

Pozitivni i negativni učinci kofeina na sportsku izvedbu

Marjanović, Matea

Master's thesis / Diplomski rad

2020

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:105:230337>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-17**



Repository / Repozitorij:

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
MEDICINSKI FAKULTET**

Matea Marjanović

**Pozitivni i negativni učinci kofeina na sportsku
izvedbu**

Diplomski rad



Zagreb, 2020.

Ovaj diplomski rad izrađen je na Medicinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, na Katedri za Zdravstvenu ekologiju i medicinu rada Škole narodnog zdravlja Andrija Štampar, pod vodstvom doc.dr.sc. **Milana Miloševića** i predan je na ocjenu u akademskoj godini 2019./2020.

Kratice korištene u radu

Ca ²⁺	Kalcij
CMJ	Countermovement jump
LSPT	Loughborough Soccer Passing Test
MAS	Maksimalna aerobna snaga
MVK	Maksimalna voljna kontrakcija
RAT	Reactive agility test
RyR1	Rajanodinski receptor 1
SAD	Sjedinjene Američke Države
SMK	Slobodne masne kiseline
SR	Sarkoplazmatski retikulum
SŽS	Središnji živčani sustav
TT	Tjelesna težina
UBISP	Upper-Body Intermittent Sprint Performance
UGH	Ugljikohidrati
USGA	United States Golf Association
WADA	World Anti-Doping Agency

Sadržaj

SAŽETAK.....	6
SUMMARY	7
1. UVOD.....	1
1.1. Želja sportaša za boljom izvedbom.....	1
1.2. Dodaci prehrani	1
1.3. Doping.....	2
1.3.1. Antidoping	3
1.4. Gdje pripada kofein - u dodatke prehrani ili doping?	3
2. KOFEIN	4
2.1. O kofeinu – kemijska struktura i metabolizam.....	4
2.2. Prirodni izvori.....	5
2.3. Mehanizam djelovanja kofeina.....	6
2.4. Način unosa kofeina	9
2.5. Doza i vrijeme konzumiranja kofeina.....	14
3. CILJ RADA	16
4. METODE.....	16
4.1. Odabir sportova	16
4.2. Izvori podataka	17
4.3. Odabir studija	18
5. REZULTATI	18
5.1. Sportovi u kojima je dinamičko opterećenje nisko	19
5.2. Sportovi u kojima je dinamičko opterećenje umjereno	23
5.3. Sportovi u kojima je dinamičko opterećenje visoko	27
5.4. Analiza rezultata	31
6. RASPRAVA	33
6.1. Pozitivni učinci kofeina.....	34
6.1.1. Mišićna izdržljivost.....	35
6.1.2. Anaerobna snaga	36
6.1.3. Aerobna izdržljivost.....	36
6.1.4. Mišićna snaga.....	37

6.1.5. Timski sportovi.....	37
6.1.6. Sportovi koji zahtijevaju visoku mišićnu snagu i izdržljivost.....	38
6.2. Negativni učinci kofeina	39
7. ZAKLJUČAK	41
8. ZAHVALA	42
9. LITERATURA	43
ŽIVOTOPIS	51

SAŽETAK

Pozitivni i negativni učinci kofeina na sportsku izvedbu

Matea Marjanović

Sportaši, vođeni željom za ostvarivanjem što boljih sportskih rezultata, uz naporne treninge često koriste i dodatke prehrani. Kofein je od strane Svjetske antidopinške agencije dozvoljeni dodatak prehrani za kojim sportaši posežu zbog njegova stimulativnog djelovanja. Kofein se u organizam može unijeti u različitim oblicima; u kavi, čaju, kroz energetske napitke, žvakaće gume i gelove koji sadržavaju kofein, te kao anhidrirani oblik – u tabletama ili prahu. Danas postoje dokazi koji podupiru ergogeno djelovanje kofeina na sportsku izvedbu. Međutim, treba uzeti u obzir da različiti sportovi zahtijevaju različitu razinu opterećenja te bi se moglo očekivati da kofein ne može postići jednak učinak u svakom sportu. Stoga je cilj ovog pregleda literature bio utvrditi postoji li razlika u djelovanju kofeina na sportsku izvedbu u različitim sportovima, ovisno o razini statičkog te dinamičkog opterećenja u pojedinom sportu. Bazirajući se na klasifikaciji sportova osnovanoj na dinamičkim i statičkim opterećenjima u 9 kategorija, iz svake kategorije odabran je barem jedan sport. Odabrani sportovi su sljedeći: golf, streličarstvo, streljaštvo, dizanje utega, odbojka, sprint (trčanje), hrvanje, nogomet, košarka i veslanje. Ovaj sustavni pregled obuhvatio je dvostruko slijepo randomizirane presječne studije koje su proučavale utjecaj kofeina na sportsku izvedbu. Kliničke studije provedene su na zdravim muškim i ženskim dobrovoljcima, većinom profesionalnim sportašima, pri čemu su ispitanici bili sami svoje kontrole. Za svaki sport odabrane su najviše tri dvostruko slijepo randomizirane presječne studije. Iz provedene analize 24 istraživanja proizlazi zaključak da bi konzumacija kofeina mogla biti ergogena za širok spektar sportskih zadataka. Također, podatci iz studija navedenih u ovom radu ukazuju na to da je pozitivan odgovor na konzumaciju kofeina učestaliji u sportovima s višom razinom dinamičkog opterećenja.

Ključne riječi: kofein, ergogeno djelovanje, golf, streličarstvo, streljaštvo, dizanje utega, odbojka, sprint (trčanje), hrvanje, nogomet, košarka, veslanje

SUMMARY

Positive and negative effects of caffeine on sports performance

Matea Marjanović

Athletes, besides hard training, often use food supplements to achieve the greatest results. Caffeine is the World Anti-doping Agency's approved supplement, commonly used among athletes because of its stimulating effect. Caffeine can be taken in various forms; as coffee, tea, energy drinks, caffeinated gums, gels with caffeine, and in anhydrous form – in capsules or powder. Currently, the available knowledge about caffeine consumption suggests caffeine could be ergogenic for numerous sports performances. Nevertheless, different sports require different sport intensity levels, so it could be expected that caffeine wouldn't accomplish the same effect in every sport. Therefore, the main objective of this review was to establish a difference in the effectiveness of caffeine on performance in different sports, depending on dynamic and static exercise components in every sport. Based on the classification of sports established on dynamic and static exercise components divided into 9 categories - there was at least one sport chosen from each category. Selected sports were: golf, archery, target shooting, weight lifting, volleyball, running sprint, wrestling, soccer, basketball, and rowing. This structured review included double-blind randomized cross-over studies that investigated the effects of caffeine on sports performance. Clinical studies were conducted on healthy male and female volunteers, mostly professional athletes, where the subjects served as their own controls. Up to three double-blind randomized studies were chosen for each sport. Based on the analysis of 24 studies the next conclusion could be made: caffeine could be ergogenic for a wide range of sports tasks. Furthermore, data from studies analyzed in this paper indicates that the positive effects of caffeine consumption could be expressed more often in sports with higher dynamic components.

Key words: caffeine, ergogenic effect, golf, archery, target shooting, weight lifting, volleyball, running sprint, wrestling, soccer, basketball, rowing

1. UVOD

1.1. Želja sportaša za boljom izvedbom

Profesionalni sportaši, a često i oni koji se sportom bave rekreativno, imaju želju ostvariti što bolje rezultate. Kako i sam moto Olimpijskih igara glasi - brže, više, jače - sportaši teže postavljanju novih rekorda, osvajanju novih medalja, upisivanja svog imena u povijest nekog sporta, ili samo žele napredovati i pomicati svoje vlastite granice. Kako bi postigli navedeno, osim napornog treniranja, često se pridržavaju i određenog plana prehrane, a neki koriste i dodatke prehrani ili čak nedopuštene tvari i metode (doping).

1.2. Dodaci prehrani

Dodacima prehrani smatraju se pripravci proizvedeni iz koncentriranih izvora hranjivih tvari ili drugih tvari s hranjivim ili fiziološkim učinkom koji imaju svrhu dodatno obogatiti uobičajenu prehranu u cilju održavanja zdravlja. U dodatke prehrani spadaju; vitamini i minerali, aminokiseline, esencijalne masne kiseline, vlakna, biljne vrste, organi i ekstrakti biljnih vrsta, mikroorganizmi, jestive gljive, alge, pčelinji proizvodi i druge tvari s hranjivim ili fiziološkim učinkom (1).

U Republici Hrvatskoj sastav i označavanje te stavljanje dodataka prehrani na tržište regulirano je Pravilnikom o dodacima prehrani (1), koji donosi Ministarstvo zdravstva.

U modernom društvu korištenje dodataka prehrani široko je rasprostranjeno i dobro prihvaćeno. Sportaši su najveći potrošači dodataka prehrani, a njihov primjer slijede i ostali, najčešće rekreativci koji redovito treniraju u teretanama. Želja za brzim postizanjem rezultata čini konzumaciju proizvoda poput dodataka prehrani atraktivnima (2). Nasuprot tome mnogi znanstvenici smatraju da pri pravilnoj i uravnoteženoj prehrani potrebe za dodacima nema. Ističu da su oni korisni u slučajevima nutritivnog deficita ili u strogim dijetama pri kojima je čitava grupa namirnica izbačena iz konzumacije (2, 3).

Sportaši često koriste dodatke prehrani kao ergogena sredstva – ona koja mogu povećati snagu i izdržljivost. Razlozi koje navode su sljedeći: poboljšanje izvedbe, ubrzavanje oporavka, prevencija bolesti, kompenziranje neadekvatne prehrane i osiguravanje dodatne energije (4), ali i povećanje mišićne mase, zamjena obroka ili mršavljenje.

Sustavni pregled literature iz 1994., koji uključuje istraživanja na 10 000 elitnih sportaša, navodi da je u prosjeku 46% sportaša koristilo dodatke prehrani, a da su ih profesionalni sportaši koristili više nego sportaši u srednjim školama ili na fakultetima. Također, navodi da žene koriste više dodataka prehrani nego muškarci, a profesionalni sportaši više nego opća populacija (4). Studija provedena na kanadskim sportašima koji su sudjelovali na Olimpijskim igrama pokazala je da je 69% sportaša u Atalanti 1996. i 74% u Sydneyu 2000. koristilo dodatke u prehrani (5). Zatim, rezultati studije iz 2010. provedene na 72 australska profesionalna sportaša iz 7 različitih sportova (kajak, plivanje, veslanje, atletičari, netball, hokej na travi i vaterpolo) pokazuju da je 87.5% sportaša koristilo barem jedan dodatak prehrani (6).

Navedene studije pokazuju porast korištenja dodataka prehrani u sportaša tijekom vremena (4-6).

1.3. Doping

Pojam doping u natjecateljskom sportu poznat je još od antičkih olimpijskih igara, kada su natjecatelji uzimali razne pripravke ne bi li time osigurali pobjedu, vječnu slavu i besmrtnost (7).

Doping je uporaba, uzimanje i davanje ljudskom organizmu stranih tvari ili većih količina tvari koje organizam normalno sadržava sa svrhom da se na umjetni način stimuliraju, odnosno uvećaju natjecateljske sposobnosti sportaša (8). On se u svojoj biti protivi temeljnoj vrijednosti sporta – sportskom duhu.

1.3.1. Antidoping

Krovna organizacija za borbu protiv dopinga je WADA (Svjetska antidopinška agencija). Ona donosi Popis zabranjenih sredstava koji se ažurira svake godine. Zabranjena sredstva podrazumijevaju farmakološki aktivnu tvar koja je navedena u bilo kojem dijelu Popisa zabranjenih sredstava i koja nije odobrena za terapijsku upotrebu kod ljudi od strane niti jednog državnog regulatornog zdravstvenog tijela (npr. lijekovi u pretkliničkoj ili kliničkoj fazi razvoja ili lijekovi čiji je razvoj prekinut, dizajnerske tvari, tvari odobrene samo u veterini) (9).

Jedan od problema za sportaše jest činjenica da se na tržištu može pronaći niz proizvoda - dodataka prehrani, koji u sebi sadrže nedozvoljena sredstva prema kodeksu WADA-e. Ti proizvodi, deklarirani kao dodatci prehrani, nisu podložni strogim kontrolama pa se u nekima od njih pronađu anabolici kao što su prohormoni (steroidni sastojci poput androstendiona) ili stimulansi kao što je efedrin. Prema WADA-i sportaši su osobno odgovorni za svaku nedozvoljenu tvar koja je ušla u njihov organizam. Činjenica da proizvođač nije deklarirao nedozvoljenu tvar na proizvodu ne oslobađa sportaša krivnje i odgovornosti pred antidopinškim organizacijama (7). Stoga sportaši moraju biti svjesni onoga što unose u svoje tijelo, kako bi izbjegli neželjeni doping.

1.4. Gdje pripada kofein - u dodatke prehrani ili doping?

Kofein je stimulans za kojim sportaši često posežu. Njegovo korištenje već je dugo kontroverzno, a učinci na organizam još se istražuju; pa ga stoga nadziru sportske i antidopinške organizacije (10).

Prema WADA-inim pravilima korištenje tvari prije ili tijekom sportskog natjecanja treba biti zabranjeno kada zbog njegovog korištenja pojedinci zadovoljavaju 2 od 3 sljedeća kriterija: poboljšanje izvedbe zbog supstance, ako korištenje ugrožava zdravlje pojedinca ili narušava sportski duh (10, 11).

Kofein je 1984. uvršten kao nedozvoljena supstanca na Popis zabranjenih sredstava (9), i određena je maksimalna dozvoljena količina u urinu: 15 µg/mL. Godinu poslije

taj je prag pomaknut na 12 µg/mL (10). Kako je naknadno pokazano da i puno niže doze kofeina mogu imati pozitivne učinke na sportsku izvedbu te da je teško odrediti granicu između socijalnog konzumiranja i zloupotrebe kofeina - WADA je 2004. godine uklonila kofein s Popisa zabranjenih sredstava (9, 10).

Danas je kofein uključen u WADA Monitoring program (12) dizajniran za promatranje i otkrivanje zlouporabe supstanci koje nisu na Popisu zabranjenih sredstava (9). Uporaba kofeina se kroz WADA Monitoring program promatra samo na natjecanjima.

Kako se kofein trenutno ne smatra zabranjenim sredstvom, on je uvršten u dodatke prehrani. Uz njega, danas se smatra da nitrat, natrijev bikarbonat, kreatin monohidrat, te vjerojatno i β-alanin mogu izravno poboljšati sportsku izvedbu (13). Australški institut za sport svrstava ga u grupu A klasifikacije po učinkovitosti i sigurnosti suplemenata; u suplemente koji imaju podršku za korištenje u sportaša u posebnim situacijama (14).

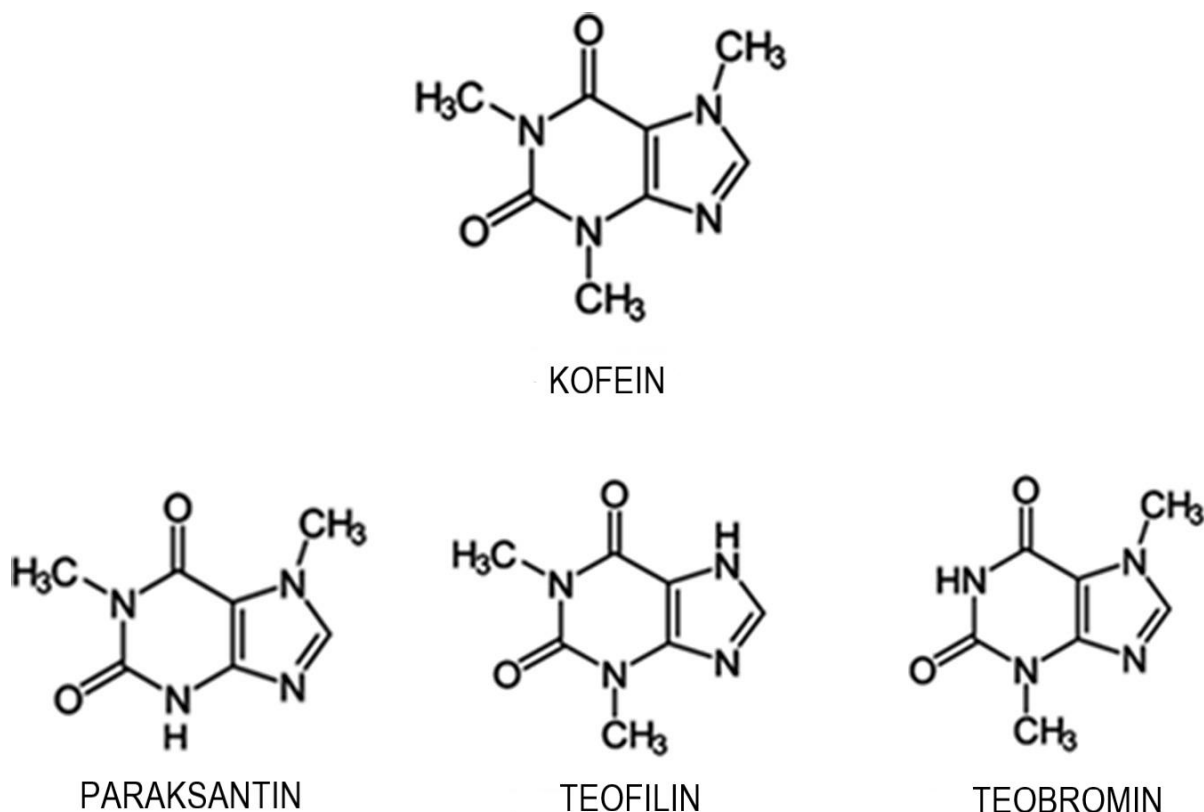
2. KOFEIN

2.1. O kofeinu – kemijska struktura i metabolizam

Kofein, po kemijskoj strukturi 1,3,7 – trimetilksantin, najviše je konzumirana farmakološka i psihoaktivna tvar u čitavom svijetu. Odrasle osobe u SAD-u konzumiraju prosječno 3 mg/kg kofeina dnevno, najčešće pijenjem kave, čaja te sokova koji u sastavu imaju kofein. Šalica kave sadrži prosječno 60 do 150 mg, šalica čaja 40 do 60 mg, a čaša soka (npr. kole) 40 do 50 mg kofeina (15).

Nakon konzumacije, kofein se brzo apsorbira kroz gastrointestinalni sustav i koncentracija u krvi se povećava. Djelovanje počinje nakon 15 – 45 minuta, a kofein dostiže maksimalne vrijednosti otprilike 60 minuta nakon unosa (16). Poluživot kofeina, tj. vrijeme potrebno da se njegova koncentracija smanji na polovicu početne vrijednosti, najčešće iznosi oko 5 - 6 sati. U djece, trudnica, starijih osoba i u fetusu to je vrijeme duže, dok je u pušača kraće (17). Zbog liposolubilnosti prolazi krvno –

moždanu barijeru. Metabolizira ga jetra u tri metabolita (18): paraksantin (79%), teofilin (4%) i teobromin (11 %) (Slika 1). Kofein, kojega 10% ostaje u nepromijenjenom obliku, i njegovi metaboliti iz organizma se izlučuju najviše putem mokraće (16, 17).



Slika 1. Kemijske strukture metilksantina: kofeina, paraksantina, teofilina i teobromina (preuzeto i prilagođeno prema Public Library of Science (19))

2.2. Prirodni izvori

Kofein je alkaloid prisutan u mnogim biljkama. Najviše ga ima u čaju (*Camellia sinensis*), kavi (*Coffea arabica*, *Coffea liberica*, *Coffea robusta*) i kakaovcu (*Theobroma cacao*) (17). Uz već navedene, biljka guarane (*Paullinia cupana*) se najčešće koristi kao izvor kofeina za energetske napitke (npr. Monster Energy, Rockstar i 180) (20), a biljka kole (*Cola acuminata*) kao sastojak osvježavajućih pića (21).

2.3. Mehanizam djelovanja kofeina

Brojne pojedinačne studije, kao i meta-analize, slažu se da postoji dovoljno dokaza da kofein djeluje ergogeno na sportsku izvedbu (22, 23). Nekoliko je mehanizama pomoću kojih se pokušava objasniti djelovanje kofeina na ljudski organizam (16), ali točni mehanizmi još se istražuju (24).

Mehanizam djelovanja kojim kofein poboljšava sportsku izvedbu nije jedinstven, niti se može objasniti jednim mehanizmom; on je multifaktorijalan, i uključuje i kognitivnu percepciju i habituaciju (25). Kako kofein lako prolazi kroz krvno-moždanu barijeru, kao i kroz sve ostale membrane u tijelu, teško je odrediti na koji sustav on ima najveći učinak (16).

Trenutno se najznačajnijim smatra mehanizam pri kojem se kofein natječe s adenozinom na adenzozinskim receptorima (16, 24, 26). Adenzozin, preko svojih receptora raspoređenih po čitavom tijelu, djeluje na procese u mnogim tkivima, uključujući mozak, srce, glatke mišiće, adipocite i poprečno-prugaste mišiće (27). Poznata su 4 tipa adenzozinskih receptora: A₁, A_{2A}, A_{2B}, A₃. (28). Adenzozin tako u mozgu, preko A₁ i A_{2A} receptora, inhibira neuronalnu ekscitabilnost i sinaptičko provođenje. (26). Inhibirajući oslobađanje dopamina, adenzozin reducira budnost i motivaciju (23).

Kofein i drugi metilksantini vezanjem na adenzozinske receptore ne potiču zaseban odgovor tkiva, nego, zauzimajući mjesta na receptoru, onemogućuju vezanje adenzozina i tako antagoniziraju njegove učinke (28). Stoga bi se ergogeni učinak kofeina mogao objasniti moduliranjem oslobađanja ekscitacijskih neurotransmitora - najviše dopamina (26). Kao indirektni stimulans (23) kofein podiže koncentraciju dopamina. Kofein je zato sporim izlučivanjem iz organizma snažna obrana protiv inhibirajućih učinaka adenzozina, što objašnjava povećanje izdržljivosti i odgodu zamora prilikom sportske izvedbe (23). Ovo otkriće ide u prilog teoriji da je jedno od primarnih mjesta učinka kofeina središnji živčani sustav (SŽS).

Otkriveno je da i imunološke stanice prezentiraju A_{2A} adenzozinske receptore na svojoj površini, što bi značilo da bi kofein mogao djelovati i na njih antagonizirajući adenzozin. Poznato je da upalni odgovor uključuje proupalne i protoupalne tvari, što vrijedi i za upalni odgovor nakon tjelovježbe. IL – 10 igra važnu ulogu kao protoupalni

citokin, proizvode ga imunološke stanice, a čini se kako bi mogao biti nužan u oporavku tkiva nakon tjelovježbe. Stoga je moguće, iako taj mehanizam još nije potvrđen, da kofein, povećavajući koncentraciju IL – 10, pomaže u regulaciji upalnog odgovora i regeneracije mišića (29).

Kofein djeluje i na endokrini, mišićni, kardiovaskularni, dišni, bubrežni sustav. Stimulira bronhodilataciju, vazodilataciju, aktivaciju mišićnih kontrakcija preko živčano - mišićne spojnice, filtraciju krvi kroz bubrege, sekreciju kateholamina i lipolizu (25).

Rezultati nekih istraživanja pokazuju kako kofein djeluje tako da štedi glikogen (25), a povećava iskorištavanje slobodnih masnih kiselina (SMK) (16, 24, 30).

Stimulira lipolizu i inhibira lipogenezu, što potiče oslobađanje glicerola i slobodnih masnih kiselina iz masnog tkiva u plazmu, čime se povećava njihova dostupnost aktivnim mišićima. Navedeni mehanizam dovodi do štednje ugljikohidrata, te se vrijeme do iscrpljenosti produžuje (31). Ovaj mehanizam još nije potvrđen.

Još jedan mogući mehanizam preko kojeg kofein povećava izdržljivost je povećavajući sekreciju β -endorfina, čime se smanjuje percepcija boli, i time on ima i analgetski učinak (16).

Starije in vitro studije pokazale su da kofein ubrzava izlazak kalcija (Ca^{2+}) iz sarkoplazmatskog retikuluma (SR), usporava ponovan ulazak Ca^{2+} u SR i povećava osjetljivost miofibrila na Ca^{2+} , kao i da se kofein veže na rajanodinske receptore 1 (RyR1) na skeletnim mišićima. U tim in vitro eksperimentima mišići su bili izloženi visokim koncentracijama kofeina. Međutim, novija studija (32) ne govori u prilog tome mehanizmu. Provedenim eksperimentom istraživači su pokazali da pri uobičajenoj dozi od 6 mg/kg tjelesne mase kofeina, nema povećanja mišićne snage. Navode da je za otvaranje RyR1 receptora potrebna puno viša koncentracija kofeina, u dozama koje bi bile toksične za ljude. Ipak, naglašavaju da je provedena studija proučavala mišićnu snagu na mišićima u stanju odmora, te navode da je moguće da je za umorne mišiće potrebna niža doza kofeina, pa ne isključuju mogućnost da bi kofein tada mogao djelovati preko intramuskularnog mehanizma (32).

Ingestija kofeina povisuje koncentraciju adrenalina u krvi; učinak koji se često pripisuje kafi (25). Aktivacijom simpatičkog živčanog sustava djeluje na više metaboličkih puteva čime može poboljšati sportsku izvedbu. Poticanjem otpuštanja

adrenalina iz nadbubrežnih žlijezda povećava se frekvencija srca, brzina širenja impulsa mišićem (33) i otpuštanje SMK potrebnih za energiju (23).

Aktivni metaboliti kofeina, paraksantin, teobromin i teofilin, imaju duži poluživot nego kofein - čak do 12 h (23). Teofilin je također potentni antagonist adenozijskih receptora, ali prijašnje studije pokazale su da koncentracije paraksantina i teofilina ne porastu dovoljno u plazmi da bi oni imali učinak (27).

Novije istraživanje provedeno na štakorima pokazalo je da paraksantin, djelujući na adenozijske receptore, ima snažnije učinke na lokomotorni sustav nego kofein, te povećava oslobađanje dopamina u striatumu (34). Da bi ustanovili postoji li isti učinak i kod ljudi, trebali bi istražiti doseže li koncentracija paraksantina dovoljno visoku koncentraciju u SŽS nakon konzumacije kofeina. U prilog toj teoriji ide i otkriće da u eksperimentalnih životinja prilikom dugoročne konzumacije kofeina, metaboliti mogu imati više koncentracije u plazmi nego kofein (34). Smatra se da bi djelovanjem metabolita kofeina, njegovi učinci mogli biti produženi (23).

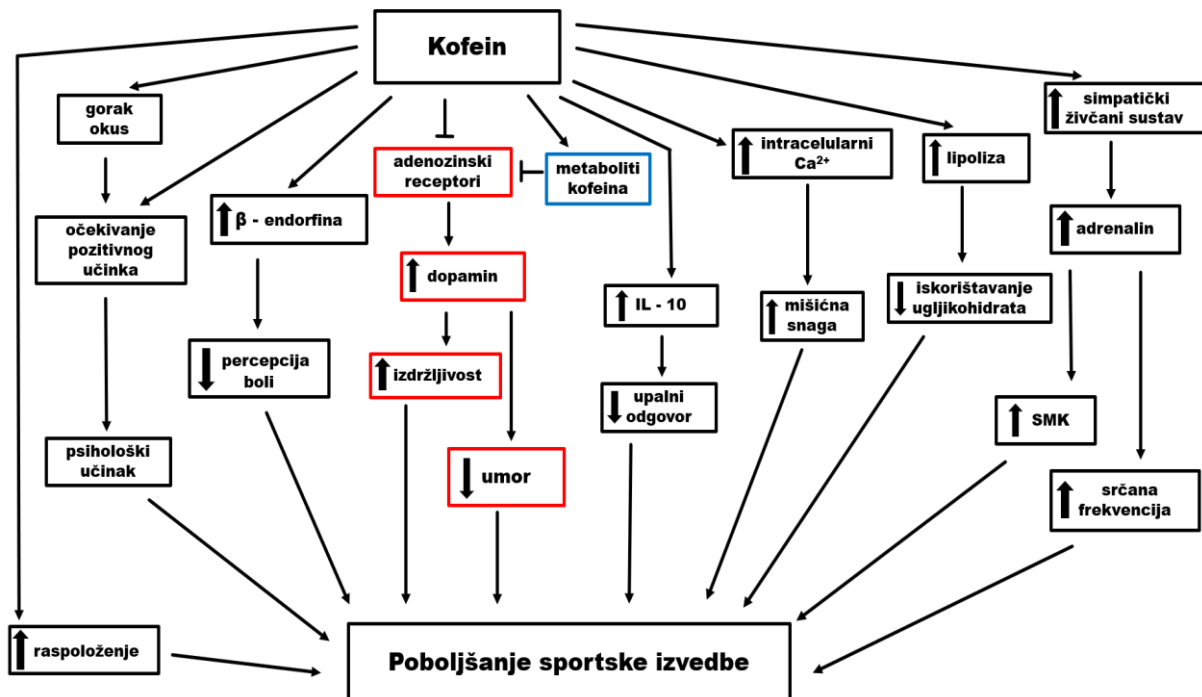
Uz sve navedeno kofein pozitivno utječe na budnost, raspoloženje, te poboljšava izvedbu za koju bi se očekivalo da će biti lošija zbog nedostatka sna. Svi navedeni učinci isto tako doprinose poboljšanju sportske izvedbe (33).

Adenozijski receptori mogu se pronaći i u ustima, a kofein može biti apsorbiran i preko bukalne sluznice. Imajući to na umu, Pickering (33) je odlučio proučiti može li gorak okus biti jedan od uzroka pozitivnog djelovanja kofeina. Zaključio je da ispiranje usta kofeinom, bez ingestije, nije dovoljno za ergogeni učinak. Smatra da je uzrok tome nedovoljno dugo vrijeme pri kojem je kofein u usnoj šupljini tijekom ispiranja (cca 10 sec), dok za gastrointestinalnu apsorpciju kofeinu treba otprilike 45 min. Ali navodi, da učinak kofeina može biti ostvaren dijelom zbog očekivanja pozitivnog učinka; pa tako prepoznavanje gorkog okusa potencijalno može psihološki izazvati pozitivan učinak.

Neke studije također podržavaju i psihološki učinak; očekivanje i vjerovanje da oralna konzumacija kofeina povećava ergogenost, mogu biti, uz farmakološke mehanizme, značajni za djelovanje kofeina (35).

Pri pokušajima otkrivanja mehanizma preko kojeg kofein djeluje, različiti rezultati studija mogli bi se objasniti i varijabilnošću bioloških odgovora na kofein u različitim jedinki (31).

Iako se mehanizmi djelovanja kofeina još diskutiraju i istražuju, temeljem ovdje navedenih mogućih mehanizama, na Slici 2 prikazana je shema.



Slika 2. Shema mogućih mehanizama kojima kofein poboljšava sportsku izvedbu

Crveno – najviše istražen mehanizam, plavo - mehanizam preko aktivnih metabolita kofeina, crno – ostali mehanizmi

2.4. Način unosa kofeina

Kofein se u organizam može unijeti u različitim oblicima; u kavi, čaju, kroz energetske napitke, žvakaće gume i gelove koji sadržavaju kofein, te kao anhidrirani oblik – u tabletama ili prahu.

Utječe li forma u kojoj je kofein konzumiran na njegov učinak - pitanje je na koje mnogi znanstvenici i sportaši žele znati odgovor (25, 27).

U studijama koje su ispitivale učinak kofeina, on je najčešće bio u anhidriranom obliku (koncentriran u obliku praha) ili u kapsulama (22). Isto tako neke studije istraživale su može li i kava imati ergogeni učinak zbog sadržaja kofeina u njoj (16).

Bitno je napomenuti da je kava biološka tvar, i kada su njena zrna pržena, mljevena i zalivena kipućom vodom – stotine komponenti oslobađa se uz kofein i druge metilksantine. Sadržaj kofeina u kavi je otprilike 2%, ostalo čine lipidi, ugljikohidrati, proteini, a u niskim koncentracijama i nikotinska kiselina, antagonisti opioidnih receptora, te kolinomimetici. Navedene druge komponente mogu biti odgovorne za neke metaboličke učinke kave (25).

Graham i suradnici 1998. proveli su dvostruko slijepo istraživanje u kojem su ispitanicima dali: placebo (kapsule dekstroze) uz vodu, kavu, kavu bez kofeina, kavu bez kofeina uz kapsulu kofeina, ili kapsulu kofeina uz vodu. Osigurali su jednake količine kofeina, bilo u kavi ili kapsulama, 4.45 mg/kg tjelesne težine (TT), a u svakom eksperimentu dana je jednaka količina tekućine (kava ili voda), 7.15 mL/kg. Ispitanici su sat vremena nakon konzumacije trčali do iscrpljenosti. Cilj je bio usporediti učinak istih količina kofeina u kavi ili kapsulama. Rezultati su pokazali slične koncentracije kofeina u plazmi nakon konzumacije, ali poboljšanje izdržljivosti samo u onih ispitanika koji su konzumirali kofein u kapsulama. Graham i suradnici iz toga su zaključili da je moguće da neke komponente u kavi interferiraju s kofeinom te antagoniziraju njegov ergogeni učinak (25).

Hodgson i suradnici 14 godina kasnije, 2012., proveli su sličnu studiju; istraživali su učinak kofeina na izvedbu u biciklista koji imaju zadatak biciklirati na ergometru. Eksperiment je proveden nakon konzumacije kave ili anhidriranog kofeina (oboje u dozi od 5 mg/kg kofeina), kave bez kofeina i placeba. Nad svim ispitanicima provedena su sva 4 eksperimenta (placebo, kava bez kofeina, kava, anhidrirani kofein) s razmakom od 7 dana. Rezultati su pokazali da su i anhidrirani kofein i kava bili jednako učinkoviti u poboljšanju izdržljivosti, u usporedbi s kavom bez kofeina i placebo, iako su primijetili da metabolički odgovori na kapsule kofeina i kavu nisu bili jednaki (36).

Jedan od razloga kontradiktornih rezultata u studijama mogao bi biti različit tip sportskog zadatka u eksperimentima (36), kao i to što su ispitivanja provedena na relativno malim uzorcima ispitanika (22).

Trexler i suradnici pokazali su da kofein u anhidriranoj formi ne poboljšava učinak više nego ga i kava poboljšava, te su zaključili da je kava prikladan izvor kofeina za poboljšanje izvedbe sprinta (37).

Stoga, novije studije, sustavni pregledi i meta-analiza sugeriraju kako i kava kao izvor kofeina ima ergogeni potencijal. Za pojedinca koji ima tjelesnu masu od 70 kg, otprilike dvije šalice kave trebale bi biti dovoljne za ergogeni učinak, jer one osiguravaju dozu od oko 3 mg kofeina po kg tjelesne mase – što se pokazalo kao dovoljna količina za poboljšanje sportske izvedbe. Ovdje treba uzeti u obzir da količina kofeina u kavi može varirati ovisno o vrsti zrna kave, načinu pripremanja, brendu, okusu i slično (22).

Razni sportski i energetske napitci također mogu biti izvor kofeina sportašima, međutim, prilikom konzumacije takvih napitaka teško je izdvojiti koji aktivni sastojak u kojoj mjeri doprinosi poboljšanju izvedbe (38).

Važno je znati razliku između sportskih i energetskih napitaka. Naime, sportski napici sadrže 10 – 35 mmol/L natrija, 3 – 5 mmol/L kalija i 5 - 8% jednostavnih ugljikohidrata (glukoza, sukroza, fruktoza), te su namijenjeni rehidraciji sportaša i održavanju ravnoteže elektrolita. Energetske napici imaju više od 10 % jednostavnih ugljikohidrata, stimulanse (kofein), biljni ekstrakt gurane, te mogu sadržavati aminokiseline (najčešće taurin) i vitamine B – kompleksa. Namijenjeni su održavanju budnosti, i reklamiraju se kao „izvori“ energije (zbog visokih količina ugljikohidrata u njima) (13, 20). Naprimjer, jedna limenka jednog od najpoznatijih energetskih napitaka sadrži 80 mg kofeina na 250 mL (20, 38).

Energetske napitci pokazali su se učinkovitima za poboljšanje sportske izvedbe, djelujući pozitivno na fizičku spremnost kao i na motivaciju i volju. Nažalost, zabilježena je i veća učestalost nuspojava poput nervoze i nesanicice (39).

Proučavani su i sportske napitci s dodatkom kofeina, uz otkriće da oni s dodatkom kofeina više doprinose poboljšanju sportske izvedbe, nego oni koji su samo elektrolitna otopina s ugljikohidratima (38, 40).

Prisutan je porast interesa za konzumacijom kofeina u drugim, alternativnim, oblicima.

Nekoliko studija potvrdilo je da energetske gume i čokoladice sa 100 mg kofeina, konzumirane najčešće 10 min prije sportskog zadatka ili nekoliko puta tijekom izvođenja zadatka; poboljšavaju kognitivne funkcije, produžuju vrijeme do iscrpljenosti, i pomažu ostvariti bolje finalno vrijeme u utrkama (38, 41, 42).

Zanimljiv izvor kofeina su i žvakaće gume, proučavane najprije za potrebe vojnih službi. Naime, kapsule kofeina dokazano su uspješne u smanjenju umora te poboljšanju raspoloženja i izvedbe, ali im treba najmanje 20 – 30 min da bi dovoljna koncentracija kofeina iz gastrointestinalnog sustava prešla u krv, i proizvela učinke u SŽS. Stoga se postavila hipoteza da kofeinska žvakaća guma može skratiti vrijeme koje je potrebno za postizanje dovoljne koncentracije kofeina u krvi nužne za njegove učinke, ako se kofein apsorbira i preko bukalne sluznice. Temelj za tu hipotezu je bogata vaskularizacija bukalne sluznice, preko koje je moguća apsorpcija neki drugih lijekova čime se izbjegava metabolizam prvog prolaska kroz jetru. Zaista, provedene studije pokazale su da se korištenjem kofeinske žvakaće gume, dovoljna koncentracija kofeina u plazmi dostiže brže u usporedbi s kofeinskim kapsulama, ali i da to ovisi o dozi kofeina u žvakaćim gumama - 50, 100, 200 mg. Objašnjenje rezultata je sljedeće: uz apsorpciju preko bukalne sluznice, kofein dolazi do crijeva i gutanjem sline, gdje se također apsorbira (38). No, tu treba napomenuti da učinak ovisi i o vremenu koje je žvakaća guma bila u usnoj šupljini, jer je pokazano (kako je već ranije navedeno), da ispiranje usta kofeinom u trajanju od nekoliko sekundi nije dovoljno za ergogeni učinak.

Što se tiče koncentracije kofeina u čaju, ona ovisi o vrsti čaja – najčešće su to crni, zeleni, bijeli. Navedene vrste čaja pripremljene su od listova iste biljke *Camellia sinensis*, ali su različite zbog procesa obrade listova. Osim o vrsti čaja, koncentracija kofeina u njemu ovisi i o brendu koji čaj stavlja na tržište te vremenu namakanja (ekstrakcije iz čaja) prilikom pripravljanja. Istraživanje provedeno na 20 komercijalno dostupnih čajeva pokazalo je da šalica čaja od 177 ml sadrži kofein u rasponu od 0 do 61 mg, pri čemu voćni 0 mg, bijeli od 15 do 47 mg, zeleni od 5.5 do 41 mg, a crni od 14 do 61 mg kofeina. Zaključak tog istraživanja je da je koncentracija kofeina u čaju niža od one u istoj količini kave ili energetskog pića, ali slična ili čak viša nego u nekim gaziranim sokovima pri istoj količini (43).

Kako je koncentracija kofeina u čaju niža, on nije idealan izbor kao izvor kofeina za poboljšanje sportske izvedbe, prvenstveno zbog visokog unosa tekućine koji bi bio prisutan da bi se postigla željena (ergogena) doza kofeina.

U Tablici 1 prikazana je količina kofeina u pojedinom pripravku, a vrijednosti navedene u tablici prikupljene su iz raznih izvora, uključujući i deklaracije na pakiranjima proizvoda.

Tablica 1. Količina kofeina u različitim pripravcima (43-47)

Izvor kofeina	Vrsta pripravka	Količina kofeina	
		Prosječno	Interval
Čaj			
	Voćni	0 mg	
	Bijeli	15 mg / 237 mL	15 – 47 mg / 237 mL
	Zeleni	25 mg / 237 mL	24 – 45 mg / 237 mL
	Crni	47 mg / 237 mL	26 – 61 mg / 237 mL
Kava			
	Bez kofeina	3 mg / 237 mL	0 – 7 mg / 237 mL
	Espresso	64 mg / 30 mL	45 – 75 mg / 30 mL
	Instant	60 mg / 250 mL	12 – 169 mg / 250 mL
	Filter kava (eng.brewed)	80 mg / 250 mL	40 – 110 mg / 250 mL
Energetski napitak		80 mg / 250 mL	80 – 92 mg / 250 mL
Kofeinska žvakaća guma		50 mg / komad	5 mg – 200 mg / komad
Kofeinski gel		50 mg	25 – 100 mg / komadu
Kapsule kofeina		100 mg	65 – 200 mg / tableta
Sok	Kola	34 mg / 355 mL	30 – 68 mg / 355 mL
Prah		100 mg	50 mg (1/64 čajne žličice) – 200 mg (1/16 čajne žličice)

2.5. Doza i vrijeme konzumiranja kofeina

Dosta studija koje su ispitivale učinke kofeina, istraživale su kako njegov učinak ovisi o konzumiranoj dozi. Ispitivane doze već od 1 mg pa čak do 13 mg po kg tjelesne težine (TT) pokazale su pozitivne učinke na sportsku izvedbu; produljenje vremena do iscrpljenosti, te povećanje uspješnosti u testovima mišićne snage i sprintovima (15).

Ustalila se podjela na niske (do 3 mg/kg TT), srednje (4-6 mg/kg TT) i visoke doze (iznad 7 mg/kg TT), pri čemu se pokazalo da su i niske do srednje doze kofeina dovoljne za poboljšanje izvedbe (16). Koncentracija kofeina u plazmi ovisi o količini kofeina koja je konzumirana. Konzumacijom 3 mg/kg kofeina, nakon 45 – 90 min (prosječno 60), dostiže se vršna koncentracija kofeina u krvnoj plazmi od otprilike 15 – 20 μM . Pri konzumaciji 6 mg/kg kofeina ta koncentracija iznosi 40 – 50 μM , a pri količini od 9 mg/kg iznosi 60 – 75 μM (44).

Široko pravilo palca (*lako provediva procedura koja se temelji više na iskustvu nego teoriji*) glasilo bi ovako: Dvije šalice kave od 250 mL sadrže otprilike 200 mg kofeina (što za prosječnu odraslu osobu težine 70 kg iznosi oko 3 mg kofeina po kg tjelesne težine), te bi konzumirane oko 60 minuta prije tjelovježbe, trebale osigurati ergogeni učinak za većinu sportova kod većine pojedinaca (22) (Slika 3).



2 šalice filter kave



4 šalice crnog čaja



**2.5 limenke
energetskog napitka**



4 kofeinske žvakaće gume



2 kofeinske kapsule



200 mg kofeina u prahu

Slika 3. Najmanja dokazana ergogena doza (3 mg/kg) kofeina za odraslu osobu tjelesne težine 70 kg, tj. otprilike 200 mg, prikazana u različitim izvorima kofeina (prilagođeno prema International Food Information Council Foundation (45))

3. CILJ RADA

Cilj je ovog rada utvrditi postoji li razlika u djelovanju kofeina na sportsku izvedbu u različitim sportovima, ovisno o razini statičkog i dinamičkog opterećenja u pojedinom sportu. Također istražiti postoji li realna potreba za suplementacijom kofeinom, te treba li dozu i vrijeme konzumacije prilagoditi pojedincu.

4. METODE

Ovaj sustavni pregled obuhvatio je kliničke studije koje su proučavale utjecaj kofeina na sportsku izvedbu. Kliničke studije provedene su na zdravim muškim i ženskim dobrovoljcima, većinom profesionalnim sportašima. Studije su uzimane neovisno o tome koji je izvor kofeina bio korišten u istraživanju (žvakaća guma, kapsule, kofeinski napitci, prah, gel, sportski napitak).

Zlatni standard za istraživanje učinaka suplemenata na sportsku izvedbu jesu kontrolirani randomizirani znanstveni pokusi, u kojima su ispitanici slučajno raspoređeni za primanje tvari koja se ispituje ili u presječnoj studiji primaju i ispitanu tvar i placebo u obrnutom redoslijedu (46). Stoga je u svim studijama navedenim u ovom diplomskom radu korišten presječni dizajn studije, gdje su ispitanici bili sami svoje kontrole, uzimajući i kofein (u svakom obliku koji se ispituje u studiji) i placebo.

4.1. Odabir sportova

Bazirajući se na klasifikaciji sportova osnovanoj na dinamičkim i statičkim opterećenjima u 9 kategorija (Tablica 2), iz svake kategorije odabran je barem jedan sport. Odabrani su sljedeći sportovi: golf, streljaštvo, streličarstvo, dizanje utega, odbojka, sprint (trčanje), hrvanje, nogomet, košarka i veslanje.

Tablica 2. Klasifikacija sportova, koja se osniva na dinamičkim i statičkim opterećenjima tijekom natjecanja (8, 47). Sportovi odabrani u ovom radu označeni su crveno.

STATIČKO OPTEREĆENJE	DINAMIČKO OPTEREĆENJE		
	A. NISKO	B. UMJERENO	C. VISOKO
I. Nisko	Bilijar Kriket Golf Streljaštvo-puška Bacanje čunjeva na ledu	Košarka Odbojka Stolni tenis Tenis (parovi)	Badminton Skijaško trčanje (klasična tehnika) + Orijentacijsko trčanje Brzo hodanje Trčanje na duge pruge Nogomet + Squash Tenis (pojedinačno)
II. Umjereno	Streličarstvo Automobilizam + o Ronjenje + o Motociklizam + o Jahanje + o	Mačevanje Atletski skokovi Američki nogomet Umjetničko klizanje + Rodeo + o Ragbi + o Sprint + o Jedrenje Sinkronizirano plivanje o	Košarka + Hokej na ledu + Skijaško trčanje (klizačka tehnika) Nogomet (australska pravila) Kros trčanje Trčanje na srednje pruge Plivanje Rukomet
III. Visoko	Vožnja bobom + o Atletska bacanja Gimnastika + o Karate + o Judo + o Jedrenje + o Penjanje uz stijene + o Skijanje na vodi + o Dizanje utega + o Jedrenje na dasci + o	Bodibilding + o Alpsko skijanje + o Hrvanje + o	Boks Kajak/kanu Biciklizam + o Desetboj Veslanje Vaterpolo + o Klizanje

(+) opasnost od kolizije

(o) povećana opasnost sinkopalne atake

4.2. Izvori podataka

Kao izvor kliničkih studija korištene su baze podataka PubMed, Cochrane Library te Google Scholar. Ključne riječi odabrane su s obzirom na klasifikaciju sportova (Tablica 2) te je pretraživanje provedeno pomoću sljedećih pojmova: (caffeine OR coffee) AND (sprint OR shooting OR archery OR golf OR strength OR chest-press OR squat OR basketball OR wrestling OR soccer OR volleyball OR rowing)

4.3. Odabir studija

Za svaki sport odabrane su tri dvostruko slijepe randomizirane presječne studije. Za većinu sportova to je bilo moguće, osim za golf (gdje su pronađene samo dvije), streličarstvo (gdje je pronađena jedna) i hrvanje (dvije). Zbog navedenog manjka studija, istraživanje o utjecaju kofeina na streljaštvo dodano je u kategoriju s golfom. Nisu pronađena istraživanja koja bi mogla biti dodana u kategoriju sa streličarstvom, niti hrvanjem, stoga je u ovome radu obrađeno 10 sportova podijeljenih u 9 kategorija, iz ukupno 24 studije (Tablice 3 – 12). Fokus je bio na istraživanjima rađenima na utreniranim sportašima, u kojima se ispituju specifični zadatci za neki sport ili barem zadatci slični onima koji se izvode u određenom sportu. Prilikom ove analize studije starije od 12 godina (starije od 2008.) nisu uzimane za sustavni pregled, uz iznimku jedne studije provedene na veslačima (48) zbog nedostatka novijih studija.

5. REZULTATI

Različiti sportovi temelje se na različitim čimbenicima; aerobnoj izdržljivosti, mišićnoj izdržljivosti, mišićnoj snazi, anaerobnoj snazi, preciznosti, koncentraciji. Stoga je logično očekivati da kofein bolje utječe na određene sportove, u ovisnosti od toga koje od navedenih bitnih čimbenika kofein poboljšava.

Kako bi se prikazao učinak kofeina na sportsku izvedbu sportovi su podijeljeni po visini dinamičkog opterećenje u one s niskim, umjerenim i visokim dinamičkim opterećenjem. Pri pretraživanju literature ustanovljeno je da najviše studija ispituje učinak kofeina na sportove s umjerenim i visokim dinamičkim opterećenjem.

U svim prikazanim tablicama u rezultatima M predstavlja ispitanike muškog spola, a Ž ženskog.

5.1. Sportovi u kojima je dinamičko opterećenje nisko

U kategoriji sportova niskog dinamičkog opterećenja odabrani su streljaštvo (Tablica 3), golf (Tablica 4), streličarstvo (Tablica 5) i dizanje utega (Tablica 6), pri čemu golf i streličarstvo pripadaju sportovima s niskim statičkim opterećenjem, streličarstvo sportovima s umjerenim statičkim opterećenjem, dok je dizanje utega sport s visokim statičkim opterećenjem.

Tablica 3. Streljaštvo - gađanje glinenih meta (49)

Studija	Ispitanici	Konzumacija kofeina – količina, izvor i vrijeme konzumacije	Sportski zadatak	Je li došlo do poboljšanja sportske izvedbe?
Share i sur. 2009.	Profesionalni (natjecatelji Svjetskih prvenstava ili Olimpijskih igara) streljači u disciplini dvostrukog pucanja u zamku (<i>eng. double-trap discipline</i>) (7 M)	2 mg/kg TT, 4 mg/kg TT kofeina ili placebo, precizno izmjerena količina kofeina u tabletama rastopljena u 30 mL limunova ili narančina soka, 60 min prije zadatka	4 runde, svaka s 50 glinenih meta pri prosječnom trajanju jedne runde od 16.2 min	Ne

U navedenoj studiji (49) kofein u dozi od 2 i 4 mg/kg TT nije pokazao pozitivne učinke na izvedbu, vrijeme reakcije ili vrijeme potrebno za uočavanje mete tijekom strijeljanja. Upitnikom o nuspojavama koji su ispunjavali ispitanici utvrđena je prisutnost sljedećih nuspojava: tremor, anksioznost i glavobolja. Kako tremor ruku može interferirati s izvedbom, opisane nuspojave mogle bi objasniti zašto nije došlo do poboljšanja izvedbe.

Tablica 4. Golf (50, 51)

USGA - United States Golf Association

UGH - ugljikohidrati

Studija	Ispitanici	Konsumacija kofeina – količina, izvor i vrijeme konzumacije	Sportski zadatak	Je li došlo do poboljšanja sportske izvedbe?
Stevenson i sur. 2009.	Golferi (20 M)	Sportski napitak (6.4 g UGH i 16 mg kofeina na 100 mL) ili placebo, 5 mL/kg TT prije početka, te kod rupa 6 i 12 dodatnih 2,5 mL/kg TT, što je 1.6 mg/kg TT kofeina i 0.64.g/kg TT UGH	Simulacija golf runde u laboratoriju, 18 rupa	Da, ali ne u svim ispitivanim segmentima
Mumford i sur. 2016.	Golferi sa USGA handicap 3 – 10 (12 M)	155 mg kofeina u mješavini sastojaka (vitamini B kompleksa, limunska kiselina, itd.) u bočicama od 2 mL, konzumiran na početku (25 – 35 min prije početnog uvježbavanja) i nakon 9.rupe, ili placebo iste boje u jednakim bočicama	Turnir u golfu na golfskom terenu (36 rupa); 2 dana zaredom po 18 rupa	Da, suplement koji sadržava kofein može reducirati zamor i poboljšati golfsku izvedbu u uvjetima golfskog turnira

Runda golfa otprilike traje 4 sata, pri čemu igrom na vanjskim terenima može doći do dehidracije i hipoglikemije; stoga je pitanje mogu li se pozitivni učinci pokazani u studiji koju su proveli Stevenson i suradnici (50) pripisati samo kofeinu ili ovise i o hidrataciji i ugljikohidratima unesenim izotoničnim ugljikohidratnim sportskim napitkom.

U studiji koju su proveli Mumford i suradnici (51) pri proučavanju rezultata treba uzeti u obzir da je kofein dan u mješavini sastojaka (a ne zasebno) te da je pri devetoj rupi ispitanicima dan i standardizirani obrok (zamjena za obrok u obliku pločica – 340 kcal).

Tablica 5. Streličarstvo (52)

Studija	Ispitanici	Konzumacija kofeina – količina, izvor i vrijeme konzumacije	Sportski zadatak	Je li došlo do poboljšanja sportske izvedbe?
Linoby i sur. 2014.	Profesionalni streličari (9 M)	300 mg kofeina u žvakačoj gumi ili žvakaća guma s glukozom (placebo) istog okusa, žvakanje tijekom 5 minuta, 45 minuta prije zadatka	Izbacivanje 12 strijela na metu standardne veličine udaljenu 18 m, u 2 grupe po 6 strijela; format Olimpijskog finala	Ne, nije se pokazao pozitivan učinak kofeina na preciznost i vrijeme reakcije

Nije došlo do poboljšanja izvedbe konzumacijom kofeina u ovoj studiji provedenoj na profesionalnim streličarima (52), a uzrok tome mogao bi biti tremor. Naime 7 od 9 ispitanika prijavilo je tremor u upitniku provedenom nakon eksperimenta. Ovdje treba uzeti u obzir da tremor nije ispitan objektivnom metodom, što bi bilo korisno učiniti u budućim istraživanjima.

Tablica 6. Dizanje utega (53-55)

RM – maksimalna težina utega koju ispitanik može podići u jednom ponavljanju (ispitan za svakog ispitanika pojedinačno prije prvog testa)

Studija	Ispitanici	Konzumacija kofeina – količina, izvor i vrijeme konzumacije	Sportski zadatak	Je li došlo do poboljšanja sportske izvedbe?
Polito i sur. 2019.	14 M koji su barem jednu godinu trenirali vježbe s opterećenjem	3 mg/kg TT ili 6 mg/kg TT kofeina u kapsulama s 200 mL vode konzumirane 60 min prije treninga, ili ništa (nije davan placebo)	3 seta ponavljanja do iscrpljenosti – <i>eng. chest-press, shoulder-press i biceps curl</i> sa 70% 1 RM, uz odmore između setova od 3 min, te 2 sec između koncentrične i ekscentrične faze	Da, pri čemu doza od 3 mg/kg TT i ona od 6 mg/kg TT slično povećavaju broj napravljenih ponavljanja prije iscrpljenosti

Studija	Ispitanici	Konzumacija kofeina – količina, izvor i vrijeme konzumacije	Sportski zadatak	Je li došlo do poboljšanja sportske izvedbe?
Grgić i sur. 2017.	17 M s iskustvom treninga pod opterećenjem u trajanju od 7 ± 3 god	6 mg/kg TT u anhidriranom obliku otopljeno u 250 mL vode uz 20 g Cedevite ili placebo (20 g Cedevite), 60 min prije testiranja	<i>eng. barbell bench press i barbell back squat</i> , u 5 setova tijekom kojih je postepeno povećavan postotak RM, uz smanjenje broja ponavljanja, 3 min odmora između setova	Da, ali ne u svim ispitivanim segmentima.
Tinsley i sur. 2017.	12 F i 9 M s iskustvom treninga pod opterećenjem 3.7 ± 2.6 god	Komercijalno dostupni dodatci prehrani korišteni neposredno prije sportske izvedbe (<i>eng. preworkout suplementi</i>), pri čemu jedan sadrži 300 mg kofeina, drugi ne sadrži kofein, ili placebo, 30 minuta prije ispitivanja, M 100% jednog serviranja, Ž 75% jednog serviranja	5 setova po 6 ponavljanja čučnjeva na spravi, faze čučnja 4 sek sa 0,5 sek između, testiranje provedeno	Ne

Osim djelovanja kofeina na vježbe s opterećenjem, Polito i suradnici (53) željeli su istražiti ovisi li sportska izvedba o tome je li ispitanik svjestan da mu je dan kofein. Stoga su proveli istraživanje bez placeba, na način da je i ispitanicima i onima koji su provodili istraživanje rečeno da će studija uključivati placebo, a umjesto kapsule placeba dana je kapsula kofeina. Time su pokazali da izvedba ne ovisi o tome je li netko prepoznao kofein.

Istraživanje koje su proveli Grgić i suradnici (54) pokazalo je pozitivne učinke kofeina na snagu donjeg dijela tijela. Također, poboljšanje u toj izvedbi udruženo je sa smanjenom percepcijom napora. Nasuprot tome, u provedenom istraživanju nije dokazan pozitivan učinak kofeina na snagu gornjeg dijela tijela.

U istraživanju koje su proveli Tinsley i suradnici (55) niti jedan od dodataka prehrani korištenih neposredno prije sportske izvedbe (*preworkout* suplemenata) nije pokazao bolji učinak od placeba, neovisno o tome je li pripravak sadržavao kofein. Znanstvenici pretpostavljaju da bi razlog tome mogao biti placebo efekt – bolja izvedba prilikom konzumacije bilo kakvog dodatka prehrani zbog psihološkog učinka.

5.2. Sportovi u kojima je dinamičko opterećenje umjereno

U kategoriji sportova umjerenog dinamičkog opterećenja odabrani su odbojka (Tablica 7), sprint (Tablica 8) i hrvanje (Tablica 9), pri čemu odbojka pripada sportovima s niskim statičkim opterećenje, sprint sportovima s umjerenim statičkim opterećenjem, dok je hrvanje sport s visokim statičkim opterećenjem.

Tablica 7. Odbojka (56-58)

Studija	Ispitanici	Konzumacija kofeina – količina, izvor i vrijeme konzumacije	Sportski zadatak	Je li došlo do poboljšanja sportske izvedbe?
Zbinden-Foncia i sur. 2017.	Elitni odbojkaši nacionalnog tima (10 M)	5 mg/kg TT kofeina ili placebo u kapsulama, 60 min prije testiranja	3 CMJ uz 1 min odmora između	Da, u dozi od 5 mg/kg TT kofeina povećala se izvedba CMJ skoka kod odbojkaša, bez ikakvih negativnih učinaka
Perez – Lopez i sur. 2014.	Elitni odbojkaši (13 Ž)	Energetsko piće s 3 mg/kg TT kofeina ili energetsko piće istog sadržaja i marke, ali bez kofeina, 60 min prije testiranja	Nekoliko specifičnih odbojkaških testova: <i>eng. spike jump, Squat jump, CMJ jump, block jump, manual dynamometry i the agility t-test</i> . 15 min nakon testova, simulacija igre u 3 seta na drvenoj površini u trajanju od otprilike 1 h	Da, povećani su: snaga stiska, izvođenje skokova, brzina lopte, brzina u specifičnim testovima. U igri povećan broj uspješnih akcija, a smanjen broj pogrešaka.

Del Coso i sur. 2014.	Odbojkaši (15 M)	Energetsko piće s 3 mg/kg TT kofeina ili energetsko piće istog sadržaja i marke, ali bez kofeina, 60 min prije testiranja	Nekoliko specifičnih odbojkaških testova: <i>spike test, Squat jump, CMJ jump, block jump, 15-s rebound jump test i agility T-test</i> . 15 min nakon testova, simulacija igre u 3 seta na drvenoj površini u trajanju od otprilike 1 h	Da, povećana snaga stiska, brzina lopte, visina skokova, brzina tijekom izvođenja specifičnih odbojkaških testova, te postotak akcija u igri koje su ocijenjene kao pozitivne.
-----------------------	------------------	---	---	--

Zbinden-Foncea i suradnici (56) pokazali su da kofein u dozi od 5 mg/kg poboljšava izvedbu CMJ skoka kod odbojkaša, bez ikakvih negativnih učinaka. Treba napomenuti kako je kofein u ovoj studiji pokazao pozitivan učinak u koncentričnoj fazi, dok u ekscentričnoj fazi skoka nije bilo razlika između kofeina i placeba.

U istraživanju koje su proveli Perez – Lopez i suradnici (57) kofein je pozitivno utjecao na snagu stiska, izvođenje skokova, brzinu lopte i brzinu u specifičnim testovima, a u igri je zabilježen povećan broj uspješnih akcija te smanjen broj pogrešaka. Kako je u istraživanju kofein jedan od sastojaka energetskog napitka postavlja se pitanje kako istraživači mogu sa sigurnošću tvrditi da je za pozitivne učinke zaslužan isključivo kofein. Oni to objašnjavaju ovako: u sadržaju energetskih pića mogu se pronaći i maltodekstrin, taurin, natrijev bikarbonat i L-karnitin, ali njihova količina bila je jednaka u oba napitka (sa ili bez kofeina) te su doze navedenih tvari bile manje od utvrđenih ergogenih doza tih tvari. Također, nakon provedenih testiranja, statistički značajne nuspojave bile su: nervoza i aktivnost.

Slično istraživanje proveli su i Del Coso i suradnici (58), te također pokazali doprinos kofeina u specifičnim odbojkaškim testovima. Zabilježili su veću učestalost nesanice nakon konzumacije kofeina.

Tablica 8. Sprint – trčanje (41, 59, 60)

MAS = maksimalna aerobna snaga, UGH = ugljikohidrati

Studija	Ispitanici	Konzumacija kofeina – količina, oblik i vrijeme konzumacije	Sportski zadatak	Je li sportska izvedba bila poboljšana?
Ispoglou i sur. 2016.	Profesionalni sprinteri (8 M)	Kofeinska žvakaća guma 6 mg/ kg TT - 15 min prije sprinta, ili kapsule kofeina 6 mg/kg TT - 45 min prije sprinta	3 x 40 m trčanja, s pauzom od 4 min između	Da
Cooper i sur. 2013.	Rekreativni sportaši (12 M)	Gel od 70 ml (25 g UGH + 100 mg kofeina) ili gel 70 ml (25 g UGH) ili 70 ml placebo gel - 60 min prije, netom prije početka i na kraju 2.bloka	Intermitentni sprint test (4 bloka, od čega svaki ima 11 krugova od po 3 ponavljanja – hodanje 20 m sa 60% MAS, sprint 15 m i tri ponavljanja trčanja na 20 m s 80% MAS, tri ponavljanja trčanja na 20 m s 60% MAS	Da
Glaister i sur. 2008.	Fizički aktivni studenti sportskih znanosti (21 M)	Kapsula kofeina 5 mg/ kg TT ili kapsula placeba 4 mg/kg TT maltodextrina - 45 mi prije	Višestruki sprint test - 12 x 30 m sprint trčanja, ponavljanih u 35 sekundnim intervalima	Da, ali značajan učinak na izvedbu vidljiv samo u ranim fazama višestrukog sprint testa (poboljšava prvih 5 sprintova od 12); učinak opada progresijom zamora

Ispoglou i suradnici (60) su na temelju istraživanja provedenog na profesionalnim sprinterima zaključili da je kofein učinkovito ergogeno sredstvo za sprintere. Nadalje,

temeljem najboljih rezultata u 2. sprintu smatraju da bi kofeinska žvakaća guma mogla biti učinkovitija od kofeinske kapsule.

Istraživanjem provedenim na rekreativnim sportašima Cooper i suradnici (41) zaključili su da je koingestija kofeina (100 mg) i ugljikohidrata (25 mg) uspješna u reduciranju zamora, te da doprinosi održavanju više razine glukoze u krvi tijekom završnih dijelova intermitentnog sprint testa izdržljivosti.

Glaister i suradnici (59) zaključili su da iako kofein poboljšava izvedbu u višestrukom sprintu testu, značajan učinak vidljiv je samo u ranim fazama testa. Također su htjeli ispitati mogu li ispitanici znati što su konzumirali iako su im dane kapsule kofeina i placebo istog volumena i boje. Nakon 4. tog testa 9 ispitanika od njih 21, točno je pogodilo koja je kapsula bila kofeinska, objašnjavajući to osjećajem povećanja energije.

Tablica 9. Hrvanje (61, 62)

UBISP (Upper-Body Intermittent Sprint Performance) - intermitentni sprint test gornjeg dijela tijela

Studija	Ispitanici	Konsumacija kofeina – količina, izvor i vrijeme konzumacije	Sportski zadatak	Je li došlo do poboljšanja sportske izvedbe?
Aedma i sur 2013.	Profesionalni hrvači uz minimalno 4 godine iskustva, 14 M	5 mg/kg TT kofeina ili placebo (glukoza) u kapsulama, 30 min prije sportskog zadatka	Simulacija natjecanja u hrvanju - 4 ponavljanja UBISP testa (u trajanju od 6 min, na ergometru) s 30 min odmora između	Ne, kofein u ovoj dozi nije povećao niti vršnu niti srednju snagu u treniranih hrvača u UBISP testu

Negaresh i sur. 2019.	Hrvači (12 M)	Placebo, 10 mg/kg TT, 4 mg/kg TT – 60 min prije pokusa, 2 mg/kg TT prije svake borbe, ili selektivna doza kofeina (poluživot kofeina u plazmi određen prije)	Simulacija hrvačkog turnira – 5 borbi s 2 runde u trajanju od 3 min	10 mg/kg TT poz učinak samo tijekom 1. borbe, 4 mg/kg TT nema učinka, ponavljana doza 2 mg/kg TT i selektivna doza poz. učinak u usporedbi s placeboom na 3. i 4. borbu, samo selektivna doza poz. učinak tijekom 5. borbe
-----------------------	---------------	--	---	--

Kofein u dozi od 5 mg/kg u istraživanju koje su proveli Aedma i suradnici (61) nije povećao niti vršnu niti srednju snagu u treniranih hrvača u intermitentnom sprint testu gornjeg dijela tijela. Štoviše vidljivo je statistički značajno smanjenje vršne snage tijekom 4. ponavljanja u navedenom testu. Smanjenje vršne snage pod utjecajem kofeina bilo je 2.3 puta veće nego ono u placebo pokusu. Istraživači navode kako bi uzrok negativnog učinka kofeina pokazanog u ovom istraživanju moglo biti usporeno uklanjanje laktata iz krvi.

Negaresh i suradnici (62) su nakon dobivenih različitih rezultata, u ovisnosti o dozi i ponavljanju konzumacije kofeina tijekom sportskog zadatka, zaključili da je potreban individualizirani protokol kako bi kofein imao pozitivan učinak na sportsku izvedbu.

5.3. Sportovi u kojima je dinamičko opterećenje visoko

U kategoriji sportova visokog dinamičkog opterećenja odabrani su nogomet (Tablica 10), košarka (Tablica 11) i veslanje (Tablica 12), pri čemu nogomet pripada sportovima s niskim statičkim opterećenjem, košarka sportovima s umjerenim statičkim opterećenjem, dok je veslanje sport s visokim statičkim opterećenjem.

Tablica 10. Nogomet (63-65)

Studija	Ispitanici	Konzumacija kofeina – količina, izvor i vrijeme konzumacije	Sportski zadatak	Je li došlo do poboljšanja sportske izvedbe?
Ellis i sur. 2018.	Prof. mladi (16 ± 1 god) nogometaši (15 M)	1,2 ili 3 mg/kg TT kofeina ili placebo (2 mg/kg TT maltodekstrina) u kapsulama, 60 min prije testiranja	<i>eng. countermovement jump (CMJ)</i> (x 3), 20 m sprint (x 3), <i>eng. arrowhead agility</i> (2 puta u lijevo i desno) i Yo Yo IR 1 s 3 min odmora između ponavljanja i 5-10 min između testova	Da, niske doze kofeina poboljšavaju sportsku izvedbu u mladim nogometaša
Jordan i sur. 2014.	Prof. mladi (14.1 ± 0.5 god) nogometaši (17 M)	6 mg/kg TT kofeina ili placebo (maltrodekstin) u kapsulama, 60 min prije testiranja	mjerenje brzine sprinta i vremena reakcije (<i>eng. reactive agility test, RAT</i>) u 3 ponavljanja	Da, ali statistički značajno poboljšanje vidljivo je samo u vremenu reakcije u <i>RAT</i> testu igračeve nedominantne strane
Foskett i sur. 2009.	Profesionalni nogometaši (23.8 ± 4.5 god) (12 M)	6 mg/kg TT kofeina ili placebo u kapsulama, 60 min prije testiranja	Simulacija 90 min nogometne utakmice. <i>Eng. Loughborough Soccer Passing Test (LSPT)</i> i <i>CMJ</i> prije početka i između blokova u simulaciji nogometne utakmice	Da, poboljšanje preciznosti dodavanja i vještine kontroliranja lopte. Povećanje funkcionalne snage nogu; mjerene povećanjem visine <i>CMJ</i> skoka. Ali nema efekta na sprint 15 m.

Sva tri istraživanja provedena na profesionalnim nogometašima, navedena u ovom radu, (63-65) slažu se da kofein poboljšava sportsku izvedbu prilikom igranja nogometa. Također navode da poboljšanje ovisi o dozi i zadatku, a zaključuju da bi suplementacija kofeinom prije nogometne utakmice mogla doprinijeti vještini izvedbe u nogometnih igrača. Zanimljivo, Jordan i suradnici (64) zaključili su da učinci kofeina variraju s obzirom na igračevu dominantnu i nedominantnu stranu. Navedeno opažanje objašnjavaju činjenicom da profesionalni sportaši, koji treniraju godinama,

imaju visoko razvijene mehaničke sposobnosti svoje dominantne strane, te da tu ni nema previše potencijala za poboljšanje. Za vještine njihove nedominantne strane postoji prostor za poboljšanje, pa kofein može utjecati na poboljšanje izvedbe.

Tablica 11. Košarka (66-68)

Studija	Ispitanici	Konsumacija kofeina – količina, izvor i vrijeme konzumacije	Sportski zadatak	Je li došlo do poboljšanja sportske izvedbe?
Puente i sur. 2017.	Prof. (10 Ž – u lutealnoj fazi m.ciklusa) i poluprof. (10 M) košarkaši	3 mg/kg TT kofeina u kapsulama ili placebo (celuloza) konzumirane 60 min prije sportskog zadatka	10 setova sastavljenih od kombinacije skokova, sprintova i zadataka gađanja, s 2 minute odmora između setova, zatim simulacija košarkaške utakmice (2x10 min, s 2 min odmora)	Da, poboljšanje visine Ablakovog skoka, povećanje broja pokušaja i uspješnih slobodnih bacanja, ukupan broj asistencija – sve navedeno poboljšava košarkašku sportsku izvedbu
Tucker i sur. 2013.	Prof. košarkaši (5M)	3 mg/kg TT kofeina u kapsulama s tiaminom (10 mg tiamina na 100 mg kofeina) ili placebo (tiamin) konzumirane 60 min prije sportskog zadatka	Trčanje na traci za trčanje sa ubrzanjem od 1 km/h svake 3 min (test za mjerenje max VO ₂) i 10 visokih skokova	Ne
Stojanović i sur. 2017.	Profesionalne košarkašice (10 Ž – u lutealnoj fazi m.ciklusa)	3 mg/kg TT kofeina ili dekstroze (placebo) u kapsulama konzumiranim 60 min prije sportskog zadatka	Vertikalni skok: (CMJ) sa i bez zamaha rukama, te skok iz čučnja. Lane Agility drill test, sprint na 20 m sa ili bez vođenjem lopte i Suicide Run test – za mjerenje anaerobnog kapaciteta	Da, kofein je statistički značajno poboljšao sprintove (malo), visinu vertikalnog skoka (malo do srednje).

Istraživanje koje je Puente (68) proveo sa suradnicima pokazalo je da kofein poboljšava visinu Ablakovog skoka, povećava broj pokušaja, uspelih slobodnih bacanja i ukupan broj asistencija, ali ne poboljšava preciznost u slobodnim bacanjima, dvicama i tricama. Iako je zaključak tog istraživanja da kofein ukupno poboljšava sportsku izvedbu, sportaši su prijavili veću učestalost nesanice.

Nasuprot navedenom istraživanju, Tucker (67) i suradnici nisu dokazali poboljšanje u specifičnim košarkaškim testovima nakon konzumacije kofeina. U njihovom istraživanju nema statistički značajne razlike u visokom skoku, kao ni statistički značajne razlike između maxVO₂, pod utjecajem kofeina u dozi od 3 mg/kg ili placebo.

U trećoj studiji provedenoj na košarkašima proučavanoj u ovom radu (66) odgovor na kofein među profesionalnim košarkašicama bio je heterogen. Rezultati te studije upućuju na to da bi 40 – 70 % pojedinaca moglo imati poboljšanje anaerobne sportske izvedbe nakon akutne ingestije kofeina.

Tablica 12. Veslanje (42, 48, 69)

Studija	Ispitanici	Konzumacija kofeina – količina, izvor i vrijeme konzumacije	Sportski zadatak	Je li došlo do poboljšanja sportske izvedbe?
Scott i sur. 2015.	Trenirani studenti (12 M)	60 mL ugljikohidratnog gela (21.6 g UGH) ili UGH gela s kofeinom (21.6 g uglj. i 100 mg kofeina), 10 min prije testiranja	Veslanje na 2000 m na ergometru, 3 ponavljanja.	Da, za 5.2 ± 7.8 sec, što znači da je i ovako niska doza kofeina ergogena pri veslanju.
Christensen i sur. 2014.	12 elitnih veslača (11 M i 1 Ž)	1.3 mg/kg TT kofeina - 45 min prije, 2. Soda bikarbona 0.3 g/kg TT - 75 min prije, 3. Kofein + SB, 4. placebo	6 min veslanja	Da, kofein sam ili uz sodu bikarbonu poboljšava izvedbu.

Anderson i sur. 2000.	Elitni veslači (8 Ž)	6 mg/kg TT i 9 mg/kg TT ili placebo (500 mg glukoze), 60 min prije zadatka	2000 m veslanja na ergometru	Da, kofein povećava snagu i skraćuje vrijeme potrebno za prelazak 2000 m veslanjem.
-----------------------	----------------------	--	------------------------------	---

Istraživanje koje su proveli Scott i suradnici (42) pokazalo je da apsolutna doza kofeina od 100 mg skraćuje vrijeme potrebno za prelazak 2000 m veslanjem. Preračunavanjem apsolutne doze od 100 mg u srednju relativnu dozu u ovom istraživanju, dobije se da je srednja relativna doza bila 1.3 ± 0.1 mg/kg TT, čime je ustanovljeno da i relativno niske doze kofeina imaju ergogeni učinak pri veslanju.

I ostale dvije studije navedene u ovom radu (48, 69) zaključile su da kofein ima pozitivan učinak na veslanje, prvenstveno skraćujući vrijeme potrebno za prelazak prvih 500 m (48).

5.4. Analiza rezultata

U svojoj novoobjavljenoj knjizi (*eng. Coffee and Caffeine Consumption for Human Health*) (70), Del Coso navodi da postoji manjak značajnih učinaka kofeina na izometričku snagu i neusklađenost literature po tome pitanju. Zaključio je da takvo stanje upućuje na to da je kofein učinkovitiji za dinamičku (ekscentričnu i koncentričnu) nego statičku (izometričku) mišićnu izvedbu, a s tim se slaže i istraživanje provedeno 2019. (71) u kojem su Zaragoza i suradnici zaključili su da kofein poboljšava i statička i dinamička testiranja, ali veći učinci su vidljivi tijekom dinamičkih ispitivanja.

Analizom 10 sportova s različitom razinom statičkih i dinamičkih opterećenja u ovome radu, vidljiva je ista tendencija kao u iznad navedenim istraživanjima (70, 71). Kofein u nekoj mjeri poboljšava učinak na sportsku izvedbu i u sportovima s visokim statičkim opterećenjem, ali takav učinak nije vidljiv u svim istraživanjima. Pozitivan odgovor na konzumaciju kofeina učestaliji je u sportovima s višom razinom dinamičkog opterećenja (Slika 4 i 5).



Slika 4. Na temelju analize studija u ovom radu, vidljivo je da je učinak kofeina na sportsku izvedbu najčešće prisutan u sportovima s visokim dinamičkim opterećenjem.

+ - pozitivan učinak kofeina na sportsku izvedbu, **-** - negativan učinak, **+/-** - učinak pozitivan samo u nekim ispitivanim segmentima



Slika 5. Grafički prikaz broja studija s potvrđenim pozitivnim učincima kofeina u ovisnosti o razini dinamičkog opterećenja u sportu ispitivanom u pojedinoj studiji

6. RASPRAVA

Osim razine statičkog i dinamičkog opterećenja u sportu u kojem se pojedinac natječe, pri odluci o suplementaciji kofeinom bitan je i pojedinačni odgovor na kofein. Iako se pretpostavljalo da u pojedinaca sa slabim odgovorom na kofein, sportska izvedba ne može biti povećana jednako kao u pojedinaca s jakim odgovorom na kofein, istraživanje na profesionalnim nogometašima iz 2018. godine, pokazalo je da kofein povećava aerobnu izdržljivost i neuromišićnu izvedbu bez obzira na razinu odgovora pojedinca na kofein u mirovanju (31). Takva individualna razlika prilikom odgovora na kofeinsku suplementaciju u sportu mogla bi ovisiti o genotipu pojedinca. Polimorfizam CYP1A2 ili ADORA2A gena mogao bi biti odgovoran za modifikacije ergogenih učinaka kofeina. Spoznaja o genetskim varijacijama te ispitivanje sportaševa genotipa, mogli bi poboljšati smjernice za korištenje kofeina u sportu, jer su trenutne smjernice generalizirane te time nisu optimalne za sve sportaše (72).

Na Olimpijskim igrama 2012. i 2016. godine promjene u sportskoj izvedbi od samo 1 % bile su dovoljne za razliku između srebrne i zlatne medalje. Tako mala promjena u prosječnoj brzini može biti značajna u sportovima visokog intenziteta baziranim na izdržljivosti (73). U tim je sportovima i zabilježena najviša prevalencija profesionalnih sportaša konzumenata kofeina, njih čak 74 % (84). Southward i suradnici (84) u svojoj metaanalizi otkrili su da je prosječno poboljšanje izvedbe nakon suplementacije kofeinom iznosilo 2.1%, što je jednako razlici između prvog i 97. mjesta tijekom polumaratona. Kako je prevalencija konzumacije kofeina prije i tijekom profesionalnih natjecanja vrlo visoka, malo je vjerojatno da će kofein sportašima biti ono što će prevagnuti i donijeti prednost pred konkurencijom. Štoviše konzumacija kofeina mogla bi biti važna kako bi spriječila zaostatak nad konkurencijom koja je konzumirala kofein (74).

6.1. Pozitivni učinci kofeina

Odavno je poznat pozitivan učinak kofeina na kognitivne funkcije i budnost, posebno njegov doprinos u stanjima nakon nedostatnog sna (16). Kako se otkrilo da se njegovi pozitivni učinci mogu iskoristiti u vojne svrhe za poboljšanje kognitivne izvedbe i izdržljivosti, tako se kofein počeo sve više koristiti i u sportu, i istraživati u kojoj mjeri on može doprinijeti sportskoj izvedbi.

Za sada se pokazalo da kofein poboljšava sportsku izvedbu u sportovima u kojima su važni čimbenici mišićna izdržljivost, mišićna snaga, anaerobna snaga i aerobna izdržljivost (22).

Kao što je vidljivo i u studijama navedenima u ovom radu, većina istraživanja ispitanicima kofein daje 60 min prije početka ispitivanja, a da bi kofein postigao ergogene učinke, najčešće je potrebna doza kofeina od 3 do 6 mg/kg (22).

Razlog leži u već provjerenom receptu; studije koje su istraživale suplementaciju kofeinom 1980.-ih napravile su protokol u kojem su ispitanici konzumirali 5 - 6 mg/kg kofeina 60 min prije testiranja. Od tada se taj protokol često kopira pri istraživanju učinaka kofeina, što bi moglo objasniti malu, skoro nepostojeću, varijabilnost među protokolima. Međutim, novije studije ispituju učinak kofeina iz različitih izvora, pa time mijenjaju i vrijeme konzumacije kofeina prilikom testiranja (44).

Još uvijek se istražuju i točni mehanizmi djelovanja kofeina. Jedan od već opisanih mehanizama učinka kofeina, smanjenje percepcije boli, omogućuje vježbanje pri višim intenzitetima i/ili tijekom duljeg vremena. Kofein doprinosi povećanju mišićne snage, ili preko direktnog učinka na mišić (održavanjem homeostaze elektrolita) i povećavanja otpuštanja Ca^{2+} iz sarkoplazmatskog retikuluma ili preko učinaka na SŽS (75).

6.1.1. Mišićna izdržljivost

Metaanaliza iz 2010. obuhvatila je 34 istraživanja koja su proučavala snagu maksimalne voljne kontrakcije (MVK) i mišićnu izdržljivost. Zaključili su da kofein povećava snagu MVK za otprilike 4 % u usporedbi s placebom, ali da primarno povećava snagu MVK ekstenzora koljena (za 7 %) . Pronađen je mali statistički značajan pozitivan učinak kofeina na mišićnu izdržljivost. Gordon i suradnici napominju da buduća istraživanja trebaju provjeriti utječe li doista konzumacija kofeina neposredno prije sportskog zadatka na povećanje snage MVK najviše u mišićima ekstenzora koljena. U dosadašnjim istraživanjima najčešće su se ispitivali učinci kofeina na biciklizam i trčanje, gdje mišići ekstenzori koljena imaju bitnu ulogu, npr. prilikom bicikliranja ekstenzori koljena osiguravaju najviše (> 35 %) mehaničke energije proizvedene mišićima (75). Stoga nije posve jasno utječe li kofein doista najviše na mišić ekstenzore koljena, ili se to tako čini zbog najvećeg broja istraživanja provedenih u sportovima gdje je ta skupina mišića bitna.

Otkrivena je linearna veza između ergogenih učinaka kofeina i trajanja sportskog događaja – što je trajanje izvedbe duže, kofein bolje inhibira učinke adenozina (23). Time je potvrđeno da u sportovima u kojima je bitan čimbenik izdržljivost (sportovi u trajanju više od 60 min), npr. trčanje na duge staze, postoji ergogeni učinak kofeina (44).

6.1.2. Anaerobna snaga

Astorino i Robertson sustavnim pregledom literature istraživali su učinak akutne ingestije kofeina na izvedbu kratkotrajne vježbe visokog intenziteta. Cilj im je bio ustanoviti potencijal kofeina za poboljšanje izvedbe vježbi koje se baziraju na anaerobnom metabolizmu; poput sprinta, timskih sportova i vježbi pod opterećenjem. U obzir su uzeli 27 studija, od kojih su u 54 do 65% pronašli pozitivan odgovor na suplementaciju kofeinom. Zaključili su da i manje doze mogu biti učinkovite, uz smanjenu učestalost nuspojava koje se javljaju pri konzumaciji doza većih od 6 mg/kg. Također, smatraju da bi uzrok različitih rezultata studija koje su istraživale učinak suplementacije kofeina na kratke visokointenzivne sportske zadatke mogao biti različit stupanj utreniranosti ispitanika. Studije provedene na ispitanicima koji su profesionalni sportaši pokazale su bolji učinak kofeina na izvedbu od onih koje su ispitivanje provele na rekreativnim sportašima ili sportašima koji se natječu na fakultetskim razinama. Osim navedenog, zaključili su da pojedinci koji inače konzumiraju kofein u niskim dozama (< 100 mg dnevno) pokazuju bolji odgovor na suplementaciju kofeinom neposredno prije sportske izvedbe (76).

U sprintu i vježbama snage koji se baziraju na fosfagenom sustavu (< 10 sec), kofein je poboljšao vršnu snagu, brzinu i izokinetičku snagu (15). Takav obrazac vidljiv je i u istraživanjima navedenim u Tablici 8; u sprintovima baziranim na fosfagenom sustavu (41, 59, 60) kofein reducira zamor, ali učinak je vidljiv samo u ranim fazama višestrukog sprint testa (59).

Nasuprot tome, u izvedbama koje se oslanjaju na glikolitički sustav (15 sec do 3 min), nisu pronađena poboljšanja, a mogući uzrok mogao bi biti povećanje koncentracije laktata u krvi prouzrokovano kofeinom (15).

6.1.3. Aerobna izdržljivost

U sportovima s kontinuiranim visokim intenzitetom u trajanju od 1 do 30 min, npr. veslanje, kofein konzumiran u dozi od 3 – 6 mg/kg poboljšava izvedbu (44). Takav zaključak potvrđuju i studije navedene u Tablici 12. Postoji mogućnost da i relativno

niske doze kofeina mogu biti učinkovite u sportovima baziranim na aerobnoj izdržljivosti (42).

6.1.4. Mišićna snaga

Što se tiče sportova u kojima dominira snaga, djelovanje kofeina u istraživanjima varira, te je još uvijek upitno. Za sada više studija govori u prilog ergogenom učinku kofeina u testovima mišićne snage gornjeg dijela tijela, te se smatra kako suplementacija kofeinom može pomoći profesionalnim sportašima koji se bave sportovima koji zahtijevaju snagu i jakost (16).

Od tri u ovome radu navedena istraživanja koja ispituju učinak kofeina na dizanje utega (Tablica 6); dva istraživanja potvrdila su pozitivan učinak kofeina (53, 54), od čega jedno istraživanje samo na snagu donjeg dijela tijela (54), dok jedno istraživanje nije potvrdilo pozitivne učinke kofeina (55).

Trenutne spoznaje o korištenju kofeina u *powerliftingu* ili *weight liftingu* govore u prilog tome da kofein može povećati snagu u čučnju i potisku s klupe (eng. *squat and bench press*), dok su za mrtvo dizanje (eng. *deadlift*) učinci još upitni (nedovoljan broj studija). Optimalna doza bila bi od 2 do 6 mg/kg, iako bi se za postizanje najboljeg učinka trebala odrediti individualno doza za svakog pojedinca. Konzumacija 60 min prije sportskog zadatka, provjerena je, ako je kofein u anhidriranom obliku (najčešće kapsule), a ako je u obliku žvakaće gume 5 – 10 min prije. U slučaju dužeg trajanja, učinkovitost se pokazalo i ponavljanje doze. Preporuka je također konzumacija kofeina samo prije treninga ili natjecanja, kako bi se izbjegla akumulacija kofeina u krvi, kronična konzumacija te moguće nuspojave, a maksimizirali pozitivni učinci (77).

6.1.5. Timski sportovi

Timski sportovi, poput nogometa, ragbija, hokeja, objedinjuju produženo trajanje sportske aktivnosti s intermitentnim sportskim zadacima visokog intenziteta. Ti zadatci uključuju dodavanje paka ili lopte brzo i precizno u stresnim uvjetima (43). U

tim sportovima najveći doprinos kofeina bio bi u produljenom trajanju i brzini trčanja (44).

Fosket i sur. (65) pokazali su da kofein ergogeno djeluje na nogometaše, poboljšavajući preciznost dodavanja i doprinoseći vještini izvedbe. Jordan i sur. (64) potvrdili su ergogene učinke kofeina u nogometaša, ali su otkrili da učinci variraju s obzirom na igračevu dominantnu i nedominantnu stranu, te to objasnili ovako: dominantna strana igračima je već izvrsno uvježbana pa nema toliko prostora za poboljšanje, dok kod nedominantne - manje uvježbane strane - ima.

Sustavnim pregledom kojeg su 2019. proveli Mielgo-Ayuso i suradnici (78) na 17 istraživanja o suplementaciji kofeinom u nogometu, sumirana su dosadašnja saznanja o učincima kofeina na nogometnu izvedbu. Ingestija kofeina u srednjoj dozi prije nogometnog treninga ili utakmice može povećati nekoliko vještina bitnih za nogomet; visinu skoka u vis, preciznost dodavanja lopte, pretrčanu udaljenost tijekom utakmice, kao i broj ponavljenih sprintova. Kofein i njegovi učinci trebaju se ispitati za svakog pojedinca zasebno prilikom treninga, kako bi se ustanovila učinkovita doza, ali i izbjegla konzumacija kofeina u sportaša koji ne reagiraju na kofein, ili imaju povećan broj ili učestalost nuspojava (78).

Također, sva tri navedena istraživanja provedena na odbojkašima (Tablica 7) potvrdila su pozitivne učinke kofeina.

6.1.6. Sportovi koji zahtijevaju visoku mišićnu snagu i izdržljivost

Biciklisti, baveći se sportom koji pripada skupini s visokim dinamičkim i statičkim opterećenjem (kao i veslanje), također mogu profitirati ingestijom kofeina u dozi od 3 mg/kg, skraćujući, poboljšavajući vrijeme potrebno za prelazak iste udaljenosti (79).

Sva ovdje obuhvaćena istraživanja provedena na veslačima (Tablica 12) potvrdila su ergogene učinke kofeina u veslanju; povećanje mišićne snage i skraćenje vremena potrebnog za završetak utrke. Takav zaključak u potpunosti se slaže s rezultatima metaanalize iz 2020. koja je ustanovila da akutna ingestija kofeina poboljšava vrijeme potrebno za prelazak 2000 m veslanjem za otprilike 4 s, i time podržava korištenje kofeina kao ergogenog sredstva u tom sportu (80).

6.2. Negativni učinci kofeina

Smatra se da umjerena dnevna konzumacija kofeina – do 400 mg tijekom dana (što je otprilike 6 mg/kg), ne izaziva nuspojave u zdravoj populaciji (44).

Umjerene do visoke doze kofeina (6-9 mg/kg or 420-630 mg), iako mogu izazivati nuspojave, većinom ne predstavljaju rizik za zdravlje. Nuspojave pretjerane konzumacije očituju se sljedećim simptomima: agitacija, ubrzana srčana frekvencija, anksioznost, uzbuđenje, zbunjenost, nemogućnost koncentracije, gastrointestinalna nelagodnost, nesаница, iritabilnost. Pri visokim dozama (9 mg/kg i više) mogu se javiti i vrtoglavica, glavobolja, tremor te pojačana diureza (44).

Kako je dokazano da nuspojave ovise od dozi kofeina, njihova pojavnost se smanjuje smanjenjem doze kofeina. Nuspojave su u velikoj mjeri reducirane kod konzumacije umjerenih (4 – 5 mg/kg), a gotovo ih nema kod niskih (3 mg/kg ili manje) doza kofeina (44).

Oralna doza kofeina veća od 10 g može biti fatalna za odrasle, iako je smrt rijetka kao rezultat otrovanja kofeinom. Povezana je s aritmijama, napadajima, ili aspiracijom povraćenog sadržaja, uzrokovanih kofeinom (81).

Moguća je i habituacija, te ona ovisi o osjetljivosti pojedinca na kofein, i toleranciji pojedinca na konzumiranu dozu. Tolerancija na kofein, razvijena učestalom konzumacijom, pokušava se objasniti povećanjem aktivnosti adenozijskih receptora, i smanjenjem β – adrenergičke aktivnosti (15).

Simptomi sustezanja, koji se mogu javiti kod prekida habitualne konzumacije kofeina, otprilike 12 – 24 h nakon naglog prestanka konzumacije kofeina, a dostižu vrhunac oko 20 – 48 h (17, 44).

Najčešće uključuju česte i jake glavobolje, za koje se pretpostavlja da su uzrokovane vazodilatacijom krvnih žila mozga. Problem može nastati ako kod sportaša prilikom sportske izvedbe nastupe simptomi ustezanja, te tako naruše izvedbu. Stoga je preporuka sportašima koji žele prestati s konzumacijom kofeina, da to učine postepenim smanjivanjem dnevne doze i to najmanje jedan tjedan prije natjecanja, kako bi izbjegli simptome sustezanja (15).

U pet studija proučenih u ovom radu, sportaši su prijavili nuspojave. Elitni streljači prijavili su tremor, anksioznost i glavobolju, streličari tremor, košarkaši povećanu učestalost nesanicice nakon ispitivanja s kofeinom, odbojkaši nervozu i povećanu aktivnost u vremenu nakon sportskog zadatka te nesanicu (49, 52, 57, 58, 68).

Iako je kofein sada već široko prihvaćen kao ergogeno sredstvo, zbog istraživanja koja su pokazala povećanje izdržljivost, snage i brzine u sportaša; on nikako ne pridonosi poboljšanju izvedbe u svim sportovima. Sportovi poput streljaštva i streličarstva, uz nisko statičko i dinamičko opterećenje, ne pokazuju korist od suplementacije kofeinom prije natjecanja. Nadalje, postoji razlika između neutralnog utjecaja na izvedbu te negativnog utjecaja na izvedbu. Iako u studijama koje sam navela u ovom radu nije pokazana nikakva razlika između kofeina i placeba na izvedbu u streljaštvu (49) i streličarstvu (52) (što bi bio neutralan učinak), zbog nuspojava koje su ispitanici prijavili (najčešće tremor) postoji mogućnost i negativnog utjecaja kofeina na izvedbu. Kako je mirnoća ruke jedan od temeljnih čimbenika za preciznost gađanja i uspješnu izvedbu u ovim sportovima, suplementacija kofeinom ne može se preporučiti (49).

Međutim, iako je pokazano da kofein ima negativan učinak na posebno fine motoričke vještine izazivajući tremor (u sportovima kao što je streličarstvo), pri kontroli lopte i preciznosti dodavanja u nogometu (što su vještine koje također zahtijevaju finu motoriku) kofein nije djelovao negativno na izvedbu, već naprotiv (65).

I za sportove na koje kofein djeluje ergogeno bitno je znati sljedeće. Smatra se da ovisnost postignutih učinaka o konzumiranoj dozi kofeina ima oblik obrnute krivulje u obliku slova U; niže doze imaju pozitivne učinke na izvedbu, dok doze veće od 500 mg smanjuju učinak. Ispitanici u studijama subjektivno su ocijenili kako se osjećaju nakon konzumacije kofeina; niže doze povezali su s pozitivnim osjećajima naleta energije, dok više doze povezuju sa anksioznošću i napetošću. Kao i kod mnogih drugih dodataka prehrani i lijekova i u ovom slučaju vidljiv je sljedeći obrazac; ergogeni, pozitivni učinci kofeina rastu s dozom, dok ih u jednom trenutku nuspojave ne nadjačaju (82).

7. ZAKLJUČAK

Iz provedene analize literature proizlazi zaključak da bi konzumacija kofeina mogla biti ergogena za širok spektar sportskih zadataka.

Podatci iz studija navedenih u ovom radu ukazuju na to da je pozitivan odgovor na konzumaciju kofeina učestaliji u sportovima s višom razinom dinamičkog opterećenja. Učinak na sportsku izvedbu vidljiv je i u sportovima s visokim statičkim opterećenjem, ali takav se učinak nije pokazao u svim istraživanjima. Ovakav zaključak odgovara do sada provedenim istraživanjima u kojima se pokazalo da kofein poboljšava sportsku izvedbu u sportovima u koji traže izdržljivost, u onima s intermitentnim naporima, te timskim sportovima.

Može se zaključiti i da u nekim sportovima (npr. streljaštvo i streličarstvo), u kojima je potrebna mirnoća ruke, kofein nije poželjan.

Također, iz razmatranja literature proizlazi da ovisno o sportu treba razmotriti dozu i usporediti pozitivne i negativne učinke, prije donošenja preporuke sportašima o konzumaciji kofeina.

Stoga je potrebno razviti individualizirane protokole korištenja, s obzirom na sport, utreniranost sportaša i pojedinačan odgovor na kofein u ovisnosti o habitualnoj dnevnoj konzumaciji kofeina, kao i o genotipu sportaša. Prilikom slaganja protokola treba razmisliti i o vremenu konzumacije, potrebi ponavljanja konzumacije tijekom sportskog zadatka te optimalnom izvoru kofeina za pojedinca.

U sportovima gdje i malo poboljšanje u izdržljivosti može dovesti do malih ali značajnih razlika, posebno prilikom važnih natjecanja, sportaši bi mogli profitirati od konzumacije kofeina. Zbog visoke prevalencije konzumacije kofeina, suplementacija u tim slučajevima mogla bi biti čak i potrebna kako bi spriječila zaostajanje za konkurentima.

8. ZAHVALA

Zahvaljujem svome mentoru, doc.dr.sc. Milanu Miloševiću, na pomoći, dostupnosti i usmjeravanju pri izradi ovog diplomskog rada.

Hvala mojoj obitelji, prijateljima i Nikoli, na bezuvjetnoj podršci, strpljenju i ljubavi, kako za vrijeme pisanja ovog rada, tako i kroz čitavo školovanje.

9. LITERATURA

1. Ministarstvo zdravlja. Pravilnik o dodacima prehrani [Internet]. 2013 [pristupljeno 12.05.2020.]; Dostupno na: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013_10_126_2740.html.
2. Goston JL, Correia MI. Intake of nutritional supplements among people exercising in gyms and influencing factors. *Nutrition*. 2010;26(6):604-11.
3. Savino G, Valenti L, D'Alisera R, Pinelli M, Persi Y, Trenti T. Dietary supplements, drugs and doping in the sport society. *Ann Ig*. 2019;31(6):548-55.
4. Sobal J, Marquart LF. Vitamin/mineral supplement use among athletes: a review of the literature. *International journal of sport nutrition*. 1994;4(4):320-34.
5. Huang SH, Johnson K, Pipe AL. The use of dietary supplements and medications by Canadian athletes at the Atlanta and Sydney Olympic Games. *Clinical journal of sport medicine : official journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*. 2006;16(1):27-33.
6. Dascombe BJ, Karunaratna M, Cartoon J, Fergie B, Goodman C. Nutritional supplementation habits and perceptions of elite athletes within a state-based sporting institute. *J Sci Med Sport*. 2010;13(2):274-80.
7. Jurko D, Čular D, Badrić M, Sporiš G. *Osnove kineziologije*. Split: Gopal Zagreb; 2015.
8. Mustajbegović J, Milošević M, Brborović H. *Medicina rada i sporta*. Zagreb: Medicinska naknada 2015.
9. Hrvatski zavod za toksikologiju i antidoping (HZTA). *Popis zabranjenih sredstava 2019* [Internet]. 2019 [pristupljeno 05.05.2020.]; Dostupno na: <https://antidoping-hzta.hr/wp-content/uploads/2019/09/zs2019.pdf>.
10. Del Coso J, Munoz G, Munoz-Guerra J. Prevalence of caffeine use in elite athletes following its removal from the World Anti-Doping Agency list of banned substances. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2011;36(4):555-61.
11. WADA. *Anti - doping Code 2015* [Internet] 2015. [pristupljeno 05.05.2020.]; Dostupno na: <https://www.wada-ama.org/sites/default/files/resources/files/wada-2015-world-anti-doping-code.pdf>.
12. WADA. *The 2020 Monitoring Program* [Internet]. 2020 [pristupljeno 12.05.2020.]; Dostupno na: https://www.wada-ama.org/sites/default/files/wada_2020_english_monitoring_program_.pdf.

13. Maughan RJ, Burke LM, Dvorak J, Larson-Meyer DE, Peeling P, Phillips SM, et al. IOC Consensus Statement: Dietary Supplements and the High-Performance Athlete. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2018;28(2):104-25.
14. NORTHERN TERRITORY INSTITUTE OF SPORT NTIS. Sport Supplement Guidelines [Internet]. 2018 [pristupljeno 12.05.2020.]; Dostupno na: https://dtsc.nt.gov.au/__data/assets/pdf_file/0003/238134/NTIS-Sport-Supplement-Guidelines-Feb-2018.pdf
15. Sokmen B, Armstrong LE, Kraemer WJ, Casa DJ, Dias JC, Judelson DA, et al. Caffeine use in sports: considerations for the athlete. *Journal of strength and conditioning research.* 2008;22(3):978-86.
16. Goldstein ER, Ziegenfuss T, Kalman D, Kreider R, Campbell B, Wilborn C, et al. International society of sports nutrition position stand: caffeine and performance. *Journal of the International Society of Sports Nutrition.* 2010;7(1):5.
17. Zorc B, Grga D. Kofein 1998 [Internet]. [pristupljeno 12.05.2020.]; Dostupno na: <https://repozitorij.pharma.unizg.hr/en/islandora/object/pharma%3A849>.
18. Davenport AD, Jameson TSO, Kilroe SP, Monteyne AJ, Pavis GF, Wall BT, et al. A Randomised, Placebo-Controlled, Crossover Study Investigating the Optimal Timing of a Caffeine-Containing Supplement for Exercise Performance. *Sports medicine - open.* 2020;6(1):17.
19. Public Library of Science. [Internet]. 2014 [pristupljeno 02. 04.2020.]; Dostupno na: https://plos.figshare.com/articles/_Chemical_structure_of_methylxanthines_caffeine_theobromine_theophylline_and_paraxanthine_/1211277/1.
20. Zeidan-Chulia F, Gelain DP, Kolling EA, Rybarczyk-Filho JL, Ambrosi P, Terra SR, et al. Major components of energy drinks (caffeine, taurine, and guarana) exert cytotoxic effects on human neuronal SH-SY5Y cells by decreasing reactive oxygen species production. *Oxid Med Cell Longev.* 2013;2013:791795.
21. Jayeola CO. Preliminary studies on the use of kolanuts (cola nitida) for soft drink production. *Journal of Food Technology in Africa* 2001;6.
22. Grgic J, Grgic I, Pickering C, Schoenfeld BJ, Bishop DJ, Pedisic Z. Wake up and smell the coffee: caffeine supplementation and exercise performance-an umbrella review of 21 published meta-analyses. *Br J Sports Med.* 2019.

23. Shen JG, Brooks MB, Cincotta J, Manjourides JD. Establishing a relationship between the effect of caffeine and duration of endurance athletic time trial events: A systematic review and meta-analysis. *J Sci Med Sport*. 2019;22(2):232-8.
24. Goncalves LS, Painelli VS, Yamaguchi G, Oliveira LF, Saunders B, da Silva RP, et al. Dispelling the myth that habitual caffeine consumption influences the performance response to acute caffeine supplementation. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md : 1985)*. 2017;123(1):213-20.
25. Graham TE, Hibbert E, Sathasivam P. Metabolic and exercise endurance effects of coffee and caffeine ingestion. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md : 1985)*. 1998;85(3):883-9.
26. Zheng X, Hasegawa H. Administration of caffeine inhibited adenosine receptor agonist-induced decreases in motor performance, thermoregulation, and brain neurotransmitter release in exercising rats. *Pharmacology, biochemistry, and behavior*. 2016;140:82-9.
27. Graham TE. Caffeine, coffee and ephedrine: impact on exercise performance and metabolism. *Canadian journal of applied physiology = Revue canadienne de physiologie appliquee*. 2001;26 Suppl:S103-19.
28. Magkos F, Kavouras SA. Caffeine use in sports, pharmacokinetics in man, and cellular mechanisms of action. *Critical reviews in food science and nutrition*. 2005;45(7-8):535-62.
29. Tauler P, Martinez S, Martinez P, Lozano L, Moreno C, Aguilo A. Effects of Caffeine Supplementation on Plasma and Blood Mononuclear Cell Interleukin-10 Levels After Exercise. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2016;26(1):8-16.
30. Kim J, Park J, Lim K. Nutrition Supplements to Stimulate Lipolysis: A Review in Relation to Endurance Exercise Capacity. *Journal of nutritional science and vitaminology*. 2016;62(3):141-61.
31. Apostolidis A, Mougios V, Smilios I, Rodosthenous J, Hadjicharalambous M. Caffeine Supplementation: Ergogenic in Both High and Low Caffeine Responders. *International journal of sports physiology and performance*. 2019;14(5):650-7.
32. Neyroud D, Cheng AJ, Donnelly C, Bourdillon N, Gassner AL, Geiser L, et al. Toxic doses of caffeine are needed to increase skeletal muscle contractility. *American journal of physiology Cell physiology*. 2019;316(2):C246-c51.
33. Pickering C. Are caffeine's performance-enhancing effects partially driven by its bitter taste? *Medical hypotheses*. 2019;131:109301.

34. Orru M, Guitart X, Karcz-Kubicha M, Solinas M, Justinova Z, Barodia SK, et al. Psychostimulant pharmacological profile of paraxanthine, the main metabolite of caffeine in humans. *Neuropharmacology*. 2013;67:476-84.
35. Shabir A, Hooton A, Tallis J, M FH. The Influence of Caffeine Expectancies on Sport, Exercise, and Cognitive Performance. *Nutrients*. 2018;10(10).
36. Hodgson AB, Randell RK, Jeukendrup AE. The metabolic and performance effects of caffeine compared to coffee during endurance exercise. *PloS one*. 2013;8(4):e59561.
37. Trexler ET, Smith-Ryan AE, Roelofs EJ, Hirsch KR, Mock MG. Effects of coffee and caffeine anhydrous on strength and sprint performance. *European journal of sport science*. 2016;16(6):702-10.
38. Wickham KA, Spriet LL. Administration of Caffeine in Alternate Forms. *Sports medicine (Auckland, NZ)*. 2018;48(Suppl 1):79-91.
39. Salinero JJ, Lara B, Abian-Vicen J, Gonzalez-Millan C, Areces F, Gallo-Salazar C, et al. The use of energy drinks in sport: perceived ergogenicity and side effects in male and female athletes. *The British journal of nutrition*. 2014;112(9):1494-502.
40. Cureton KJ, Warren GL, Millard-Stafford ML, Wingo JE, Trilk J, Buyckx M. Caffeinated sports drink: ergogenic effects and possible mechanisms. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2007;17(1):35-55.
41. Cooper R, Naclerio F, Allgrove J, Larumbe-Zabala E. Effects of a carbohydrate and caffeine gel on intermittent sprint performance in recreationally trained males. *European journal of sport science*. 2014;14(4):353-61.
42. Scott AT, O'Leary T, Walker S, Owen R. Improvement of 2000-m rowing performance with caffeinated carbohydrate-gel ingestion. *International journal of sports physiology and performance*. 2015;10(4):464-8.
43. Chin JM, Merves ML, Goldberger BA, Sampson-Cone A, Cone EJ. Caffeine content of brewed teas. *Journal of analytical toxicology*. 2008;32(8):702-4.
44. Burke L, Desbrow B, Spriet L. Caffeine for Sports Performance. *United States of America: Human kinetics*; 2013.
45. *Foundation IFIC*. Everything you need to know about caffeine [Internet]. 2015 [Dostupno na: <https://foodinsight.org/everything-you-need-to-know-about-caffeine-2/>].
46. Štimac D, Lacković A, Poropat G. Važnost provođenja randomiziranih kliničkih

istraživanja. *Medicina fluminensis*. 2017;53:448 - 53.

47. Mišigoj – Duraković M. Tjelesno vježbanje i zdravlje 1999.

48. Anderson ME, Bruce CR, Fraser SF, Stepto NK, Klein R, Hopkins WG, et al. Improved 2000-meter rowing performance in competitive oarswomen after caffeine ingestion. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2000;10(4):464-75.

49. Share B, Sanders N, Kemp J. Caffeine and performance in clay target shooting. *Journal of sports sciences*. 2009;27(6):661-6.

50. Stevenson EJ, Hayes PR, Allison SJ. The effect of a carbohydrate-caffeine sports drink on simulated golf performance. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2009;34(4):681-8.

51. Mumford PW, Tribby AC, Poole CN, Dalbo VJ, Scanlan AT, Moon JR, et al. Effect of Caffeine on Golf Performance and Fatigue during a Competitive Tournament. *Med Sci Sports Exerc*. 2016;48(1):132-8.

52. Linoby A, Nias A, Husna N, Suun A. The Effects of Caffeine on Archery Performance: A Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Study. Springer. 2014.

53. Polito MD, Grandolfi K, de Souza DB. Caffeine and resistance exercise: the effects of two caffeine doses and the influence of individual perception of caffeine. *European journal of sport science*. 2019;19(10):1342-8.

54. Grgic J, Mikulic P. Caffeine ingestion acutely enhances muscular strength and power but not muscular endurance in resistance-trained men. *European journal of sport science*. 2017;17(8):1029-36.

55. Tinsley GM, Hamm MA, Hurtado AK, Cross AG, Pineda JG, Martin AY, et al. Effects of two pre-workout supplements on concentric and eccentric force production during lower body resistance exercise in males and females: a counterbalanced, double-blind, placebo-controlled trial. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. 2017;14:46.

56. Zbinden-Foncea H, Rada I, Gomez J, Kokaly M, Stellingwerff T, Deldicque L, et al. Effects of Caffeine on Countermovement-Jump Performance Variables in Elite Male Volleyball Players. *International journal of sports physiology and performance*. 2018;13(2):145-50.

57. Perez-Lopez A, Salinero JJ, Abian-Vicen J, Valades D, Lara B, Hernandez C, et al. Caffeinated energy drinks improve volleyball performance in elite female players. *Med Sci Sports Exerc.* 2015;47(4):850-6.
58. Del Coso J, Perez-Lopez A, Abian-Vicen J, Salinero JJ, Lara B, Valades D. Enhancing physical performance in male volleyball players with a caffeine-containing energy drink. *International journal of sports physiology and performance.* 2014;9(6):1013-8.
59. Glaister M, Howatson G, Abraham CS, Lockey RA, Goodwin JE, Foley P, et al. Caffeine supplementation and multiple sprint running performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2008;40(10):1835-40.
60. Ispoglou T, Barker H, Gardiner D, Khan R, Tester E. The Effects of Caffeinated Gum and Caffeine Capsules on Running Sprint Performance. *International Sport & Exercise Nutrition Conference.* 2016.
61. Aedma M, Timpmann S, Oopik V. Effect of caffeine on upper-body anaerobic performance in wrestlers in simulated competition-day conditions. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2013;23(6):601-9.
62. Negaresh R, Del Coso J, Mokhtarzade M, Lima-Silva AE, Baker JS, Willems MET, et al. Effects of different dosages of caffeine administration on wrestling performance during a simulated tournament. *European journal of sport science.* 2019;19(4):499-507.
63. Ellis M, Noon M, Myers T, Clarke N. Low Doses of Caffeine: Enhancement of Physical Performance in Elite Adolescent Male Soccer Players. *International journal of sports physiology and performance.* 2019;14(5):569-75.
64. Jordan JB, Korgaokar A, Farley RS, Coons JM, Caputo JL. Caffeine supplementation and reactive agility in elite youth soccer players. *Pediatric exercise science.* 2014;26(2):168-76.
65. Foskett A, Ali A, Gant N. Caffeine enhances cognitive function and skill performance during simulated soccer activity. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2009;19(4):410-23.
66. Stojanovic E, Stojiljkovic N, Scanlan AT, Dalbo VJ, Stankovic R, Antic V, et al. Acute caffeine supplementation promotes small to moderate improvements in performance tests indicative of in-game success in professional female basketball players. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2019;44(8):849-56.

67. Tucker MA, Hargreaves JM, Clarke JC, Dale DL, Blackwell GJ. The effect of caffeine on maximal oxygen uptake and vertical jump performance in male basketball players. *Journal of strength and conditioning research*. 2013;27(2):382-7.
68. Puente C, Abian-Vicen J, Salinero JJ, Lara B, Areces F, Del Coso J. Caffeine Improves Basketball Performance in Experienced Basketball Players. *Nutrients*. 2017;9(9).
69. Christensen PM, Petersen MH, Friis SN, Bangsbo J. Caffeine, but not bicarbonate, improves 6 min maximal performance in elite rowers. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2014;39(9):1058-63.
70. Del Coso J. *Coffee and Caffeine Consumption for Human Health*: MDPI; 2020. 290 p.
71. Zaragoza J, Tinsley G, Urbina S, Villa K, Santos E, Juaneza A, et al. Effects of acute caffeine, theanine and tyrosine supplementation on mental and physical performance in athletes. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. 2019;16(1):56.
72. Pickering C, Kiely J. Are the Current Guidelines on Caffeine Use in Sport Optimal for Everyone? Inter-individual Variation in Caffeine Ergogenicity, and a Move Towards Personalised Sports Nutrition. *Sports medicine (Auckland, NZ)*. 2018;48(1):7-16.
73. Christensen PM, Shirai Y, Ritz C, Nordsborg NB. Caffeine and Bicarbonate for Speed. A Meta-Analysis of Legal Supplements Potential for Improving Intense Endurance Exercise Performance. *Frontiers in physiology*. 2017;8:240.
74. Southward K, Rutherford-Markwick KJ, Ali A. The Effect of Acute Caffeine Ingestion on Endurance Performance: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports medicine (Auckland, NZ)*. 2018;48(8):1913-28.
75. Warren GL, Park ND, Maresca RD, McKibans KI, Millard-Stafford ML. Effect of caffeine ingestion on muscular strength and endurance: a meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc*. 2010;42(7):1375-87.
76. Astorino TA, Roberson DW. Efficacy of acute caffeine ingestion for short-term high-intensity exercise performance: a systematic review. *Journal of strength and conditioning research*. 2010;24(1):257-65.
77. Grgic J, Sabol F, Venier S, Tallis J, Schoenfeld BJ, Coso JD, et al. Caffeine Supplementation for Powerlifting Competitions: An Evidence-Based Approach. *Journal of human kinetics*. 2019;68:37-48.

78. Mielgo-Ayuso J, Calleja-Gonzalez J, Del Coso J, Urdampilleta A, Leon-Guereno P, Fernandez-Lazaro D. Caffeine Supplementation and Physical Performance, Muscle Damage and Perception of Fatigue in Soccer Players: A Systematic Review. *Nutrients*. 2019;11(2).
79. Clarke ND, Kirwan NA, Richardson DL. Coffee Ingestion Improves 5 km Cycling Performance in Men and Women by a Similar Magnitude. *Nutrients*. 2019;11(11).
80. Grgic J, Diaz-Lara FJ, Coso JD, Duncan MJ, Tallis J, Pickering C, et al. The Effects of Caffeine Ingestion on Measures of Rowing Performance: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Nutrients*. 2020;12(2).
81. Yew D. Caffeine Toxicity [Internet]. 2018 [pristupljeno 12.05.2020.]; Dostupno na: <https://emedicine.medscape.com/article/821863-overview>.
82. Lorist MM, Tops M. Caffeine, fatigue, and cognition. *Brain and cognition*. 2003;53(1):82-94.

ŽIVOTOPIS

Rođena sam 02.03.1996. u Novoj Gradiški. Odrasla sam u mjestu Dragalić, u okolici Nove Gradiške, gdje sam završila Osnovnu školu Dragalić.

Trenirala sam akrobatski rock 'n' roll od 2006. do 2011. godine.

2010. upisala sam XV gimnaziju u Zagrebu, te ju završila 2014. s odličnim uspjehom.

2013. položila sam Cambridge First Certificate in English (FCE) ispit te stekla certifikat B2 razine znanja engleskog jezika.

2014. postigla sam 2. mjesto na Državnom natjecanju iz biologije s učeničkim istraživačkim radom pod nazivom Utjecaj feromona na ponašanje čovjeka.

2014. godine upisala sam Medicinski fakultet u Zagrebu.

2018./2019. bila sam članica vijeća Studentske sekcije za promociju pravilne prehrane i zdravlja, a u akademskoj godini 2019./2020. član vodstva sekcije.

Kao član Studentske sekcije sudjelovala sam na sljedećim kongresima: 2019. kao voditelj radionice CROSS-a 15, te iste godine kao aktivni sudionik studentskog kongresa Prehrana i klinička dijetoterapija u Rijeci.

Koautor sam policy dokumenta pod nazivom Plan smanjenja prekomjernog unosa kuhinjske soli u Republici Hrvatskoj 2019. - 2025. koji sam uz ostale autore predstavila u Ministarstvu zdravstva Republike Hrvatske 2020.

Prvi sam autor rada *How to optimize the salt reduction interventions targeting elderly population?* predstavljenog na BFHA 2020. konferenciji (*Better Future of Healthy Ageing 2020*).