70%).

Kao izvor kofeina za ovo istraživanje uzet je *Red Bull Sugarfree* s obzirom da je malo istraživanja koje konkretno ispituju utjecaj kofeina iz tog izvora na sportsku izvedbu (Candow i sur., 2009; Eckerson i sur., 2013). Istraživanja Candowa i suradnika iz 2009., te Eckersona i suradnika iz 2013. nisu dokazala pozitivne učinke *Red Bull Sugarfree* kao izvora kofeina na sportsku izvedbu. Izvedba Candowa i suradnika uključivala je trčanje visokog intenziteta, a Eckersona i suradnika snagu gornjeg dijela tijela. Odabirom energetskog pića bez šećera eliminiran je direktan učinak šećera na sportsku izvedbu, te je povećana šansa da je kofein taj koji direktno utječe na sportsku izvedbu.

Koliko je poznato, ne postoje istraživanja koja su proučavala utjecaj kofeina na izdržljivost i stabilnost putem plank testa osim jedne pilot studije (Herring i sur., 2017). Herring i suradnici nisu utvrdili pozitivan utjecaj kofeina (3,5 mg kg⁻¹) na stabilnost i izdržljivost putem plank testa u odnosu na nekonzumaciju kofeina. U ovom istraživanju također nije dokazan pozitivan učinak kofeina na plank test u dozi od 3 mg kg⁻¹, ali je dokazan pozitivan učinak kofeina na plank test u odnosu na placebo s dozom kofeina od 6 mg kg⁻¹. Očito da su potrebne veće doze kofeina kako bi pozitivan učinak na izdržljivost i stabilnost bio uočljiv.

Što se tiče studija koje su se bavile istraživanjem utjecaja kofeina na eksplozivnost putem vježbe skoka u dalj s mjesta, studija Astley i suradnika iz 2018. nije dokazala poboljšanje izvedbe skoka u dalj s mjesta nakon doze kofeina od 2,5 mg kg⁻¹ tjelesne mase kod mladih

utreniranih muškaraca prosjeka godina 21.0 ± 0.3 (Astley i sur., 2018), a ni druga studija (Krasnanova i sur., 2014) također nije dokazala poboljšanje skoka u dalj s mjesta nakon doze kofeina od $4,4 \text{ mg kg}^{-1}$ kod ženskih igračica dvoranskog hokeja. Naspram navedenih rezultata, ova studija dokazala je poboljšanje rezultata u skoku u dalj s mjesta nakon doze kofeina od 6 mg kg^{-1} u usporedbi s placebom i to za 4%.

Studije koje su istraživale utjecaj kofeina na agilnost putem izvedbe T – testa su brojnije od dosad navedenih testova s obzirom da je T – test često korišten test za procjenu agilnosti kod sportaša. Tako primjerice doza kofeina od 3 mg kg^{-1} u studiji s odbojkašicama pokazala je statistički značajno smanjenje vremena da ispitanice završe T – test (Perez – Lopez i sur., 2015). Također, slična studija rađena je s odbojkašima s istom dozom kofeina od 3 mg kg^{-1} , te je također dokazano statistički smanjenje vremena potrebno da ispitanici završe T – test (Del Coso i sur., 2014). Studija iz 2014. godine nije pokazala vremensko poboljšanje izvedbe T - testa nakon konzumacije doze kofeina od 3 mg kg^{-1} među igračima badmintona (Abian – Vicen i sur., 2014). Nisu nađene studije koje su istraživale utjecaj *Red Bull Sugarfree* kao izvora kofeina na agilnost kod rekreativnih sportaša mjerenjem izvedbe T – testa. U ovom istraživanju nije dokazano statistički značajno poboljšanje izvedbe T – testa ni s dozom kofeina od 3 mg kg^{-1} ni s dozom od 6 mg kg^{-1} . Razlog zbog čega nije dokazano statistički značajno poboljšanje izvedbe T – testa nakon konzumacije kofeina može biti zato što se radi o rekreativnim sportašima, a većina studija je rađena s profesionalnim sportašima. Druga stvar može biti i mali broj ispitanika, te nedovoljno profesionalno izvođenje T – testa s obzirom da je vrijeme mjereno ručno štopericom.

U ovom istraživanju nije dokazan statistički značajan pozitivan učinak kofeina na smanjenje percepcije napora procijenjen putem Borgove CR – 10 skale (RPE) nakon plank testa, skoka u dalj s mjesta i T - testa. Sudeći prema rezultatima zaključak je da kofein ne utječe na percepciju napora. Meta analiza koja je izučavala učinak kofeina na RPE utvrdila je da ne postoji statistički značajna razlika između kofeina i placeba na percepciju napora nakon iscrpne tjelovježbe (Doherty i Smith, 2015). No utjecaj kofeina na smanjenje percepcije napora dokazan je u više studija. Studija iz 2005. godine dokazala je pozitivan učinak kofeina na smanjenje percepcije napora i to samo s dozom kofeina od $1,5 \text{ mg kg}^{-1}$ kod trčanja na 10 km (Umana – Alvaradoa i Moncada – Jimeneza, 2005). Studija iz 2004. godine dokazala je smanjenje percepcije napora putem RPE skale nakon doze kofeina od 5 mg kg^{-1} tjelesne mase kod trčanja na pokretnoj traci ($70\% \text{ VO}_2\text{max}$) (Birnbbaum i Herbst, 2004) i kod bicikliranja ($80\% \text{ VO}_2\text{max}$) (Bell i Mclellan, 2002) do iscrpljenosti. U navedena dva istraživanja korištena je viša doza kofeina i dokazan je

pozitivan učinak kofeina na smanjenje percepcije napora dok u ovom istraživanju s dozom kofeina od 6 mg kg⁻¹ nije dokazano statistički značajno smanjenje. Razlog za to može biti razlika u sportskoj izvedbi i samom dizajnu istraživanja, te su možda potrebne još i veće doze kako bi taj učinak bio vidljiv u testovima koji su izvođeni u ovom istraživanju za razliku od trčanja i bicikliranja do iznemoglosti kod kojih je učinak bio vidljiv. Kofein u većoj mjeri smanjuje percepciju napora pri konstantnom intenzitetu vježbanja (Costill i sur., 1978; Giles i Maclaren, 1984; Casal i Leon, 1985; MacIntosh i Wright, 1995; Doherty i sur., 2002, 2004; Birnbaum i Herbst, 2004) što u ovom slučaju nije bio dizajn istraživanja s obzirom da se radilo o tri različita testa (plank za izdržljivost i stabilnost, T – test za agilnost i skok u dalj s mjesta za eksplozivnost). Za utjecaj kofeina na plank test i percepciju napora nakon izvođenja tog testa ne postoje podaci, tako da su potrebna daljnja istraživanja na tu temu. Što se tiče skoka u dalj s mjesta i procjene percepcije napora putem RPE skale koliko je poznato također nema podataka i potrebna su daljnja istraživanja. Za agilnost i procjenu napora putem RPE skale nakon ingestije kofeina postoji istraživanje iz 2014. godine koje je uključivalo test agilnosti za ragbi koji nije bio tipičan T – test, te također kao i u ovom istraživanju nije dokazano statističko smanjenje percepcije napora nakon doze kofeina od 6 mg kg⁻¹ (Assi i Bottoms, 2014). Studija koja je uključivala mlade nogometaše dokazala je smanjenje percepcije napora putem RPE skale kod testa agilnosti nakon ingestije doze kofeina od 6 mg kg⁻¹ (Jordan i sur., 2014). Istraživanje Astorina i suradnika iz 2012. godine uključivalo je nogometašice i izvedbu T – testa te procjenu napora putem RPE skale te također nije dokazano statistički značajno smanjenje percepcije napora nakon doze kofeina od 1,3 mg kg⁻¹ (Astorino i sur., 2012). Čini se da tijekom intenzivnog vježbanja gdje su zahtjevi za energijom veći i dolazi do umora, kofein ne smanjuje percepciju napora što podupiru prethodni zaključci (Doherty i sur., 2005). Potrebna su daljnja istraživanja na ovu temu.

Jedan od mogućih razloga zašto u istraživanju nije dokazan pozitivan učinak kofeina iz *Red Bull Sugarfree* na T – testu u svim dozama (3 mg kg⁻¹ i 6 mg kg⁻¹) i u nižoj dozi (3 mg kg⁻¹) kod plank testa i skoka u dalj s mjesta je nedostatak ugljikohidrata u napitku. Dosta studija je pokazalo ergogeni učinak kad je kofein kombiniran s ugljikohidratima (Kovacz i sur., 1998; Cox i sur., 2002; Reissig i sur., 2009). Tako primjerice, studija Kovacz i suradnika iz 1998. godine koja je ispitivala učinak kofeina (0, 150, 225, 320 mgL⁻¹) i ugljikohidrata (68.8 gL⁻¹) koji su bili prisutni u otopini na sportsku izvedbu dokazala je da kombinacija kofeina i ugljikohidrata značajno poboljšava bicikliranje kod mladih sportaša muškog spola.

Iako je kofein glavni ergogeni sastojak u *Red Bull Sugarfree* energetsom napitku, također sadrži i druge potencijalno ergogene sastojke (Tablica 5). Tako primjerice, suplementacija taurinom pokazala je povećanje vremena vježbanja do iscrpljenosti i kod ljudi i kod zečeva (De Luca i sur., 1996; Bakker i Berg, 2002; Zhang i sur., 2004). Studije kažu da doza taurina koja bi mogla biti korisna je 2 do 6 g (Baum i Weis, 2001; Zhang i sur., 2004). S obzirom da taurina u količini *Red Bull Sugarfree* koji je korišten u ovom istraživanju ima samo 1 g pretpostavlja se da je njegov utjecaj na ergogenost zanemariv. Za ostale sastojke kao što su vitamini B skupine nije dokazan ergogeni učinak na sportsku izvedbu (Woolf i Manore, 2006) pa je i njihova prisutnost u napitku zanemarena.

Još jedan od mogućih razloga nedostatka rezultata pozitivnog učinka kofeina na T – test i percepciju napora je potreba za većim dozama kofeina od one najviše koja je korištena u istraživanju, a to je 6 mg kg^{-1} . Također, broj ispitanika ($n = 16$) koji su sudjelovali u istraživanju nije dovoljan kako bi se hipoteze u potpunosti potvrdile na razini mladih rekreativnih sportaša. U nedostatku precizne opreme za mjerenje izvedbe testova (korištenje ručne štoperice i ručnog metalnog metra za mjerenje rezultata) također je mogućnost greške u konačnim zaključcima istraživanja. Isto tako, moguće da svi ispitanici nisu bili u istom stanju utreniranosti s obzirom da je granica bavljenja sportom da bi se utvrdila rekreativnost ispitanika proizvoljno postavljena na 5 sati aktivnog treninga tjedno što ne znači da svi ispitanici jednako treniraju niti da obavljaju istu vrstu treninga, a na ispitivanju izvode istu vrstu testova. Nedostatak istraživanja je također i zanemarivanje prehrane ispitanika za vrijeme provođenja istraživanja. Napomena je bila samo vezana za nekonzumiranje kofeina 48 sati prije mjerenja dok je cjelokupna prehrana zanemarena što znači da svi ispitanici nisu bili jednaki po tom pitanju. Sve su ovo nedostatci istraživanja na koje je potrebno obratiti pozornost u daljnjim istraživanjima kako bi se dobili relevantniji zaključci o učinku kofeina na sportsku izvedbu, točnije na eksplozivnost, agilnost, izdržljivost, stabilnost i percepciju napora kod mladih rekreativnih sportaša. Neka to budu izazovi budućim istraživanjima na ovu tematiku.

5. ZAKLJUČCI

1. Prosječan dnevni unos kofeina kod mladih rekreativnih sportaša (prosjeak godina $24,4 \pm 2,03$; do 5 h aktivnog treninga tjedno) iznosi 41,14 mg, tj. $0,513 \text{ mg kg}^{-1}$.
2. Nema ispitanika koji unose više od 2 mg kg^{-1} kofeina na dan.
3. Većina ispitanika (68,75%) unosi 0 do 1 mg kg^{-1} kofeina na dan.
4. Kava čini 81,83% ukupnog unosa kofeina kod ispitanika što ju čini najčešćim izvorom unosa kofeina u prehrani dok su najmanje zastupljena gazirana pića (3,6%).
5. Doza kofeina od 6 mg kg^{-1} značajno poboljšava (64%) izdržljivost mladih rekreativnih sportaša putem plank testa u odnosu na placebo.
6. Doza kofeina od 6 mg kg^{-1} značajno poboljšava (4%) eksplozivnost mladih rekreativnih sportaša putem skoka u dalj s mjesta u odnosu na placebo.
7. Kofein ne utječe na poboljšanje izvedbe T – testa u nijednoj ispitivanoj dozi (3 mg kg^{-1} , 6 mg kg^{-1}).
8. Kofein ne utječe na smanjenje percepcije napora (RPE skala) u nijednoj ispitivanoj dozi (3 mg kg^{-1} , 6 mg kg^{-1}).
9. Uobičajena konzumacija kofeina ne utječe na poboljšanje sportske izvedbe u plank testu, skoku u dalj s mjesta i T – testu u ispitivanim dozama (3 mg kg^{-1} , 6 mg kg^{-1}).

6. LITERATURA

- Abian – Vicen, J., Abian, P., Del Coso, J., Salinero, J. J., Gallo – Salazar, C., Areces, F., Lara, B., Ruiz – Vicente, D., Soriano, L., Munoz, V. (2014) The ingestion of a caffeinated energy drink improves jump performance and activity patterns in elite badminton players. *J. Sci. Med* **33**, 1042-1050.
- Anderson, M. E., Bruce, C. R., Fraser, S. F. (2000) Improved 2000 – meter rowing performance in competitive oarswomen after caffeine ingestion. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* **10**, 464-475.
- Applegate, E. (1999) Effective nutritional ergogenic aids. *Int J Sport Nutr* **9**, 229-239.
- Armstrong, L. E. (2002) Caffeine, body fluid-electrolyte balance, and exercise performance. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* **12**, 189-206.
- Arnaud, M. J. (1993) Metabolism of caffeine and other components of coffee. U: Caffeine, coffee and health, (Garattini, S., ured.) Raven Press, New York, str. 43-95.
- Arnaud, M. J., Welsch, C. (1982) Theophylline and caffeine metabolism in man. U: Theophylline and other merhylxanthines, (Reitbrock, N., Woodcock, B. G., Staib, A. H., ured.) Friedr. Vieweg and Sons, Zurich, str. 135-148.
- Assi, H. N., Bottoms, L. (2014) The effects of caffeine on rugby passing accuracy while performing the reactive agility test. *Sci Sport* **29**, 275-281.
- Astley, C., Souza, D. B., Polito, M. D. (2018) Acute specific effects of caffeine – containing energy drink on different physical performances in resistance – trained men. *Int J Exerc Sci* **11**, 260-268.
- Astorino, T. A., Roberson, D. W. (2010) Efficacy of acute caffeine ingestion for short – term high – intensity exercise performance: a systematic review. *JSCR* **24**, 257-265.
- Astorino, T. A., Matera, A. J., Basinger, J., Evans, M., Schurman, T., Marquez, R. (2012) Effects of Red Bull energy drink on repeated sprint performance in women athletes. *J Amino Acids* **42**, 1803-1808.
- Bakker, A. J., Berg, H. M. (2002) The effects of taurine on sarcoplasmic reticulum function and force in skinned muscle fibers of the rat. *J Physiol* **538**, 185-194.

- Baum, M., Weis, M. (2001) The influence of a taurine containing drink on cardiac parameters before and after exercise measured by echocardiography. *Amino Acids* **20**, 75-82.
- Bell, D. G., Jacobs, I., Ellerington, K. (2001) Effect of caffeine and ephedrine ingestion on anaerobic exercise performance. *Med Sci Sports Exerc* **33**, 1399-1403.
- Bell, D. G., Jacobs, I., Zamecnik, J. (1998) Effects of caffeine, ephedrine and their combination on time to exhaustion during high – intensity exercise. *Eur J Appl Physiol* **77**, 427-433.
- Bell, D. G., McLellan, T. M. (2002) Exercise endurance 1, 3, and 6 h after caffeine ingestion in caffeine users and nonusers. *J Appl Physiol* **93**, 1227-1234.
- Belščak – Cvitanović, A., Komes, D., Benković, M., Karlović, S., Hečimović, I., Ježek, D., Bauman, I. (2012) Innovative formulations of chocolates enriched with plant polyphenols from *Rubus idaeus* L. leaves and characterization of their physical, bioactive and sensory properties. *Food Res Int* **48**, 820-830.
- Berglund, B., Hemmingsson, P. (1982) Effects of caffeine ingestion on exercise performance at low and high altitudes in cross – country skiers. *Int J Sports Med* **3**, 234-236.
- Birnbaum, L. J., Herbst, J. D. (2004) Physiologic effects of caffeine on cross – country runners. *J Strength Cond Res* **18**, 463-465.
- Bonati, M., Latini, R., Galletti, F., Young, J. F., Tognoni, G., Garattini, S. (1982) Caffeine disposition after oral doses. *Clin Pharmacol Ther* **32**, 98-106.
- Borg, G. (1962) Physical performance and perceived exertion. Gleeurp, Lund, Sweden, str. 1-63.
- Borg, G. (1970) Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scand. J. Rehab. Med.* **2**, 92-98.
- Borg, G. (1980) A category scale with ratio properties for intermodal and interindividual comparisons. U: Proceedings of the 22nd International Congress of Psychology. VEB Deutscher Verlag, Leipzig.
- Borg, G. (1982) Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc* **14**, 377-381.

- Borg, G., Hassmen, P., Lagerstrom, M. (1987) Perceived exertion related to heart rate and blood lactate during arm and leg exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* **56**, 679-685.
- Borg, G., Noble, B. (1974) Perceived exertion. U: Exercise and Sports Sciences Review, (Wilmore J. H., ured.) Academic Press, New York, str. 131-153.
- Bronstein, I. N., Semendjajev, K. A. (1991) Matematički priručnik za inženjere i studente. Tehnička knjiga, Zagreb, str. 102.
- Bruce C. R., Anderson M. E., Fraser S. F., Strepto, N. K., Klein, R., Hopkins, W. G., Hawley, J. A. (2000) Enhancement of 2000-m rowing performance after caffeine ingestion. *Med Sci Sports Exerc* **32**, 1958–1963.
- Bruce, C. R., Anderson, M. E., Fraser, S. F., Stepto, N. K., Klein, R., Hopkins, W. G., Burke, L. M. (2008) Caffeine and sports performance. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* **33**, 1319–34.
- Bühler, E., Lachenmeier, D. W., Schlegel, K., Winkler, G. (2013) Development of a tool assess the caffeine intake among teenagers and young adults. *Ernahrungs Umschau* **61**, 58-63.
- Burke, L. (2008) Caffeine and sports performance. *Appl Physiol Nutr Metab* **33**, 1319-1334.
- Burke L., Desbrow B., Spriet L. (2013) Caffeine for sport performance. Champaign, IL: Human Kinetics
- Candow, D. G., Kleisinger, A. K., Grenier, S., Dorsch, K. D. (2009) Effects of sugar – free Red Bull energy drink on high – intensity run time – to – exhaustion in young adults. *J Strength Cond Res* **23**, 1271-1275.
- Casal, D. C., Leon, A. S. (1985) Failure of caffeine to affect substrate utilization during prolonged running. *Med Sci Sports Exerc* **17**, 174-179.
- Chesley, A., Howlett, R. A., Heigenhauser, J. F. (1998) Regulation of muscle glycogenolytic flux during aerobic exercise after caffeine ingestion. *Am J Physiol* **275**, 596-603.
- Chesley, A., Hultman, E., Spriet, L. (1995) Effects of epinephrine infusion on muscle glycogenolysis during intense aerobic exercise. *Am J Physiol Endocrinol Metab* **268**, 127-134.
- Childs, E., Wit, H. (2006) Subjective, behavioral, and physiological effects of acute caffeine in light, nondependent caffeine users. *Psychopharmacology* **185**, 514-23.

- Cole, K. J., Costill, D. L., Starling, R. D., Goodpastor, B. H., Trappe, S. W., Fink, W. J. (1996) Effect of caffeine ingestion on perception of effort and subsequent work production. *Int J Sports Nutr* **6**, 14-23.
- Conway, K. J., Orr, R., Stannard, S. R. (2003) Effect of divided caffeine dose on endurance cycling performance, postexercise urinary caffeine concentration, and plasma paraxanthine. *J Appl Physiol* **94**, 1557-1562.
- Costill, D. L., Dalsky, G. P., Fink, W. J. (1978) Effects of caffeine on metabolism and exercise performance. *Med Sci Sports* **10**, 155-158.
- Cox, G. R., Desbrow, B., Montgomery, P. G., Anderson, M. E., Bruce, C. R., Macrides, T. A., Martin, D. T. Moquin, A., Roberts, A., Hawley, J. A., Burke, L. M. (2002) Effect of different protocols of caffeine intake on metabolism and endurance performance. *J Appl Physiol* **93**, 990-999.
- CSPI (2018) Center for science in the public interest, < <https://cspinet.org/> >. Pristupljeno 23. studenog 2018.
- Daniels, J. W., Mole, P. A., Shaffrath, J. D., Stebbins, C. L. (1998) Effects of caffeine on blood pressure, heart rate and forearm blood flow during dynamic leg exercise. *J Appl Physiol* **85**, 154-159.
- Davis, J. M., Bailey, S. P. (1997) Possible mechanisms of central nervous system fatigue during exercise. *Med Sci Sports Exerc* **29**, 45-57.
- De Luca, A., Pierno, S., Camerino, D. C. (1996) Effect of taurine depletion on excitation-contraction coupling and Cl^{-1} conductance of rat skeletal muscle. *Eur J Pharmacol* **296**, 215-222.
- Del Coso, J., Perez – Lopez, A., Abian – Vicen, J., Salinero, J. J., Lara, B., Valades, D. (2014) Enhancing physical performance in male volleyball players with a caffeine – containing energy drink. *Int J Sports Physiol Perform* **9**, 1013-1018.
- Deriemaeker, P., Aerenhouts, D., Hebbelinck, M., Clarys, P. (2006) Validation of a 3 – day diet diary: comparison with a 7 – day diet diary and a FFQ. *Med Sci Sports Exerc* **38**, S328.
- Doherty, M. (1998) The effects of caffeine on the maximal accumulated oxygen deficit and short – term running performance. *Int J Sport Nutr* **8**, 95-104.

- Doherty, M., Smith, P. M. (2005) Effects of caffeine ingestion on rating of perceived exertion during and after exercise: A meta-analysis. *Scand J Med Sci Sports* **15**, 69-78.
- Doherty, M., Smith, P. M., Davison, R. C. R., Hughes, M. G. (2002) Caffeine is ergogenic following supplementation of oral creatine monohydrate. *Med Sci Sports Exerc* **34**, 1785-1792.
- Doherty, M., Smith, P. M., Hughes, M. G., Davison, R. C. R. (2004) Caffeine lowers perceptual response and increases power output during high – intensity cycling. *J Sport Sci* **22**, 637-643.
- Echverri, D., Montes, F. R., Cabrera, M., Galan, A., Prieto, A. (2010) Caffeine's vascular mechanisms of action. *Int J Vasc Med* **2010**, 1-10.
- Eckerson, J. M., Bull, A. J., Baechle, T. R., Fischer, C. A., O'Brien, D. C., Moore, G. A., Yee, J. C., Pulverenti, T. S. (2013) Acute ingestion of sugar – free Red Bull energy drink has no effect on upper body strength and muscular endurance in resistance trained men. *J Strength Cond Res* **27**, 2248-2254.
- Ferrauti, A., Weber, K., Struder, H. K. (1997) Metabolic and ergogenic effects of carbohydrate and caffeine beverages in tennis. *J Sports Med Phys Fitness* **37**, 258-266.
- Forbes, S. C., Candow, D. G., Little, J. P., Magnus, C., Chilibeck, P. D. (2007) Effects of Red Bull energy drink on repeated wingate cycle performance and bench – press muscle endurance. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* **17**, 433-444.
- Foskett, A., Ali, A., Gant, N. (2009) Caffeine enhances cognitive function and skill performance during simulated soccer activity. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* **19**, 410-423.
- Frory, C. D., Johnson, R. K., Wang, M. Q. (2005) Food sources and intakes of caffeine in the diets of persons in the United States. *J. Am. Diet. Assoc.* **105**, 110–113.
- Fredholm, B. B. (1995) Adenosine, adenosine receptors and the actions of caffeine. *Pharmacol. Toxicol.* **76**, 93-101.
- Fredholm, B. B., Battig, K., Holmen, J., Nehlig, A., Zvartau, E. E. (1999) Actions of caffeine in the brain with special reference to factors that contribute to its widespread use. *Pharmacol Rev* **51**, 83-133.
- Giles, D., Maclaren, D. (1984) Effects of caffeine and glucose ingestion on metabolic and respiratory functions during prolonged exercise. *J Sports Sci* **2**, 35-46.

- Graham, T. E. (2001) Caffeine and exercise: metabolism, endurance and performance. *Sports Med* **31**, 785-807.
- Graham, T. E., Helge, J. W., MacLean, D. A. (2000) Caffeine ingestion does not alter carbohydrate or fat metabolism in human skeletal muscle during exercise. *J Physiol* **529**, 837-47.
- Graham, T. E., Hibbert, E., Sathasivam, P. (1998) Metabolic and exercise endurance effects of coffee and caffeine ingestion. *J Appl Physiol* **85**, 883-889.
- Graham, T. E., Spriet, L. L. (1991) Performance and metabolic responses to a high caffeine dose during prolonged exercise. *J Appl Physiol* **71**, 2292-2298.
- Graham, T.E., Spriet, L.L. (1995) Metabolic, catecholamine, and exercise performance responses to various doses of caffeine. *J Appl Physiol* **78**, 867-874.
- Greer, F., Friars, D., Graham, T. E. (2000) Comparison of caffeine and theophylline ingestion: exercise metabolism and endurance. *J Appl Physiol* **89**, 1837-1844.
- Greer, F., McLean, C., Graham, T. E. (1998) Caffeine, performance and metabolism during repeated Wingate exercise tests. *J Appl Physiol* **85**, 1502-1508.
- Gwacham, N., Wagner, D. R. (2012) Acute effects of a caffeine – taurine energy drink on repeated sprint performance of american college football players. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* **22**, 109-116.
- Harland B. F. (2000) Caffeine and nutrition. *Nutrition* **16**, 522-526.
- Hawke, T. J., Allen, D. G., Lindinger, M. I. (2000) Paraxantine, a caffeine metabolite, dose dependently increases $[Ca^{2+}]_i$ in skeletal muscle. *J Appl Physiol* **89**, 2312-2317.
- Hawke, T. J., Willmets, R. G., Lindinger, M. I. (1999) K⁺ transport in resting rat hindlimb skeletal muscle in response to paraxanthine, a caffeine metabolite. *Can J Physiol Pharmacol* **77**, 835-843.
- Hawley, J. A. (2000) Enhancement of 2000 – m rowing performance after caffeine ingestion. *Med Sci Sports Exer* **32**, 1958-1963.

- Herring, J., Reunis, T., Carro, M. V. (2017) Pilot study: Effects of caffeine on stability and duration of plank stability exercise. Konstanz University, <www.researchgate.net> Pristupljeno 23. svibnja 2019.
- 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**, e59561.
- Hogervorst, E., Riedel, W. J., Kovacs, E. (1999) Caffeine improves cognitive performance after strenuous physical exercise. *Int J Sports Med* **20**, 354-361.
- Irwin, C., Desbrow, B., Ellis, A., O'Keeffe, B., Grant, G., Leveritt, M. (2011) Caffeine withdrawal and high – intensity endurance cycling performance. *J Sports Sci* **29**, 509-515.
- Ivy, J. L., Costill, D. L., Fink, W. J., Lower, R. W. (1979) Influence of caffeine and carbohydrate feedings on endurance performance. *Med Sci Sports* **11**, 6-11.
- Jackman, M., Wendling, P., Friars, D. (1996) Metabolic, catecholamine, and endurance responses to caffeine during intense exercise. *J Appl Physiol* **87**, 1658-1663.
- Jacobson, B. H., Weber, M. D., Claypool, L., Hunt, L. E. (1992) Effect of caffeine on maximal strength and power in elite male athletes. *Br J Sports Med* **26**, 276-280.
- Jordan, J. B., Korgaokar, A., Farley, R. S., Coons, J. M., Caputo, J. L. (2014) Caffeine supplementation and reactive agility in elite youth soccer players. *Pediatr Exerc Sci* **26**, 168-176.
- Kalmar, J. M., Cafarelli, E. (1999) Effects of caffeine on neuromuscular function. *J Appl Physiol* **87**, 801-808.
- Kovacs, E. M. R., Stegen, J. H. C. H., Brouns, F. (1998) Effect of caffeinated drinks on substrate metabolism, caffeine excretion and performance. *J Appl Physiol* **85**, 709-15.
- Komes, D., Horžić, D., Belščak, A., Kovačević Ganić, K., Baljak, A. (2009) Determination of caffeine content in tea and mate tea by using different methods. *Czech J Food Sci* **27**, 213-216.
- Kovacs, E. M., Stegen, J., Brouns, F. (1998) Effect of caffeinated drinks on substrate metabolism, caffeine excretion, and performance. *J Appl Physiol* **85**, 709-715.

- Krasnanova, I., Sedliak, M., Lednický, A. (2014) Effects of caffeine on motoric performance of female floorball players. *Acta Facultatis Educationis Physicae Universitatis Comenianae* **54**, 21-28.
- Laurent, D., Schneider, K. E., Prusaczyk, W. K., Franklin, C., Vogel, S. M., Krssak, M. (2000) Effects of caffeine on muscle glycogen utilization and the neuroendocrine axis during exercise. *J Clin Endocrinol Metab* **85**, 2170-2175.
- Lindinger, M. I., Graham, T. E., Spriet, L. L. (1993) Caffeine attenuates the exercise – induced increase in plasma [K⁺] in humans. *J Appl Physiol* **74**, 1149-1155.
- Lundsberg, L. S. (1998) Caffeine consumption. In: Spiller GA, editor. Caffeine. Boca Raton: CRC Press, 199-224.
- MacIntosh, B. R., Wright, B. M. (1995) Caffeine ingestion and performance of a 1500 – metre swim. *Can J Appl Physiol* **20**, 168-177.
- Marković, G., Dizdār, D., Jukić, I., Cardinale, M. (2004) Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. *J Strength Cond Res* **18**, 551-555.
- McCusker, R. R., Goldberger, B. A., Cone, E. J. (2006) Caffeine content of energy drinks, carbonated sodas and other beverages. *J Anal Toxicol* **30**, 112-114.
- Mihevic, P. M. (1981) Sensory cues for perceived exertion: a review. *Med Sci Sports Exercise* **13**, 150-163.
- Motl, R. W., O'Connor, P. J., Dishman, R. K. (2003) Effect of caffeine on perceptions of leg muscle pain during moderate intensity cycling exercise. *J Pain* **4**, 316-321.
- Myers, D. E., Shaikh, Z., Zullo, T. G. (1997) Hypoalgesic effect of caffeine in experimental ischemic muscle contraction pain. *Headache* **37**, 654-658.
- Nawrot, P., Jordan, S., Eastwood, J., Rotstein, J., Hugenholtz, A., Feeley, M. (2003) Effects of caffeine on human health. *Food Addit. Contam.* **20**, 1-30.
- Nehlig, A., Debry, G. (1994) Caffeine and sports activity: a review. *Int J Sports Med* **15**, 215-223.
- Nehlig, A., Daval, J. L., Debry, G. (1992) Caffeine and the central nervous system: mechanisms of action, biochemical, metabolic and psychostimulant effects. *Brain Res Rev* **17**, 139-170.

- Newton, R., Broughton, L. J., Lind, M. J., Morrison, P. J., Rogers, H. J., Bradbrook, I. D. (1981) Plasma and salivary pharmacokinetics of caffeine in man. *Eur. J. clin. Pharmac.* **21**, 45-52.
- Niseteo, T., Komes, D., Belščak – Cvitanović, A., Horžić, D., Budeč, M. (2012) Bioactive composition and antioxidant potential of different commonly consumed coffee brews affected by their preparation techniques and milk addition. *Food Chem* **134**, 1870-1877.
- O'Connor, P. J., Motl, R. W., Broglio, S. P., Ely, M. R. (2004) Dose – dependent effect of caffeine on reducing leg muscle pain during cycling exercise is unrelated to systolic blood pressure. *Pain* **109**, 291-298.
- Paluska, S. A. (2003) Caffeine and exercise. *Current Science Inc.* **2**, 213-219.
- Passmore, A. P., Kondowe, G. B., Johnston, G. D. (1987) Renal and cardiovascular effects of caffeine: a dose – response study. *Clin Sci* **72**, 749-756.
- Paton, C. D., Hopkins, W. G., Vollebregt, L. (2001) Little effect of caffeine ingestion on repeated sprints in team – sport athletes. *Med Sci Sports Exerc* **33**, 822-825.
- Pauole, K., Madole, K., Garhammer, J., Lacourse, M., Rozenek, R. (2000) Reliability and validity of the T – test as a measure of agility, leg power and leg speed in college – aged men and women. *J Strength Cond Res* **14**, 443-450.
- Perez – Lopez, A., Salinero, J. J., Abian – Vicen, J., Valades, D., Lara, B., Hernandez, C., Areces, F., Gonzales, C., Del Coso, J. (2015) Caffeinated energy drink improve volleyball performance in elite female players. *Med Sci Sports Exerc* **47**, 850-856.
- Petersen, K. F., Goforth, H. W., Shulman, G. I. (2000) Effects of caffeine on muscle glycogen utilization and the neuroendocrine axis during exercise. *J Clin Endocrinol Metab* **85**, 2170 – 2175.
- Plaskett, C. J., Cafarelli, E. (2001) Caffeine increases endurance and attenuates force sensation during submaximal isometric contractions. *J Appl Physiol* **91**, 1535-1544.
- Reissig, C. J., Strain, E. C., Griffiths, R. R. (2009) Caffeinated energy drinks-A growing problem. *Drug Alcohol Depend* **99**, 1-10.
- Ritchie, C. (2012) Rating of perceived exertion (RPE). *J Physiother* **58**, 62.

- Ruxton, C. H. S. (2008) The impact of caffeine on mood, cognitive function, performance and hydration: a review of benefits and risks. *Nutr Bull* **33**, 15-25.
- Ryu, S., Choi, S. K., Joung, S. S., Suh, H., Cha, Y. S., Lee, S., Lim, K. (2001) Caffeine as a lipolytic food component increases endurance performance in rats and athletes. *J Nutr Sci Vitaminol* **47**, 139-146.
- Schneiker, K. T., Bishop, D., Dawson, B., Hackett, L. P. (2006) Effects of caffeine on prolonged intermittent – sprint ability in team – sport athletes. *Med Sci Sports Exerc* **38**, 578-585.
- Semenick, D. (1990) The T – test. *NSCA J* **12**, 36-37.
- Smith, A., P., Christopher, G., Sutherland, D. (2006) Effects of caffeine in overnight – withdrawn consumers and non – consumers. *Nutritional Neuroscience* **9**, 63-71.
- Spiller, A. M. (1998) The chemical components of coffee. In: SpillerGA, editor. Caffeine. Boca Raton: CRC Press. 97-161
- Spriet, L. L. (1995) Caffeine and performance. *Int J Sport Nutr* **5**, S84-S99.
- Spriet, L. L., MacLean, D. A., Dyck, D. J. (1992) Caffeine ingestion and muscle metabolism during prolonged exercise in humans. *Am J Physiol* **262**, E891-E898.
- Stuart, G. R., Hopkins, W. G., Cook, C., Cairns, S. P. (2005) Multiple effects of caffeine on simulated high – intensity team – sport performance. *Med Sci Sports Exerc* **37**, 1998-2005.
- Talanian, J. L., Spriet, L. L. (2007) Low doses of caffeine late in exercise improve cycling time trial performance. *FASEB J* **21**, 107.
- Tang-Liu, D. D., Williams, R. L., Riegelman, S. (1983) Disposition of caffeine and its metabolites in man. *J. Pharmac. exp. Ther.* **224**, 180-185.
- Tarnopolsky, M. (1994) Caffeine and endurance performance. *Sports Med* **18**, 109-125.
- Tarnopolsky, M., Cupido, C. (2000) Caffeine potentiates low frequency skeletal muscle force in habitual and nonhabitual caffeine consumers. *J Appl Physiol* **89**, 1719-1724.
- Tong, T. K., Wu, S., Nie, J. (2014) Sport – specific endurance plank test for evaluation of global core muscle function. *Phys Ther Sport* **15**, 58-63.

- Trice, I., Haymes, E. M. (1995) Effects of caffeine ingestion on exercise-induced changes during high – intensity, intermittent exercise. *Int J Sport Nutr* **5**, 37-44.
- Tsuda, T., Noda, S., Kitagawa, S., Morishita, T. (2000) Proposal of sampling process for collecting human sweat and determination of caffeine concentration in it by using GC/MS. *Biomed. Chromatogr.* **14**, 505–510.
- Tunncliffe, J. M., Erdman, K. A., Reimer, R. A., Lun, V., Shearan, J. (2008) Consumption of dietary caffeine and coffee in physically active populations: physiological interactions. *Appl Physiol Nutr Metab* **33**, 1301-1310.
- Umana – Alvaradoa, M., Moncada – Jimenez, J. (2005) Consumption of an energy drink does not improve aerobic performance in male athletes. *JASS* **17**, 26-34.
- Van Soeren, M. H., Graham, T. E. (1998) Effect of caffeine on metabolism, exercise endurance and catecholamine responses after withdrawal. *J Appl Physiol* **85**, 1493-1501.
- Van Soeren, M. H., Mohr, T., Kjaer, M., Graham, T. E. (1996) Acute effects of caffeine ingestion at rest in humans with impaired epinephrine responses. *J Appl Physiol* **85**, 1493-1501.
- Van Soeren, M. H., Sathasivam, P., Spriet, L. L. (1993) Caffeine metabolism and epinephrine responses during exercise in users and nonusers. *J Appl Physiol* **75**, 805-12.
- Vučetić, V., Neljak, B. (2003) Procjena subjektivnog osjećaja opterećenja učenika na satu tjelesne i zdravstvene kulture. Zbornik radova 12. ljetne škole kineziologa RH „Metode rada u području edukacije, sporta i sportske rekreacije“, Rovinj, 17.-21. lipnja, 2003. **75**, 259-297. Zagreb: Hrvatski kineziološki savez.
- Wanyika, H. N., Gatebe, E. G., Gitu, L. M., Ngumba, E. K., Maritim, C. W. (2010) Determination of caffeine content of tea and instant coffee brands found in the Kenyan market. *Afr. J. Food Sci* **4**, 353-358.
- Wiles, J. D., Bird, S. R., Hopkins, J., Riley, M. (1992) Effect of caffeinated coffee on running speed, respiratory factors, blood lactate and perceived exertion during 1500 – m treadmill running. *Br J Sports Med* **26**, 116-120.
- Woolf, K., Manore, M. M. (2006) B-vitamins and exercise: Does exercise alter requirements? *Int J Sport Nutr Exerc Metab* **16**, 453-484.

Zhang, M., Izumi, I., Kagamimori, S., Sokejima, S., Yamagami, T., Liu, Z., Qi, B. (2004) Role of taurine supplementation to prevent exercise-induced oxidative stress in healthy young men. *Amino Acids* **26**, 203-207.

PRILOZI

1. INFORMIRANI PRISTANAK NA SUDJELOVANJE U ISTRAŽIVANJU

NAZIV ISTRAŽIVANJA: Utjecaj kofeina na agilnost, eksplozivnost, izdržljivost, stabilnost i percepciju napora kod mladih rekreativnih sportaša

MJESTO ISTRAŽIVANJA: Zagreb, Zadar

IME I PREZIME VODITELJA ISTRAŽIVANJA: Ivana Zelić, univ.bacc.nutr.

Poštovani,

pozivamo Vas da u svojstvu ispitanika sudjelujete u znanstvenom istraživanju utjecaja kofeina na agilnost, eksplozivnost, izdržljivost, stabilnost i percepciju napora kod mladih rekreativnih sportaša. Istraživanje je dvostruko slijepo. Voditelj istraživanja je studentica Ivana Zelić uz mentorstvo izv.prof.dr.sc. Zvonimira Šatalića, s Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Istraživanje će se provesti u Zagrebu i Zadru, te se provodi u svrhu izrade diplomskog rada. Pažljivo pročitajte upute, a za dodatno objašnjenje se obratite ispitivaču. Vaše sudjelovanje je dobrovoljno i možete se u bilo kojem trenutku povući.

Cilj ovog istraživanja je ispitati utjecaj kofeina na agilnost, eksplozivnost, izdržljivost, stabilnost i percepciju napora kod mladih rekreativnih sportaša u dobi 18 do 35 godina. Istraživanje se provodi na jednoj skupini ispitanika, a to su rekreativni sportaši koji aktivno treniraju do 5 h tjedno. Istraživanje je podijeljeno u tri mjerenja, svako u razmaku od tjedan dana (primjerice srijeda-srijeda-srijeda). Svakom pojedinom ispitaniku jednom će se dati doza kofeina 0, jednom mala doza kofeina i jednom velika doza kofeina. Svako mjerenje uključuje mjerenje izdržljivosti i stabilnosti putem plank vježbe, eksplozivnosti putem skoka u dalj s mjesta, agilnosti putem T-testa te procjenu napora nakon testiranja putem RPE skale. Ispitanik će tijekom perioda ispitivanja ispuniti dnevnik prehrane (2+1) te FFQ kako bi procijenili uobičajeni unos kofeina svakog pojedinog ispitanika. Nuspojave koje se mogu pojaviti zbog velike doze kofeina su: nervoza, razdražljivost, tremor, glavobolja, šum u ušima, nemir, nesanica, mučnina. Ne očekujemo neželjene nuspojave s obzirom na dozu kofeina koju ćemo koristiti, no postoji mogućnost pojave ovakvih simptoma zbog individualnog odgovora na kofein.

Svojim potpisom potvrđujem da sam informiran o ciljevima, prednostima i rizicima ovog istraživanja i pristajem u njemu sudjelovati.

_____ (potpis ispitanika)

_____ (potpis voditelja istraživanja) U _____, _____ 2019.

2. OBRAZAC ZA VOĐENJE DNEVNIKA PREHRANE

Dnevnik prehrane ispunite za bilo koja 2 dana od ponedjeljka do četvrtka (primjerice uzmite ponedjeljak i četvrtak) te za 1 dan vikenda.

Molimo Vas da kroz navedena 3 dana što točnije zabilježite KOLIČINU, NAČIN PRIPREME te VRIJEME KONZUMACIJE namirnica, tj. obroka.

Zabilježite trajanje TRENINGA u satima za pojedini dan.

Zabilježite i količinu konzumirane TEKUĆINE u bilo kojem obliku, uključujući i VODU.

Zabilježite sve eventualne DODATKE PREHRANI (suplemente), s vitaminima i/ili mineralima ili drugim komponentama, s detaljima o dozi, sastavu, obliku (prah, kapsula, tableta, gel...) i proizvođaču.

Ako ste u mogućnosti, hranu izvažite pomoću kuhinjske vage ili što točnije opišite količinu pomoću kuhinjskog pribora (tanjur, žlica, žličica, čaša, šalica...).

Primjer popunjenog dana dnevnika prehrane:

NEDJELJA, datum 24. 03. 2019.

TRAJANJE TRENINGA: 1,5 sat

VRIJEME	NAMIRNICA + KOLIČINA (g) + NAČIN PRIPREME
7:00	100g zobnih pahuljica, 400mL mlijeka s 1,5 % m.m., žlica kakao praha, šalica espressa sa žličicom šećera, čaša vode sa Supradyne šumećim multivitaminom
9:00	500 mL vode, tableta kofeina 200mg
11:00	Nescaffe Irish coffee s vrećicom šećera, 2 kruške, kriška bijelog kruha s marmeladom od jagoda, čašica jogurta s 3,2% m.m., čaša vode
14:30	200g pečene pileline na žaru, 150g bijele riže u umaku od vrhnja i gljiva, 3 kriške raženog kruha, 2 čaše Cedevite (2 žličice praha po čaši)
18:00	Velika šalica bijele kave, 50g mliječne čokolade s lješnjacima, 1 ½ naranča, Powerade isotonic 500mL
20:30	2 tanjura tjestenine bolognese (mljevena junetina), 3 kom. kiselih krastavaca, čaša 100%-tnog soka od jabuke, 2 čaše vode
23:00	Red Bull 250mL, mjerica proteinskog shakea Dymatize s 300mL mlijeka, 6 keksa Domaćica

_____ (dan pon-čet), _____ (datum) TRAJANJE TRENINGA: _____ sat

VRIJEME	NAMIRNICA + KOLIČINA (g) + NAČIN PRIPREME

_____ (dan pon-čet), _____ (datum) TRAJANJE TRENINGA: _____ sat

VRIJEME	NAMIRNICA + KOLIČINA (g) + NAČIN PRIPREME

_____ (dan pon-čet), _____ (datum) TRAJANJE TRENINGA: _____ sat

VRIJEME	NAMIRNICA + KOLIČINA (g) + NAČIN PRIPREME









3. UPITNIK O KONZUMACIJI KOFEINA

Želimo saznati koliko kofeina konzumirate.






U tablici naznačite koliko ste konzumirali određene namirnice jučer.

Ispod svake sličice napišite liniju (I) za svaku konzumiranu čašu/šalicu.

Ukoliko niste konzumirali navedeni predmet, ostavite prazno.

Mala šalica 150mL	Velika šalica 250mL	Mala čaša 150mL	Velika čaša 250mL	Energetsko piće 250mL limenka	Energetsko piće 500mL limenka	Energetski shot 60mL limenka	Espresso šalica 60mL	Čokolada 20 g
								

Na primjer:

	Kava		Cola, gazirano bezalkoholno piće		Čokolada
					
Doručak	II			I	I

4. RPE SKALA ZA PROCJENU SUBJEKTIVNOG OSJEĆAJA NAPORA
RPE SKALA ZA PROCJENU SUBJEKTIVNOG OSJEĆAJA NAPORA

Zaokruži jedan od navedenih brojeva (0-10) koji opisuje tvoj subjektivni osjećaj napora nakon
provedenog testiranja.

0	NIŠTA U POTPUNOSTI
0.5	EKSTREMNO LAGANO
1	JAKO LAGANO
2	LAGANO
3	UMJERENO
4	
5	TEŠKO
6	
7	VEOMA TEŠKO
8	
9	
10	EKSTREMNO TEŠKO (MAKSIMALNO)

IZJAVA O IZVORNOSTI

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

Ime i prezime studenta