

GIMNAZIJA KRANJ  
Koroška cesta 13, 4000 Kranj

RAZISKOVALNA NALOGA

**Učinek zaužitja kofeina na rezultate VO<sub>2</sub>max,  
izmerjene pri športnikih in nešportnikih**

Interdisciplinarno področje: BIOLOGIJA, KEMIJA

Avtor:  
Nejc Moškotelec, 4.letnik

Mentorica:  
dr.Petra Košir

Lesce, 2023

# KAZALO

<b>1 UVOD</b> .....	<b>1</b>
1.1 Raziskovalno vprašanje.....	2
1.2 Predpostavke .....	2
1.3 Hipoteze.....	2
<b>2 TEORETIČNO OZADJE</b> .....	<b>3</b>
<b>3 METODOLOGIJA</b> .....	<b>4</b>
3.1 Spremenljivke .....	4
3.1.1 Neodvisne spremenljivke.....	4
3.1.2 Odvisne spremenljivke.....	4
3.1.3 Nadzorovane spremenljivke .....	4
3.2 Materiali .....	6
3.3 Postopek .....	6
3.4 Etični in varnostni vidiki .....	7
<b>4 REZULTATI</b> .....	<b>8</b>
4.1 Kvalitativna opažanja.....	8
4.2 Neobdelani podatki .....	8
4.3 Obdelava podatkov .....	8
4.4 Statistična analiza.....	11
<b>5 RAZPRAVA</b> .....	<b>12</b>
5.1 Ovrednotenje rezultatov .....	12
5.2 Prednosti raziskave .....	13
5.3 Omejitve in možne izboljšave .....	13
<b>6 ZAKLJUČEK</b> .....	<b>14</b>
<b>7 VIRI</b> .....	<b>16</b>
<b>8 PRILOGA</b> .....	<b>19</b>

## **KAZALO TABEL**

Tabela 1: Neobdelani podatki, pridobljeni s Beep testom za vsakega udeleženca v skupini.....	8
Tabela 2: Rezultati VO <sub>2</sub> max pri nešportnikih, izmerjeni pred zaužitjem kofeina .....	9
Tabela 3: Rezultati VO <sub>2</sub> max pri nešportnikih, merjeni 60 minut po zaužitju kofeina .....	9
Tabela 4: Rezultati VO <sub>2</sub> max pri športnikih, izmerjeni pred zaužitjem kofeina .....	9
Tabela 5: Rezultati VO <sub>2</sub> max pri športnikih, izmerjeni 60 minut po zaužitju kofeina.....	10
Tabela 6: Rezultati T-testa za vse primerjane skupine .....	11

## **KAZALO GRAFOV**

Graf 1: Učinek zaužitja kofeina na rezultate VO <sub>2</sub> max pri športnikih in nešportnikih .....	10
---	----

Ključne besede: VO<sub>2</sub>max, največji privzem kisika, kofein, športniki, nešportniki

## **Učinek zaužitja kofeina na rezultate VO<sub>2</sub>max, izmerjene pri športnikih in nešportnikih**

### **POVZETEK**

Z VO<sub>2</sub>max označujemo največji privzem kisika oziroma največji volumen kisika, ki ga je posameznik sposoben porabiti. VO<sub>2</sub>max odraža privzem kisika, dosežen med največjo intenzivnostjo vadbe, ki ga ni bilo mogoče povečati kljub nadaljnjemu povečanju obremenitve pri vadbi. Je torej največja količina kisika, ki ga mišice sprejmejo za produkcijo energije, pri visoki obremenitvi. Izraža se lahko kot absolutna mera v litrih kisika na minuto (l/min) ali kot relativna mera v mililitrih porabljenega kisika na kilogram telesne teže na minuto (ml/ (kg·min)).

Z raziskovalno nalogo smo želeli ugotoviti, ali obstajajo dejavniki oziroma snovi, ki lahko potencialno izboljšajo vzdržljivost posameznika, merjeno kot parameter VO<sub>2</sub>max, brez škodljivih stranskih učinkov. Zato je bil cilj raziskovalne naloge ugotoviti kako zaužitje kofeina vpliva na vrednosti največjega privzema kisika (VO<sub>2</sub>max). Poleg učinka zaužitja kofeina smo vključili tudi spremenljivko telesne pripravljenosti (športnik in nešportniki), da bi ugotovili, ali bo prišlo do kakšne pomembne razlike v VO<sub>2</sub>max rezultatih.

V vzorec je bilo vključenih 20 merjencev. Vsi udeleženci so bili moškega spola. Njihova povprečna starost je bila 17,5 let. Preiskušance smo nato razdelili glede na njihovo telesno pripravljenost v dve skupini in sicer na skupino športnikov in skupino nešportnikov.

VO<sub>2</sub>max rezultati so bili posredno izmerjeni z zvočno ukazanim testom izčrpanosti, tj. Beep testom. Rezultati, podani v obliki ravni in premikov, ki so bili pridobljeni z Beep testom, so bili nato uporabljeni v enačbi za izračun VO<sub>2</sub>max rezultata. Da bi preverili pomembnost razlik med povprečji, rezultatov obeh skupin smo izvedli dvostranski t-test.

Ugotovili smo, da zaužitje kofeina povzroči znatno povečanje vrednosti VO<sub>2</sub>max rezultata v primerjavi s stanjem brez kofeina tako pri športnikih kot pri nešportnikih.

S primerjavo VO<sub>2</sub>max rezultatov pred in po zaužitju kofeina, smo ugotovili, da je povprečni rezultat športnikov veliko višji v primerjavi s povprečno največjo porabo kisika nešportnikov. Razlike med vrednostmi VO<sub>2</sub>max rezultatov med športniki in nešportniki so statistično značilne. To velja tako za pogoje brez zaužitja substanc, kot po zaužitju kofeina.

Pri raziskavi smo se srečali tudi omejitvami, saj za oceno oziroma napovedi VO<sub>2</sub>max rezultatov na podlagi uspešnosti Beep testa razvitih več enačb. Obstajajo namreč razlike v aerobni zmogljivosti športnikov glede na šport, s katerim se ukvarjajo, kar lahko vpliva na veljavnost enačb. A vključevanje aerobne zmogljivosti kot dodatne spremenljivke bi preseglo namen tega dela. Metodološka omejitev te raziskave je tudi neupoštevanje učinka placeba. Rezultati so lahko manj natančni zaradi učinka placeba, saj udeleženci pričakujejo določeno fiziološko reakcijo po zaužitju vsake snovi in jo zato sprožijo.

Potencialna razširitev te raziskave bi bila nadaljnja raziskava o vplivu različnih količin kofeina na rezultate VO<sub>2</sub>max, saj so odmerki v razponu od 200 do 400 mg kofeina najboljši za povečanje učinkovitosti vadbe brez potencialnega tveganja za udeleženca. Poleg tega bi lahko testirali tudi druge snovi za izboljšanje učinkovitosti (stimulanse), da bi dobili vpogled v to, kako različne snovi vplivajo na rezultate VO<sub>2</sub>max. Prav tako bi učinke kofeina lahko primerjali med različnimi starostnimi skupinami, da bi ugotovili, ali in kako starost vpliva na odziv človeškega telesa na to snov.

Keywords: VO<sub>2</sub>max, maximal oxygen uptake, caffeine, athletes, non-athletes

## **Caffeine ingestion effect on VO<sub>2</sub>max, measured in athletes and non-athletes**

### ABSTRACT

VO<sub>2</sub>max indicates the maximum oxygen intake and the maximum volume of oxygen that an individual is able to consume. VO<sub>2</sub>max reflects the oxygen uptake achieved during maximal exercise intensity, which could not be increased despite further increases in exercise load. It is therefore the maximum amount of oxygen that the muscles use to produce energy, under high load. It can be expressed as an absolute measure in liters of oxygen per minute (l/min) or as a relative measure in milliliters of oxygen consumed per kilogram of body weight per minute (ml/ (kg·min)).

With the research paper, we wanted to find out whether there are factors or substances that can potentially improve an individual's endurance, measured as the VO<sub>2</sub>max parameter, without harmful side effects. Therefore, the aim of the research was to find out how caffeine consumption affects the values of the maximum percentage of oxygen (VO<sub>2</sub>max). In addition to the effect of caffeine consumption, we also included a physical fitness variable (athlete vs. non-athlete) to see if there would be any significant differences in VO<sub>2</sub>max results.

20 subjects were included in the sample. All participants were male. Their average age was 17.5 years. The test subjects were then divided according to their physical fitness into two groups, namely a group of athletes and a group of non-athletes.

VO<sub>2</sub>max results were measured indirectly by an audio-commanded exhaustion test, i.e. Beep test. The results given in the form of levels and displacements that were obtained from the Beep test so that they were then used in the options to calculate VO<sub>2</sub>max results. In order to verify the significance of the difference between the means, the results of the two groups were performed using a two-tailed t-test.

We found that the consumption of caffeine causes a significant increase in the value of the VO<sub>2</sub>max result compared to the state without caffeine in both athletes and non-athletes.

By comparing the VO<sub>2</sub>max results before and after consuming caffeine, we found that the average result of athletes is much higher compared to the average maximal oxygen consumption of non-athletes. The differences between the values of VO<sub>2</sub>max results between athletes and non-athletes are statistically significant. This applies to both non-substance and post-caffeine conditions.

In the research, we also encountered limitations, as several equations were developed to estimate or predict VO<sub>2</sub>max results based on the performance of the Beep test. Namely, there are differences in the aerobic capacity of athletes depending on the sport they play, which can affect the validity of the equations. But including aerobic capacity as an additional variable would exceed the purpose of this work. A methodological limitation of this research is also the lack of consideration of the placebo effect. Results that may be less accurate due to the placebo effect, as participants expect a certain physiological reaction to consuming each substance and therefore trigger it.

A potential extension of this research would be to further investigate the effect of different amounts of caffeine on VO<sub>2</sub>max results, as doses ranging from 200 to 400 mg of caffeine are best for increasing exercise performance without potential risks to participants. Additionally, other performance enhancing substances (stimulants) could be tested to gain insight into how different substances affect VO<sub>2</sub>max results. Also, the effects of caffeine could be compared between different age groups to see if and how age affects the human body's response to this substance.

## 1 UVOD

Že od malega sem bil velik ljubitelj športa, še posebej rokomet, pri katerem ima fizična pripravljenost veliko vlogo, da lahko na igrišču dosežeš najboljše rezultate. Kot rokometas se dobro zavedam pomena fizične pripravljenosti oziroma natančneje vzdržljivosti igralcev. Pred vsako sezono se izvedejo testi vzdržljivosti, kot je Beep Test, da se preveri, kako dobro so se športniki odrezali v predsezoni. Seveda je cilj vsakega posameznega igralca čim boljša fizična pripravljenost in da doseže najboljše možne rezultate na testu. Pri urah biologije smo se približje seznanili s človeško fiziologijo v smislu delovanja mišic in ohranjanja mišičnih tkiv med celičnim dihanjem. Dejavnikom, ki lahko povečajo vzdržljivost, pa nismo posvetili veliko pozornosti. Z raziskovalno nalogo sem želel izvedeti, ali obstajajo dejavniki ali snovi, ki lahko potencialno izboljšajo vzdržljivost posameznika, merjeno kot parameter VO<sub>2</sub>max, brez škodljivih stranskih učinkov. Zato je bil cilj raziskovalne naloge poiskati učinek zaužitja kofeina na rezultate VO<sub>2</sub>max. Poleg učinka zaužitja kofeina sem vključil tudi spremenljivko telesne pripravljenosti, kjer sem primerjal rezultate VO<sub>2</sub>max športnikov in nešportnikov, da bi ugotovil, ali bo prišlo do kakšne pomembne razlike v njihovih rezultatih.

### 1.1 Raziskovalno vprašanje

Kako zaužitje kofeina (400 mg) vpliva na VO<sub>2</sub>max, merilo največje količine kisika, ki ga telo lahko izkoristi med vadbo (mL/kg/min), moških športnikov ali nešportnikov (17-18 let), ki običajno ne pijejo kofeinskih pijač, merjeno s standardiziranim testom izčrpanosti, imenovanim Beep test, pred in 60 minut po zaužitju?

### 1.2 Predpostavke

Prvič, domneva se, da so vse spremembe VO<sub>2</sub>max rezultatov v kontrolni skupini posledica dnevnih variacij VO<sub>2</sub>max rezultatov (Knaier et al., 2019), kar pomeni, da se VO<sub>2</sub>max čez dan naravno spreminja, saj se udeležencem ne daje nobena snov, medtem ko so vse spremenljivke, ki bi morda lahko vplivale na rezultate VO<sub>2</sub>max, kontrolirane. Drugič, primerjava VO<sub>2</sub>max rezultatov po zaužitju kofeina v primerjavi s kontrolno skupino, naj bi razkrila učinke kofeina na VO<sub>2</sub>max rezultate udeležencev, glede na to, da so vse spremenljivke, ki vplivajo na VO<sub>2</sub>max rezultate, nadzorovane in postopek merjenja ostaja enak.

### 1.3 Hipoteze

Na podlagi zgoraj opisane teorije je mogoče postaviti določene hipoteze, ki predvidevajo učinke kofeina na VO<sub>2</sub>max rezultat udeležencev. Kot je navedeno zgoraj, študije, kot sta Norian et al., 2014; Usman et al., 2017 itd. so pokazale, da kofein poveča VO<sub>2</sub>max rezultat po zaužitju, zato se pričakuje znatno povečanje pri moških mladostnikih.

**Hipoteza 1:** Zaužitje 400 mg kofeina povzroči znatno povečanje vrednosti VO<sub>2</sub>max rezultatov pri moških mladostnikih 60 minut po zaužitju v primerjavi s stanjem brez kofeina tako pri športnikih kot pri nešportnikih.

Hermansen in Andersen (1965) ter Amanda M. et al (2011) so dokazali, da sedeči življenjski slog brez ukvarjanja s kakršnokoli športno dejavnostjo znižuje vrednosti VO<sub>2</sub>max, zato se pričakuje precejšnje odstopanje med vrednostmi pri športnikih in nešportnikih.

**Hipoteza 2:** Vrednosti VO<sub>2</sub>max rezultatov bodo znatno višje pri športnikih kot pri nešportnikih, tako pred kot tudi po zaužitju kofeina.

## 2 TEORETIČNO OZADJE

**Kofein (CAF)** je ergogenik, ki izboljša zmogljivost in spremeni fiziološke in psihološke odzive med vadbo (Brietzke et al., 2017). S kemijskega vidika je kofein trimetilksantin, ki ga zlahka najdemo v naši prehrani ali nekaterih zdravilih in se uporablja za povečanje zmogljivosti pri športnih aktivnostih. Ima raznolik učinek na človeško telo, zmanjša odzivni čas, zakasni faktor utrujenosti, poveča osredotočenost in budnost ter olajša živčni impulz (Bagwath Persad, 2011). Kofein redno uporabljajo športniki v različnih oblikah, v aerobnem in anaerobnem športu, izkoriščajoč lastnosti, ki povečujejo fizično zmogljivost. (Hodgson et al., 2013). Kar zadeva psihološke učinke, naj bi kofein zmanjšal občutek utrujenosti med vadbo (Plaskett & Cafarelli, 2001). Glavna vloga kofeina v telesu je izboljšati psihomotorično delo, tako da telo ohranja v delovanju in daje fiziološke učinke povečanja energije. Učinek je običajno viden šele 1-2 uri po zaužitju kofeina (Usman et al., 2017).

Vse zgoraj navedeno se zgodi zaradi kofeina, ki omejuje sposobnost telesa, da poveča pretok krvi v srce med vadbo, kar je koristno pri varčevanju kisika za uporabo v skeletnih mišicah in s tem povečanju največje porabe kisika (VO<sub>2</sub>max) v času vadbe (Usman et al., 2017). Natančneje, kofein vpliva na delovanje možganov, pri čemer so glavna tarča adenzinski receptorji, kjer inhibicija adenzinskih receptorjev povzroči povečano sproščanje angiotenzina II in adrenalina, ki sčasoma povzročita zvišanje krvnega tlaka (Geethavani et al., 2014).

**Največji privzem kisika (VO<sub>2</sub>max)** sta leta 1923 opredelila Hill in Lupton kot privzem kisika, dosežen med največjo intenzivnostjo vadbe, ki ga ni bilo mogoče povečati kljub nadaljnjemu povečanju obremenitve pri vadbi, s čimer sta določila meje kardiorespiratornega sistema, merjeno v ml porabljenega kisika na kilogram telesne teže na minuto (Hawkins & Raven, 2007). Postopek testiranja ni enostaven, saj zahteva zelo natančno merjenje športnikove ventilacije z merjenjem koncentracije kisika in ogljikovega dioksida v vdihanem in izdihanem zraku, medtem ko športnik izvaja stopenjski vadbeni test na tekalni stezi ali statičnem kolesu (Bundy & Leaver, 2010). VO<sub>2</sub>max je fiziološka značilnost, omejena s parametričnimi mejami Fickove enačbe: (končni diastolični volumen levega prekata (LV) – končni sistolični volumen LV) x srčni utrip x arterio-venska razlika kisika. Sodobne raziskave mehanizmov, na katerih temelji periferna mišična utrujenost zaradi neskladja med ponudbo in povpraševanjem po energiji, pojasnjujejo lokalne mediatorje utrujenosti na ravni skeletnih mišic, čeprav aferentne signalne poti, ki sporočajo te okoljske razmere možganom in mestom centralne integracije kardiovaskularnega in nevromotornega nadzora, še razvijamo. Vrhunski vzdržljivostni športniki imajo visok VO<sub>2</sub>max predvsem zaradi visokega minutnega volumna srca iz velike srčne komore (vključno s srčno mišico in osrčnikom), ki se hitro sprosti in napolni do velikega končnega diastoličnega volumna. Ta velika zmogljivost za polnjenje in iztis LV omogoča ohranjanje krvnega tlaka med izrednimi hitrostmi mišičnega krvnega pretoka in transporta kisika, ki podpirajo visoke hitrosti vzdržljivega oksidativnega metabolizma med vadbo. (Lewine; 2007)

### 3 METODOLOGIJA

Vzorec udeležencev je zajemal 2 skupini po 10 dijakov starih od 17 do 18 let. Prva skupina je skupina športnikov (natančneje aktivni rokometaši), ki trenirajo 8 ur na teden vsaj dve leti. Drugo skupino sestavljajo nešportniki, to so udeleženci, ki vsaj dve leti ne trenirajo nobenega športa. Udeleženci v vsaki skupini predstavljajo tako kontrolno (meritve pred zaužitjem kofeina), kot tudi eksperimentalno skupino (meritve 60 min po zaužitju kofeina).

#### 3.1 Spremenljivke

##### 3.1.1 Neodvisne spremenljivke

Prva neodvisna spremenljivka je bil kofein, ki so ga zaužili mladostniki v obeh skupinah. Udeleženci v kontrolni skupini niso zaužili nobene snovi, v eksperimentalni skupini (kofein) pa so zaužili 400 mg kofeina. Kofein so zaužili v obliki želatinskih kapsul, po 4 na udeleženca, vsaka pa je vsebovala 100 mg kofeina. Druga neodvisna spremenljivka je bila telesna aktivnost udeležencev (športnik in nešportnik). Vključitveni kriterij za športnika je bil, da je udeleženec aktiven rokometaš, ki trenira 8 ur na teden vsaj dve leti. Da bi udeleženci izpolnjevali vključitveni kriterij za nešportnika, vsaj dve leti ne smejo trenirati nobenega športa.

##### 3.1.2 Odvisne spremenljivke

VO<sub>2</sub>max (merjeno v ml/kg/min  $\pm$  4,6 ml/kg/min) udeležencev pred in 60 minut po zaužitju kofeina. VO<sub>2</sub>max je bil posredno izmerjen z zvočno ukazanim testom izčrpanosti, tj. Beep test (Paradisis et al., 2014). Rezultati, podani v obliki ravni in premikov, ki so bili pridobljeni z Beep testom, so bili nato uporabljeni v enačbi za izračun VO<sub>2</sub>max rezultata za vsakega udeleženca v obeh pogojih (pred in 60 minut po zaužitjem kofeina). Nezan esljivost meritev je bila povzeta po Magee et al., 2021 .

##### 3.1.3 Nadzorovane spremenljivke

Nadzorovana spremenljivka	Zakaj bi bilo treba nadzorovati?	Kako je bilo nadzorovano?
Starost udeležencev	VO <sub>2</sub> max se s starostjo zmanjšuje. (Kim et al., 2016)	Vsi udeleženci so bili stari 17-18 let.
Spol	Na VO <sub>2</sub> lahko vplivajo različni dejavniki, eden največjih dejavnikov je spol. Po mnenju Jamison et al. (2018), ženske običajno dosegajo najvišje rezultate VO <sub>2</sub> 15–30 % pod vrednostmi moških.	Udeleženci so bili samo moški.
Pitje kofeinskih pijač	Akutni tlačni učinek kofeina se zmanjša ali popolnoma zmanjša z običajnim (več kot 3-krat na teden) uživanjem kave (Hara et al., 2014).	Sodelovali so le udeleženci, ki pijejo kofeinske pijače manj kot 3-krat na teden. Udeležencem je bilo tudi naročeno, naj ne pijejo kofeinskih pijač ali alkohola 3 dni pred testom izčrpanosti.



<b>Nadzorovana spremenljivka</b>	<b>Zakaj bi bilo treba nadzorovati?</b>	<b>Kako je bilo nadzorovano?</b>
Zdravje in zdravila	Določena stanja in zdravila lahko nepredvidljivo vplivajo na srčni utrip in lahko povzročijo, da je uživanje kofeina nevarno (Aronow, 2017). To nato vpliva na meritve VO <sub>2</sub> max, saj povečanje srčnega utripa med telesno aktivnostjo zmanjša VO <sub>2</sub> max (Moghiseh et al., 2013).	Udeleženci niso imeli diagnosticiranih stanj ali bolezni, ki bi vplivale na srčni utrip (na primer aritmija, hipertenzija itd.) in niso jemali nobenega zdravila, ki bi vplivalo na srčni utrip oz. VO <sub>2</sub> max.
Postopek merjenja	Za merjenje izida VO <sub>2</sub> max je bil izveden test piska (Beep test) in isti postopek je bil uporabljen za zmanjšanje naključnih variacij rezultatov zaradi napak v posameznih meritvah.	Preden so se udeležili Beep testa, so bili primerno ogreti, da bi zagotovili uspešno izvedbo. Test je potekal v zaprtih prostorih, da bi preprečili kakršen koli zunanji dražljaj, ki bi vplival na rezultate, in temperatura je bila konstantna. Tekli so na strogo omejenem območju v dolžini natanko 20 metrov. Vsa navodila med testom Beep so bila predstavljena v razumljivi zvočni obliki, ki je standardizirana v vseh testih izčrpavanja.
Voda	Dehidracija poveča srčni utrip (Akerman et al., 2017). To nato vpliva na meritve VO <sub>2</sub> max, saj povečanje srčnega utripa med telesno aktivnostjo zmanjša VO <sub>2</sub> max (Moghiseh et al., 2013).	Pred Beep testom je vsak popil 200 ml vode z zaužitim kofeinom ali brez njega. Udeleženci so po potrebi tudi pili vodo, tako da nihče ni bil dehidriran.
Obdobje počitka po zaužitju	Kofein doseže najvišjo koncentracijo v krvi 30-120 minut po zaužitju (Owen et al., 2008).	Beep test je bil opravljen 60 minut po zaužitju kofeinskih kapsul.
Količina kofeina	Spremembe v zaužiti količini lahko vplivajo na rezultate, saj večje količine zaužitih snovi povzročijo hujše učinke (Rogers et al., 2007).	Udeleženci so zaužili točno 400 mg v obliki 4 želatinskih kapsul iz iste stekleničke (Proteini.si kofeinske kapsule)

Nadzorovana spremenljivka	Zakaj bi bilo treba nadzorovati?	Kako je bilo nadzorovano?
Zajtrk	Razlike v njihovih obrokih bi lahko spremenile obseg učinka, ki ga ima zaužita snov na krvni tlak in srčni utrip (Nehlig, 2018). To nato vpliva na meritve VO <sub>2</sub> max, saj povečanje srčnega utripa med telesno aktivnostjo zmanjša VO <sub>2</sub> max (Moghiseh et al., 2013).	Vsem udeležencem je bilo naročeno, naj vsaj dve uri pred meritvami ne jedo.
Kajenje	Kajenje pri mladih bistveno poslabša njihovo zmogljivost VO <sub>2</sub> max. (Chatterjee in Dey, 1987)	V tej raziskavi so sodelovali samo udeleženci, ki ne kadijo.
Čas dneva	Na vrednosti VO <sub>2</sub> max vplivajo dnevne spremembe, kar pomeni, da se vrednosti VO <sub>2</sub> max čez dan spreminjajo. (Knaier et al., 2019)	Meritve vseh udeležencev so potekale ob isti uri dneva, in sicer med 9.00 in 10.30.

### 3.2 Materiali

- Računalnik z nameščenimi zvočnimi navodili, po katerih je bil izveden Beep test
- Skupaj 80 kofeinskih kapsul Proteini.si (vsaka kapsula vsebuje 100 mg kofeina)
- Obrazci za informirano soglasje (Priloga 6.1)
- Bluetooth zvočnik
- Šolska telovadnica

### 3.3 Postopek

Udeleženi sta bili 2 skupini po 10 dijakov, starih od 17 do 18 let. Prva skupina je bila skupina športnikov, ki je zajemala aktivne rokometaše, ki trenirajo 8 ur na teden vsaj dve leti. Druga skupina, nešportniki, ki so jo sestavljali udeleženci, ki vsaj dve leti ne trenirajo nobenega športa, je služila kot kontrolna skupina. V podpis so dobili obrazec za informirano soglasje.

Udeležencem je bilo naročeno, naj 3 dni pred merjenjem ne pijejo kofeinskih pijač ali alkohola. Vse meritve so bile v dopoldanskem času med 9. in 10.30 uro. Naročeno jim je bilo, naj pred meritvami ne zajtrkujejo, dovolj spi in zjutraj popijejo kozarec vode, da ne bodo dehidrirani.

Prvi dan meritev so udeleženci iz skupine športnikov prišli v šolsko telovadnico, kjer so se primerno ogreli, da bi bili rezultati čim bolj točni. Po opravljenem ogrevanju sem jim predstavil navodila, kako natančno deluje Beep Test, in jih seznanil z zvočnimi znaki, ki služijo kot bistveni ukazi za protokol Beep Test. Slednji od udeležencev zahteva, da tečejo naprej in nazaj med dvema linijama, ki sta postavljeni 20 metrov narazen. Udeleženci morajo vzdrževati hitrost teka, določeno s prednastavljenim zvokom, ki zveni kot "pisk", ves čas trajanja testa. Zahtevana hitrost ali tempo teka se z napredovanjem testa povečuje. Beep test se začne z zvokom »trojnega piska«. To udeležencem nakazuje, da se je preizkus začel, na tej točki pa morajo teči do nasprotne 20-metrске končne točke in tja prispeti najpozneje ob

ponovnem zvoku. Ko udeleženci zaradi izčrpanosti ne morejo priti do končne točke ob zvočnem signalu, to pomeni konec protokola in rezultat udeleženca se nato zabeleži. Rezultati Beep testa so razčlenjeni na raven (angl. Level) in premike (angl. Shuttle), ki so podatki, zbrani iz protokola Beep Test in se kasneje pretvorijo v rezultate VO<sub>2</sub>max. Ko je vseh 10 udeležencev opravilo prej opisani protokol, so dobili nekaj vode za pitje, da bi preprečili kakršno koli obliko dehidracije, ki bi lahko vplivala na rezultate. Po tem so udeleženci zaužili 400 mg kofeina z dodatnimi 200 ml vode. Po zaužitju jim je bilo naročeno, naj počivajo 60 minut, nato pa so ponovili test piska. Izvaja se 60-minutni čas počitka, da se zagotovi, da lahko kofein pri udeležencu izzove ustrezen odziv. Beep test je bil, kot je opisano zgoraj, ponovno opravljen, da bi testirali možen učinek zaužitja kofeina na udeleženčevo vzdržljivostno sposobnost.

Drugi dan meritev so udeleženci iz skupine nešportnikov prišli v šolsko telovadnico, kjer so opravili enak postopek kot udeleženci iz skupine športnik dan prej. Protokol Beep testa je bil izveden na enak način, kot je opisano zgoraj za skupino športnikov, kar omogoča primerljive rezultate VO<sub>2</sub>max.

### **3.4 Etični in varnostni vidiki**

Ker gre za eksperiment, ki vključuje človeški subjekt, je treba upoštevati nekaj etičnih in varnostnih vidikov. Zaradi lastne varnosti niso bili vključeni udeleženci, če so imeli kakršne koli bolezni ali stanja, povezana s srcem, ki bi se lahko poslabšala pod vplivom naporne telesne dejavnosti, kot so aritmija, hipotenzija ali hipertenzija, in bi lahko nanje negativno vplivalo zaužitje kofeina ali so imeli kakršne koli slabe reakcije na kofein v preteklosti. Med poskusom smo spremljali njihovo telesno in psihično počutje. Po mnenju Harrison-Dunn et al. (2015) 400 mg kofeina na dan iz vseh virov ne predstavlja tveganja za udeleženca, prav tako kot tudi dejstvo, da so odmerki v razponu od 200 do 400 mg kofeina najboljši za povečanje učinkovitosti vadbe brez potencialnega tveganja za udeleženca (Southward et al. , 2018). Vsi udeleženci so podpisali pisno privolitvev (Priloga 6.2), v kateri so bili obveščeni o pravici do odstopa od študije kadarkoli, o cilju raziskave in zaupnosti svojih podatkov. Vsi so bili starejši od 16 let in so sodelovali po lastni volji.

## 4 REZULTATI

### 4.1 Kvalitativna opažanja

Med eksperimentom smo spremljali vedenje udeležencev in njihovo počutje. Noben udeleženec ni poročal o občutku tesnobe ali slabosti, kar dokazuje, da dane snovi v danih odmerkih niso bile škodljive za njihovo zdravje. Vendar sta 2 udeleženca omenila, da sta po zaužitju kofeinskih kapsul nekoliko nervozna in vznemirjena. 4 udeleženci pa so poročali, da so se po zaužitju kofeina počutili bolj zbrane in živahne.

### 4.2 Neobdelani podatki

Po izvedbi vseh meritev so bili pridobljeni neobdelani podatki. Pridobljeni neobdelani podatki so bili za vsakega od 10 udeležencev v obliki vrednosti raven (L), premik (S) in VO2max (mL/kg/min) pred in 60 minut po zaužitju 400 mg kofeina.

### 4.3 Obdelava podatkov

Meritve so bile organizirane v dve tabeli, tako da so bili pridobljeni podatki razdeljeni v dva sklopa, in sicer ločeno za športnike in nešportnike. Najprej so bile zbrane meritve ravni (L - level) in premikov (S - shuttle) kot rezultat protokola Beep Testa (Paradisis et al., 2014). Ko so bile te meritve zbrane, je bila uporabljena formula, ki se uporablja za pretvorbo rezultata Beep Testa v rezultat VO2max:

$$VO2Max = 3,46 * (L + S / (L * 0,4325 + 7,0048)) + 12,2$$

Srednja vrednost (mean -  $\bar{X}$ ) teh spremenljivk je bila izračunana za prikaz osrednjih tendenc rezultatov in bo uporabljena v nadaljnji analizi za predstavitev povprečne vrednosti rezultatov VO2max. Standardni odklon (SD) je bil izračunan za prikaz razpršenosti podatkov okoli srednje vrednosti in bo uporabljen v nadaljnji analizi za predstavitev naključne napake podatkov. Koeficient variacije (KV) je bil izračunan z namenom prikaza relativne razpršenosti podatkov okoli srednje vrednosti. Srednje vrednosti, standardni odkloni in koeficient variacije, vključeni v tabelah 2, 3, 4 in 5, so bili izračunani z Microsoft Excelom.

**Tabela 1: Neobdelani podatki, pridobljeni s Beep testom za vsakega udeleženca v skupini**

udeleženec	raven (L)	premiki (S)
Udeleženec 1	11	3
Udeleženec 2	10	1
Udeleženec 3	11	3
Udeleženec 4	11	3
Udeleženec 5	11	1
Udeleženec 6	11	2
Udeleženec 7	12	4
Udeleženec 8	9	2
Udeleženec 9	11	3
Udeleženec 10	9	4

**Tabela 2: Rezultati VO<sub>2</sub>max pri nešportnikih, izmerjeni pred zaužitjem kofeina**

	raven (L)	premiki (S)	VO <sub>2</sub> max	$\bar{X}$	SD	KV
Udeleženec 1	7	9	39,5	39,1	3,4	8,7
Udeleženec 2	8	9	42,9			
Udeleženec 3	7	2	37,1			
Udeleženec 4	6	7	35,5			
Udeleženec 5	6	7	35,5			
Udeleženec 6	9	8	45,9			
Udeleženec 7	7	9	39,5			
Udeleženec 8	8	2	40,5			
Udeleženec 9	7	5	38,1			
Udeleženec 10	6	9	36,2			

**Tabela 3: Rezultati VO<sub>2</sub>max pri nešportnikih, merjeni 60 minut po zaužitju kofeina**

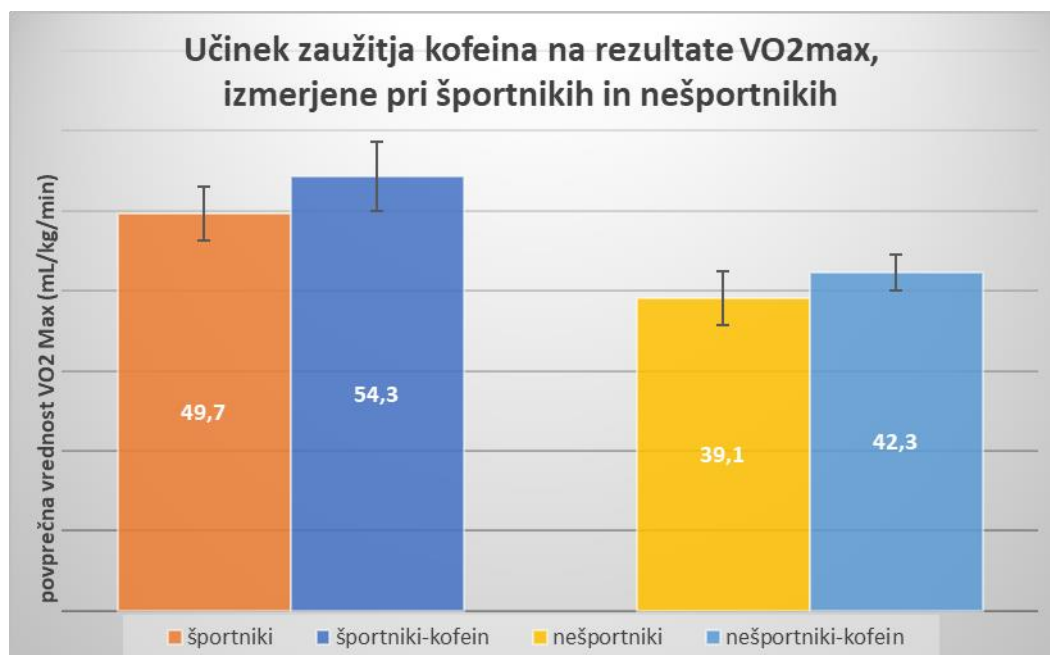
	raven (L)	premiki (S)	VO <sub>2</sub> max	$\bar{X}$	SD	KV
Udeleženec 1	8	4	41,2	42,3	2,3	5,4
Udeleženec 2	9	2	44,0			
Udeleženec 3	7	9	39,5			
Udeleženec 4	7	8	39,2			
Udeleženec 5	9	1	43,7			
Udeleženec 6	9	11	46,8			
Udeleženec 7	8	6	41,9			
Udeleženec 8	8	7	42,2			
Udeleženec 9	8	3	40,9			
Udeleženec 10	8	11	43,5			

**Tabela 4: Rezultati VO<sub>2</sub>max pri športnikih, izmerjeni pred zaužitjem kofeina**

	raven (L)	premiki (S)	VO <sub>2</sub> max	$\bar{X}$	SD	KV
Udeleženec 1	11	3	51,0	49,7	3,4	6,8
Udeleženec 2	10	1	47,1			
Udeleženec 3	11	3	51,1			
Udeleženec 4	11	3	51,1			
Udeleženec 5	11	1	50,6			
Udeleženec 6	11	2	50,8			
Udeleženec 7	12	4	54,9			
Udeleženec 8	9	2	44,0			
Udeleženec 9	11	3	51,1			
Udeleženec 10	9	4	44,6			

**Tabela 5: Rezultati VO2max pri športnikih, izmerjeni 60 minut po zaužitju kofeina**

	raven (L)	premiki (S)	VO2max	$\bar{X}$	SD	KV
Udeleženec 1	13	8	59,4	54,3	4,4	8.1
Udeleženec 2	11	1	50,6			
Udeleženec 3	12	12	57,1			
Udeleženec 4	12	10	56,6			
Udeleženec 5	12	1	54,0			
Udeleženec 6	12	6	55,4			
Udeleženec 7	13	6	58,8			
Udeleženec 8	9	7	45,6			
Udeleženec 9	12	6	55,4			
Udeleženec 10	10	10	49,9			



**Graf 1: Učinek zaužitja kofeina na rezultate VO2max pri športnikih in nešportnikih. Intervali napak predstavljajo standardna odstopanja**

#### 4.4 Statistična analiza

##### T-TEST

Da bi preverili pomembnost razlike med povprečji, predstavljenimi v tabelah, je bil izveden dvostranski t-test. Izvedeni je bil s pomočjo Excela, kar pomeni, da izrisani rezultati kažejo verjetnost sklepanja, da je razlika med rezultati raziskave statistično pomembna. P-vrednosti, ki jih izračuna Excel, se običajno primerjajo s p-vrednostjo 0,05. Če so enake ali nižje, je alternativna hipoteza sprejeta, saj to pomeni, da obstaja pomembna razlika med rezultati preiskave, nasprotno, če se p-vrednosti iz Excela izkažejo za večje od 0,05, je sprejeta ničelna hipoteza, saj ne obstajajo statistično pomembne razlike med srednjimi vrednostmi.

Da bi preizkusili obe hipotezi, smo primerjali:

- Za preizkus hipoteze 1 rezultate po zaužitju kofeina z rezultati pred zaužitjem kofeina v obeh skupinah (športniki in nešportniki).
- Za preizkus hipoteze 2 pa rezultate športnikov z rezultati nešportnikov pred in po zaužitju kofeina.

**Ničelna hipoteza** ne predvideva statistično pomembnih razlik med vrednostmi VO<sub>2</sub>max v primerjanih skupinah. Stopnja pomembnosti je bila  $p = 0,05$ , kar pomeni, da obstaja 5% verjetnost, da je ničelna hipoteza napačno zavržena. Če so torej vrednosti  $p$ , izračunane v obeh skupinah, manjše od kritične vrednosti ( $p = 0,05$ ), se razlika šteje za statistično značilno, zato je ničelna hipoteza ovržena in alternativna hipoteza **sprejeta**.

V Tabeli 6 so prikazane izračunane p-vrednosti za vsako hipotezo ter statistična pomembnost razlik med primerjanima skupinama.

**Tabela 6: Rezultati T-testa za vse primerjane skupine**

Preizkušena hipoteza	Pogoji	p- vrednost	Statistična pomembnost
$H_1$	Športniki s kofeinom vs. Športniki brez kofeina	$1,78 * 10^{-5}$	Pomembna
	Nešportniki s kofeinom vs. Nešportniki brez kofein	0,003067	Pomembna
$H_2$	Športniki vs. Nešportniki oboje brez kofeina	$1,49 * 10^{-6}$	Pomembna
	Športniki vs. Nešportniki oboje s kofeinom	$4,4 * 10^{-7}$	Pomembna

## 5 RAZPRAVA

### 5.1 Ovrednotenje rezultatov

Proučevali smo, kako zaužitje kofeina (400 mg) vpliva na rezultate VO<sub>2</sub>max (mL/kg/min) športnikov in nešportnikov (17-18 let), ki redno ne uživajo kofeinskih pijač. Na podlagi rezultatov testiranja obeh hipotez je mogoče oblikovati zaključke glede vpliva kofeina na VO<sub>2</sub>max rezultate.

Najprej smo primerjali VO<sub>2</sub>max rezultate pred ter po zaužitju kofeina tako pri športnikih, kot pri nešportnikih. Graf 1 prikazuje, da je 400 mg kofeina povzročilo povečanje vrednosti VO<sub>2</sub>max rezultatov in sicer pri športnikih iz  $49,7 \pm 4,6$  na  $54,3 \pm 4,6$  ml/kg/min, pri nešportnikih pa iz  $39,1 \pm 4,6$  na  $42,3 \pm 4,6$  ml/kg/min. Rezultati t-testa kažejo, da so razlike med vrednostmi VO<sub>2</sub>max rezultatov pred in 60 minut po zaužitju kofeina statistično pomembne tako v skupini športnikov, kot tudi pri nešportnikih ( $p < 0,05$ ).

Ti **rezultati potrjujejo hipotezo 1** : zaužitje 400 mg kofeina povzroči znatno povečanje vrednosti VO<sub>2</sub>max rezultata pri moških mladostnikih v primerjavi s stanjem brez kofeina tako pri športnikih kot pri nešportnikih. To je posledica kofeina, ki zavira sposobnost telesa, da poveča pretok krvi v srce med vadbo, kar je koristno pri varčevanju s kisikom za uporabo v skeletnih mišicah in s tem povečanju maksimalne porabe kisika (VO<sub>2</sub>max) v času vadbe (Usman et al., 2017). Zaključek podpirajo tudi rezultati predhodne raziskave, ki so jo izvedli Norian et al. (2014) na mladostnikih, ko so ugotovili, da 3-5 mg/kg telesne teže kofeina povzroči znatno povečanje največje porabe kisika (6,84 ml/kg/min) 60 minut po zaužitju. Vrednosti povprečnih VO<sub>2</sub>max rezultatov, prikazane v tabelah 4 in 5, so nekoliko nižje (4,6 ml/kg/min) v primerjavi s prej omenjeno študijo, vendar so rezultati še vedno statistično pomembni, saj študij ni mogoče v celoti primerjati zaradi razlike v velikosti vzorca ter različni uporabljeni metodologiji.

V nadaljevanju pa smo VO<sub>2</sub>max rezultate nešportnikov primerjali z VO<sub>2</sub>max rezultati športnikov tako v pogojih brez zaužitja substanc, kot tudi po zaužitju kofeina. Graf 1 kaže, da je povprečni VO<sub>2</sub>max rezultat športnikov ( $49,7 \pm 4,6$  ml/kg/min) veliko višji v primerjavi s povprečno največjo porabo kisika nešportnikov ( $39,1 \pm 4,6$  ml/kg/min).

Rezultati t-testa v tabeli 6 kažejo, da so razlike med vrednostmi VO<sub>2</sub>max rezultatov med športniki in nešportniki statistično značilne. To velja tako za pogoje brez zaužitja substanc, kot tudi 60 minut po zaužitju kofeina. Na statistično pomembnost razlik nakazujejo tudi neprekrivajoči se intervali standardnih odstopanj (razpon t.i. intervalov napak). Zato lahko **hipotezo 2 potrdimo**: Vrednosti VO<sub>2</sub>max rezultatov bodo znatno višje pri športnikih kot pri nešportnikih. Temu pritrjujejo tudi pretekle raziskave npr. Bute et al. (2014) izvedene na mladih ženskah, ki so pokazale, da trening poveča VO<sub>2</sub> Max s povečanjem minutnega volumna srca zaradi visokega utripnega volumna ter arterio-venske razlike v kisiku. Fizični trening poveča VO<sub>2</sub> max za 50 % s povečanjem utripnega volumna, 50 % povečanje pa je posledica povečanega črpanja kisika s strani delujočih mišic, kar se odraža v povečani arterio-venski razliki. Intenzivna aerobna vzdržljivostna vadba lahko povzroči znatno povečanje vseh mišic s spremembo konfiguracije srca. Trening poveča gostoto kapilar v skeletnih mišicah. Ta povečana sposobnost oskrbovanja mišic s krvjo vodi do povečane vaskularizacije. Vadba povzroči tudi povečanje števila mitohondrijev s povečano sposobnostjo aerobnega ustvarjanja ATP z oksidativno fosforilacijo (Bute et al. (2014)).



## 5.2 Prednosti raziskave

Primerjava VO<sub>2</sub>max rezultatov po zaužitju kofeina z VO<sub>2</sub>max rezultati v kontrolni skupini, za katere se domneva, da so posledica naravnih dejavnikov (VO<sub>2</sub>max je nagnjen k dnevnim spremembam), je prednost tega poskusa. Pri uporabi tega pristopa se faktor naravno spreminjajočih se spremenljivk upošteva pri obravnavi učinkov danih snovi na VO<sub>2</sub>max. To poveča natančnost ugotovitev. Prednost tega poskusa, ki povečuje zanesljivost ugotovitev, je uporaba eksperimenta z istimi 10 subjekti, izmerjenimi v obeh pogojih, saj je to zmanjšalo variabilnost udeležencev. Nadzor spremenljivk in standardiziran merilni postopek sta omogočila zanesljivejše zbiranje podatkov. Nadzorovanje značilnosti vzorca, kot sta starost in spol udeležencev, je zmanjšala variabilnost udeležencev in s tem zmanjšala naključno napako rezultatov.

Vrednosti SD so bile v večini primerov razmeroma nizke v primerjavi s povprečnimi izidi VO<sub>2</sub>max (razen v stanju nešportnika v primerjavi z nešportnikom z apliciranim kofeinom), kar pomeni, da so bile med udeleženci v vsakem stanju nekatere razlike zaradi intrinzične variabilnosti, vendar so bile variacije večinoma manjše od variacij med pogoji, kar nakazuje, da so bili rezultati zanesljivi. Izvedeni t-testi kažejo, da so bile v vseh primerih pomembne razlike med primerjanimi pogoji. To jasno dokazuje, da so rezultati v vseh raziskanih pogojih statistično pomembni. Poleg tega lahko trdimo, da so rezultati zanesljivi, saj so v skladu s prejšnjimi raziskavami, kot je razvidno iz zaključka.

## 5.3 Omejitve in možne izboljšave

Za oceno oziroma napovedi VO<sub>2</sub>max rezultatov na podlagi uspešnosti Beep testa je bilo razvitih več enačb, ki uporabljajo hitrost končne stopnje, dosežene med Beep testom. Enačbe so bile potrjene v splošni populaciji, rekreativno aktivnih moških in ženskah, otrocih, starih od 8 do 19 let, ter moških, ki se ukvarjajo s squashom in tekom na dolge proge. Kljub uporabi matematično zanesljivih enačb za napovedovanje končnih izidov VO<sub>2</sub>max se procesi pridobivanja rezultatov še vedno obravnavajo kot posredno merjenje, zato se tako doseženi VO<sub>2</sub>max rezultati štejejo le za oceno dejanske vrednosti.

Poleg tega obstajajo razlike v aerobni zmogljivosti športnikov glede na šport, s katerim se ukvarjajo, kar lahko vpliva na veljavnost enačb za oceno oziroma izračun VO<sub>2</sub>max rezultata iz Beep testa pri določenih populacijah (Magee et al., 2021). Omejitev tega poskusa je tako nizka stopnja natančnosti zaradi uporabe posredne metode merjenja izidov VO<sub>2</sub>max. To negativno vpliva na zanesljivost pridobljenih rezultatov. Za zmanjšanje možnosti napake pri predpisovanju vadbe zaradi precenjevanja ali podcenjevanja VO<sub>2</sub>max bi lahko uporabili profesionalni merilnik VO<sub>2</sub>max, kakršnega najdemo v zdravstvenih ustanovah.

Neupoštevanje učinka placeba je metodološka omejitev te študije. Udeleženci so bili pred vsako meritvijo obveščeni o snoveh, ki jih uživajo, da bi se izognili zavajanju ter v kontrolnem stanju niso uživali ničesar. Rezultati so lahko manj natančni zaradi učinka placeba; udeleženci pričakujejo določeno fiziološko reakcijo po zaužitju vsake snovi in jo zato sprožijo. To je lahko povzročilo pretirane odzive na kofein, kar bi lahko povzročilo višje povprečno povečanje izidov VO<sub>2</sub>max. To bi lahko izboljšali z dajanjem tablet udeležencem, ne da bi razkrili, katero snov vsebujejo. V kontrolnem stanju bi dali tableto, ki bi vsebovala snov brez učinkov na krvni tlak ali krvni pritisk.

Učinek intrinzične variabilnosti med udeleženci je bil minimiziran z uporabo vzorca posameznikov s posebnimi značilnostmi, vendar v omejenem obsegu, saj so bili udeleženci izbrani, če so ustrezali iskanim značilnostim in so bili na voljo v času te raziskave. To pomeni, da je bil v vzorcu še vedno precej širok razpon višin in telesnih tež, saj indeks BMI ni bil uporabljen kot vstopni kriterij za raziskavo, kar je lahko povečalo variabilnost rezultatov. Natančnost rezultatov bi lahko izboljšali z bolj selektivnim vzorcem z indeksom BMI kot vstopnim kriterijem za udeležence in manjšim razponom teže udeležencev, zaradi česar bi bili rezultati zanesljivejši.

Dodatno bi k zmanjšanju negotovosti pri sklepanju pripomogla uporaba večjega vzorca (več kot 40 udeležencev). Namesto 10 udeležencev v vsakem pogoju bi uporaba 30 udeležencev prinesla večjo gotovost rezultatov. Udeleženci so bili izmerjeni v šolski telovadnici in dobili navodila, naj ne zajtrkujejo, naj ne pijejo alkohola ali kofeinskih pijač 3 dni pred vsako meritvijo itd. Omejitve študije je tudi otežen nadzor nad upoštevanjem navodil s strani udeležencev, saj ni bilo nobenega načina, da bi lahko zagotovili, da so upoštevali dana navodila, morda so nekateri pozabili in na primer pomotoma popili kavo nekaj dni pred meritvami. To bi lahko zmanjšalo učinke apliciranih substanc na udeležence in povzročilo, da bi bili rezultati manj zanesljivi.

Ugotovitve te študije so zelo pomembne za resnične življenjske situacije, zlasti za športnike, saj so ugotovitve te raziskave neizmerno uporabne za izboljšanje njihove splošne športne uspešnosti. Po Southward et al. (2018), njihova metaanaliza akutnega učinka kofeina je pokazala, da so odmerki v razponu od 200 do 400 mg kofeina najboljši za povečanje telesne zmogljivosti, zato so dobljeni rezultati ob zaužitju 400 mg kofeina zelo uporabni.

**Potencialna razširitev** te študije bi bila nadaljnja raziskava o vplivu različnih količin kofeina na rezultate VO<sub>2</sub>max pri ljudeh. Poleg tega bi lahko testirali druge snovi za izboljšanje učinkovitosti (stimulanse), da bi dobili vpogled v to, kako različne snovi vplivajo na rezultate VO<sub>2</sub>max. Učinke kofeina bi lahko primerjali med različnimi starostnimi skupinami, da bi ugotovili, ali starost vpliva na odziv človeškega telesa na to snov, ali spoloma, da bi ugotovili, ali ta snov drugače vpliva na ženske kot na moške.

## 6 ZAKLJUČEK

Z VO<sub>2</sub>max označujemo največji privzem kisika oziroma največji volumen kisika, ki ga je posameznik sposoben porabiti. VO<sub>2</sub>max tako odraža privzem kisika, dosežen med največjo intenzivnostjo vadbe, ki ga ni bilo mogoče povečati kljub nadaljnjemu povečanju obremenitve pri vadbi. Je torej največja količina kisika, ki ga mišice sprejmejo za produkcijo energije, pri visoki obremenitvi. Izraža se lahko kot absolutna mera v litrih kisika na minuto (l/min) ali kot relativna mera v mililitrih porabljenega kisika na kilogram telesne teže na minuto (ml/ (kg·min)).

Z raziskovalno nalogo smo želeli ugotoviti, ali obstajajo dejavniki oziroma snovi, ki lahko potencialno izboljšajo vzdržljivost posameznika, merjeno kot parameter VO<sub>2</sub>max, brez škodljivih stranskih učinkov. Zato je bil cilj raziskovalne naloge ugotoviti kako zaužitje kofeina vpliva na vrednosti največjega privzema kisika (VO<sub>2</sub>max). Poleg učinka zaužitja kofeina smo vključili tudi spremenljivko telesne pripravljenosti (športnik in nešportniki), da bi ugotovili, ali bo prišlo do kakšne pomembne razlike v VO<sub>2</sub>max rezultatih.

V vzorec je bilo vključenih 20 merjencev. Vsi udeleženci so bili moškega spola. Njihova povprečna starost je bila 17,5 let. Preiskušance smo nato razdelili glede na njihovo telesno pripravljenost v dve skupini in sicer na skupino športnikov in skupino nešportnikov.

VO<sub>2</sub>max rezultati so bili posredno izmerjeni z zvočno ukazanim testom izčrpanosti, tj. Beep testom. Rezultati, podani v obliki ravni in premikov, ki so bili pridobljeni z Beep testom, so bili nato uporabljeni v enačbi za izračun VO<sub>2</sub>max rezultata. Da bi preverili pomembnost razlik med povprečji, rezultatov obeh skupin smo izvedli dvostranski t-test.

Ugotovili smo, da zaužitje kofeina povzroči znatno povečanje vrednosti VO<sub>2</sub>max rezultata v primerjavi s stanjem brez kofeina tako pri športnikih kot pri nešportnikih.

S primerjavo VO<sub>2</sub>max rezultatov pred in po zaužitju kofeina, smo ugotovili, da je povprečni rezultat športnikov veliko višji v primerjavi s povprečno največjo porabo kisika nešportnikov. Hipotezo, ki pravi,

da zaužitje 400 mg kofeina povzroči znatno povečanje vrednosti VO<sub>2</sub>max rezultata pri moških mladostnikih v primerjavi s stanjem brez kofeina tako pri športnikih kot pri nešportnikih, lahko potrdimo.

Razlike med vrednostmi VO<sub>2</sub>max rezultatov med športniki in nešportniki so statistično značilne. To velja tako za pogoje brez zaužitja substanc, kot po zaužitju kofeina. Športniki namreč dosegajo višjo povprečno največjo porabo kisika kot pa nešportniki. Hipotezo, ki pravi, da bodo vrednosti VO<sub>2</sub>max rezultatov znatno višje pri športnikih kot pri nešportnikih, smo tako potrdili.

## 7 VIRI

Akerman, A., Lucas, S., Katare, R. and Cotter, J. (2017). Heat and Dehydration Additively Enhance Cardiovascular Outcomes following Orthostatically-Stressful Calisthenics Exercise. *Frontiers in Physiology*, 8.

Amanda Mageean L, Alexander RP, Mier CM. Repeated Sprint Performance in Male and Female College Athletes Matched for VO<sub>2</sub> max Relative to Fat Free Mass. *International Journal of Exercise Science*. 2011; 4(4):229-237.

Aronow, W. (2017). Drug-induced causes of secondary hypertension. *Annals of Translational Medicine*, 5(17), pp.349-349.

Bagwath Persad, L. (2011) *Energy drinks and the neurophysiological impact of caffeine*, *Frontiers*. Frontiers. Dostopno na: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnins.2011.00116/full> (Dostopano: November 5, 2022).

BD;, L. (2007) .*VO<sub>2</sub>max: What do we know, and what do we still need to know?*, *The Journal of physiology*. U.S. National Library of Medicine. Dostopno na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18006574/> (Dostopano: November 5, 2022).

Brietzke, C., Asano, R.Y. and De Russi de Lima, F. (2017) *Caffeine effects on vo<sub>2</sub>max test outcomes investigated by a placebo perceived-as-caffeine design*, *Nutrition and health*. U.S. National Library of Medicine. Dostopno na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29214920/> (Dostopano: November 5, 2022).

Bundy, M. and Leaver, A. (2010) *Training and conditioning - VO<sub>2</sub> Max testing, VO<sub>2</sub> Max - an overview* | *ScienceDirect Topics*. Dostopno na: <https://www.sciencedirect.com/topics/medicine-and-dentistry/vo2-max> (Dostopano: January 17, 2023).

Bute, S.S., Khan, S.T. and Shete, A.N. (2014) A comparative study of VO<sub>2</sub> Max in young female athletes and Non-Athletes, [www.iosrjournals.org](http://www.iosrjournals.org). IOSR Journal of Sports and Physical Education (IOSR-JSPE). Dostopno na: <https://iosrjournals.org/iosr-jspe/papers/vol11-issue7/G0172729.pdf> (Dostopano: November 5, 2022).

Geethavani, G., Rameswarudu, M. and Rameshwari Reddy, R. (2014). Effect of Caffeine on Heart Rate and Blood Pressure. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 4(2)

Hara, A., Ohide, H., Miyagawa, K., Takeuchi, T., Nakatani, Y., Yokoyama, H. and Amano, T. (2014). Acute Effects of Caffeine on Blood Pressure and Heart Rate in Habitual and NonHabitual Coffee Consumers: A Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Study. *Japanese Journal of Pharmaceutical Health Care and Sciences*, 40(7), pp.383-388.

Harrison-Dunn, A. (2015) *EFSA: 400mg of caffeine a day is safe*, [nutraingredients.com](http://nutraingredients.com). William Reed Ltd. Dostopno na: <https://www.nutraingredients.com/Article/2015/01/16/EFSA-400mg-of-caffeine-a-day-is-safe#> (Dostopano: October 24, 2022).

Hawkins, M.N. and Raven, P.B. (2007) *Maximal oxygen uptake as a parametric measure of cardiorespiratory capacity*, *Medicine and science in sports and exercise*. U.S. National Library of Medicine. Dostopno na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17218891/> (Dostopano: January 17, 2023).

Hermansen and Andersen, Aerobic work capacity in young Norwegian men and women *J. Appl. Physiology*. 1965; 20(3):425-431.

Hodgson, A.B., Randell, R.K. and Jeukendrup, A.E. (2013) *The metabolic and performance effects of caffeine compared to coffee during endurance exercise*, *PLOS ONE*. Public Library of Science. Dostopno na: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371%2Fjournal.pone.0059561> (Dostopano: November 5, 2022).

Jamison, E. *et al.* (2018) *Cycle ergometer VO<sub>2</sub> max test (male vs. female athlete and male vs. female non-athlete)*, *Digital Commons @ Gardner-Webb University*. Gardner-Webb University. Dostopno na: <https://digitalcommons.gardner-webb.edu/exercise-science-research-proposal-posters/25/> (Dostopano: November 5, 2022).

Kim, C.-H. *et al.* (2016) *The effect of aging on relationships between lean body mass and vo<sub>2</sub>max in rowers*, *PloS one*. Public Library of Science. Dostopno na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4968829/> (Dostopano: November 5, 2022).

Knaier, R. *et al.* (2019) In athletes, the diurnal variations in maximum oxygen uptake are more than twice as large as the day-to-day variations, *Frontiers*. *Frontiers*. Dostopno na: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphys.2019.00219/full> (Dostopano: November 5, 2022).

Magee, M.K. *et al.* (2021) *Does the multistage 20-M shuttle run test accurately predict vo<sub>2</sub>max in NCAA Division I Women Collegiate Field Hockey Athletes?*, *Sports (Basel, Switzerland)*. MDPI. Dostopno na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8229670/> (Dostopano: November 5, 2022).

Moghiseh, M. *et al.* (2013) "The association between VO<sub>2</sub>max and heart rate of casting industry workers," *Journal of Occupational Health and Epidemiology*, 2(1), pp. 20–26. Dostopno na: <https://doi.org/10.18869/acadpub.johe.2.1.2.20>.

Norian, E. *et al.* (2014) *Primescholars, European Journal of Experimental Biology*. Prime Scholars. Dostopno na: <https://www.primescholars.com/articles/the-effect-of-caffeine-on-heart-rate-during-and-after-both-aerobic-and-anaerobic-activity-91575.html> (Dostopano: October 31, 2022).

Owen, G., Parnell, H., De Bruin, E. and Rycroft, J. (2008). The combined effects of L-theanine and caffeine on cognitive performance and mood. *Nutritional Neuroscience*, 11(4), pp.193-198.

Paradisis, G.P. *et al.* (2014) *Multi-stage 20-M shuttle run fitness test, maximal oxygen uptake and velocity at maximal oxygen uptake*, *Journal of human kinetics*. U.S. National Library of Medicine. Dostopno na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4120467/> (Dostopano: January 18, 2023).

Plaskett, P.C.J. and Cafarelli, E. (2001) *Caffeine increases endurance and attenuates force sensation during submaximal isometric contractions*, *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*. U.S. National Library of Medicine. Dostopno na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11568134/> (Dostopano: November 5, 2022).

Rogers, P., Smith, J., Heatherley, S. and Pleydell-Pearce, C. (2007). Time for tea: mood, blood pressure and cognitive performance effects of caffeine and theanine administered alone and together. *Psychopharmacology*, 195(4), pp.569-577.

Southward, K., Rutherford-Markwick, K.J. and Ali, A. (2018) "The effect of acute caffeine ingestion on endurance performance: A systematic review and Meta-analysis," *Sports Medicine*, 48(8), pp. 1913–1928. Dostopno na: <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0939-8>.

Usman, A., Arimbi, A. and Muriyati, M. (2017) "The Effect of Caffeine on VO<sub>2</sub>Max Athletes Ability", *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR)*, 35(3), pp. 259–261. Dostopno na: <https://gssrr.org/index.php/JournalOfBasicAndApplied/article/view/8008> (Dostopano: 31 October 2022).

## 8 PRILOGA

### Obrazec za informirano soglasje

Zdravo.

Sem študent IB in opravljam maturitetno raziskovalno nalogo pri biologiji, ki prispeva k moji zaključni oceni. Hvaležen vam bom, če se boste odločili sodelovati. Raziskal bom spremembe vaših VO<sub>2</sub>max rezultatov 60 minut po zaužitju 400 mg kofeina. Kofein v danih količinah ni škodljiv za zdravje zdravega posameznika. Zato je pomembno, da vam nikoli niso diagnosticirali nobenih bolezni ali stanj, povezanih s srcem, ki bi se lahko poslabšala pod vplivom naporne telesne dejavnosti, kot so aritmija, hipotenzija ali hipertenzija, in bi lahko nanje negativno vplivalo uživanje kofeina, in da niste imeli nobenih slabih reakcij na kofein v preteklosti.

Če se odločite za sodelovanje, morate vedeti:

Vsi podatki bodo anonimni in zaupni. Sodelujete po lastni volji in imate pravico, da kadar koli med poskusom odstopite. O rezultatih tega poskusa boste obveščeni. Med tekom boste izpostavljeni minimalnemu psihološkemu in fizičnemu stresu, da bi dosegel rezultate. Za sodelovanje ne boste prejeli nobenega plačila.

S podpisom tega dokumenta \_\_\_\_\_ (ime in priimek): Razumem namen tega poskusa. Razumem zgornjo izjavo. Študentu dovolim, da moje podatke uporabi kot del eksperimenta. Navedel sem resnične podatke o svojih navadah kajenja, pitja kave in alkohola, starosti. Starejši sem od 16 let. Nimam nobene bolezni ali stanja, ki bi se lahko poslabšalo pod vplivom naporne telesne dejavnosti, kot so aritmija, hipotenzija ali hipertenzija, in bi lahko nanj negativno vplivalo uživanje kofeina. Tri dni pred meritvami nisem užival kofeinskih pijač.

Podpis: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_