

# Analiza metaboličkih zahtjeva različitih smjerova trčanja

---

Gulin, Jere

Doctoral thesis / Disertacija

2023

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:117:724478>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-26**



Repository / Repozitorij:

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





Sveučilište u Zagrebu

KINEZIOLOŠKI FAKULTET

Jere Gulin

**ANALIZA METABOLIČKIH ZAHTJEVA  
RAZLIČITIH SMJEROVA TRČANJA**

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2023.



University of Zagreb

FACULTY OF KINESIOLOGY

Jere Gulin

**ANALYSIS OF METABOLIC DEMANDS  
OF MULTIDIRECTIONAL RUNNING**

DOCTORAL THESIS

Zagreb, 2023



Sveučilište u Zagrebu

KINEZIOLOŠKI FAKULTET

Jere Gulin

**ANALIZA METABOLIČKIH ZAHTJEVA  
RAZLIČITIH SMJEROVA TRČANJA**

DOKTORSKI RAD

Mentor: doc. dr. sc. Vlatko Vučetić

Zagreb, 2023.



University of Zagreb

FACULTY OF KINESIOLOGY

Jere Gulin

**ANALYSIS OF METABOLIC DEMANDS  
OF MULTIDIRECTIONAL RUNNING**

DOCTORAL THESIS

Supervisor: Asst. Prof. Vlatko Vučetić, PhD

Zagreb, 2023

## **ŽIVOTOPIS MENTORA**

Vlatko Vučetić

Rođen je 16. 2. 1974. godine u Zagrebu. Srednju elektrotehničku školu je završio 1992. godine u Zagrebu. Visoko obrazovanje stječe na Fakultetu za fizičku kulturu (današnji Kineziološki fakultet). Diplomirao je 2001. godine sa odličnim uspjehom. Poslijediplomski doktorski studij kineziologije upisuje 2001. godine, a titulu doktora znanosti u području kineziologije dobiva 2007. obranom disertacije pod naslovom: „Razlike u pokazateljima energetske kapaciteta trkača dobivenih različitim protokolima opterećenja“ na Kineziološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.

Sudjeluje u radu Sportsko dijagnostičkog centra od 1999. godine kao jedan od osnivača, te je danas voditelj Sportsko dijagnostičkog centra Kineziološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Na Kineziološkom fakultetu radi od 2002. godine, te je trenutno nositelj na nekoliko kolegija na katedri za Opću i primijenjenu kineziologiju te katedri za Osnovne kineziološke transformacije. Stalni je predavač na nogometnoj akademiji Hrvatskog nogometnog saveza te povremeno radi kao plivački sudac. Od studentskih dana radi kao kondicijski trener u mnogim sportovima, no u posljednjim godinama dominantno radi kao osobni kondicijski trener u čemu je vrlo uspješan te je trenutno osobni kondicijski trener vrhunskih nogometaša.

Autor i koautor je preko 200 znanstvenih i stručnih publikacija od kojih je 27 znanstvenih radova objavljenih u citatnim bazama podataka (WOS, CC i sl.). Do sada je bio mentor u više od 50 diplomskih radova, te mentor ili komentor u tri disertacije.

Znanstvena i nastavna djelatnost doc. dr. sc. Vlatka Vučetića je usmjerena prema kondicijskoj pripremi sportaša ali i elementima opće i primijenjene kineziologije. Primarni interes znanstveno-istraživačkog rada dr. sc. Vlatka Vučetića je analiza rezultata sportaša u izvedbi dijagnostičkih postupaka, analiza ventilacijskih i metaboličkih parametara vrhunskih sportaša, utvrđivanje algoritama za evaluaciju energetske kapaciteta te definiranje izvedbenih profila sportaša iz raznih sportova sa naglaskom na nogomet.

Uz profesionalne uspjehe, doc. dr. sc. Vlatko Vučetić je najponosniji na svoju kćer mezimicu, Vitu.

## ZAHVALA

Prvenstveno, zahvaljujem svom mentoru, doc. dr. sc. Vlatku Vučetiću, na vodstvu, motivaciji i inspiraciji. Njegov entuzijazam i energija pomogli su mi da razvijem vlastite ideje i razumijem kompleksnost ovog istraživanja. Naš put nije vezan samo uz ovu disertaciju, te se ovim putem želim iskreno zahvaliti i na svim ostalim elementima naše suradnje. Prof, hvala Vam na svemu!

Također bih se želio zahvaliti i svim članovima povjerenstva za ocjenu doktorskog rada, izv. prof. dr. sc. Davoru Šentiji, izv. prof. dr. sc. Danielu Boku te prof. dr. sc. Marku Stojanoviću, na njihovoj vrijednoj suradnji i konstruktivnim komentarima tijekom svih faza ovog procesa.

Posebnu zahvalnost želim izraziti svojoj obitelji i prijateljima, koji su me podržavali tijekom svih ovih godina. Zahvaljujući mojim roditeljima koji su me odgajali na način da *jedrim svoj đir i da će mi uvijek biti onako kako sam odlučim*, naučio sam da ne odustajem i završim započeti posao. Iako to nikada ne govorim, oduvijek ste mi bili inspiracija i primjer za sve što radim u životu.

Veliko hvala dugujem mojoj Tei. Nisam mogao poželjeti bolju osobu da me prati kroz život, ti si moja stijena. *Tea, hvala ti!*

Konačno, zahvaljujem se svim sudionicima istraživanja na njihovom doprinosu i suradnji tijekom ovog projekta te mojim prijateljima i kolegama iz Sportsko dijagnostičkog centra.





## SAŽETAK

**Cilj:** kretanje se u ekipnim sportovima vrlo često izvodi u pravcima koji nisu isključivo prema naprijed, no nedostaje informacija o zahtjevima takvih vrsta kretanja. Primarni cilj ovog istraživanja bila je usporedba vršnih vrijednosti primitka kisika koje se ostvaruju u progresivnom testu opterećenja i testovima kontinuiranog trčanja različitih smjerova. Sekundarni cilj je analiza razlike u brzini trčanja i frekvenciji srca pri 60, 70, 80, 90 i 100% od maksimalnog primitka kisika ostvarenog u progresivnom testu opterećenja i u testovima kontinuiranog trčanja različitim smjerovima.

**Metode:** U eksperimentu je sudjelovalo 18 zdravih ispitanika muškog spola. Uključujući kriteriji za sudjelovanje u istraživanju bili su: (i) muški spol, stariji od 18 godina, tjelesno aktivni, (ii) minimalno 5 godina iskustva u bavljenju ekipnim sportovima (nogomet, košarka ili rukomet), te (iii) uspješno savladana tehnika bočnog trčanja na pokretnom sagu. U prvom dolasku ispitanicima je utvrđen maksimalni primitak kisika ( $VO_{2max}$ ) na progresivnom testu opterećenja (PTO). Dalje su ispitanici pristupili utvrđivanju vršnog primitka kisika ( $VO_{2p}$ ) u testovima kontinuiranog trčanja u različitim smjerovima (prema naprijed (KT-N), bočno u lijevu (KT-BL) te desnu (KT-BD) stranu i trčanje unatrag (KT-NT)). Tijekom testova KT, praćene su vrijednosti subjektivne procjene opterećenja (SPO), a po završetku protokola i vrijednosti subjektivne procjene opterećenja treninga ( $SPO_t$ ) u kontekstu kardiorespiratornog (KR) i neuromuskularnog (NM) opterećenja. Svi testovi su provedeni na pokretnom sagu u laboratorijskim uvjetima Sportsko dijagnostičkog centra Kineziološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Po završetku glavnog dijela eksperimenta, ispitanicima je izmjerena maksimalna brzina trčanja. Brzina sprinta je izmjerena u četiri smjera, (i) prema naprijed (60m), bočno (40m) u (ii) lijevu te (iii) desnu stranu te (iv) unatrag (40m).

**Rezultati:** Jednosmjernom ANOVOM za ponovljena mjerenja utvrđena je statistički značajna razlika ( $p=0,001$ ) u  $VO_{2max}$  između različitih smjerova trčanja. Usporedbom parova utvrđena je značajna razlika između  $VO_{2max}$  te  $VO_{2p}$  dobivenog testom kontinuiranog trčanja (KT) unatrag ( $p=0,001$ ; -6,0%). Usporedba  $VO_{2max}$  između PTO i KT-BD nije bila značajna ( $p=0,562$ ; -2,0%), kao ni usporedba  $VO_{2max}$  između PTO i KT-BL ( $p=0,109$ ; -3,4%). Analiza razlika brzine trčanja pri različitim intenzitetima (60, 70, 80, 90 i 100%  $VO_{2max}$ ), je ukazala na statistički značajnu razliku ( $p<0,05$ ) u svim promatranim uvjetima. Analiza razlika frekvencije srca pri različitim intenzitetima (60, 70, 80, 90 i 100%  $VO_{2max}$ ), je ukazala na statistički

značajnu razliku ( $p < 0,05$ ) na intenzitetima od 60%  $VO_{2max}$  u PTO. Na intenzitetu od 70%  $VO_{2max}$  utvrđena je razlika između trčanja naprijed i trčanja natrag, a na intenzitetu od 80%  $VO_{2max}$  između trčanja naprijed i natrag te bočno lijevo. Na intenzitetima od 90 i 100%  $VO_{2max}$  nije utvrđena statistički značajna razlika između promatranih uvjeta. Utvrđeno je da postoji statistički značajna razlika u relativnim vrijednostima primitka kisika između četiri uvjeta u kojima se izvodio kontinuirani test trčanja. Na svim brzinama najniža vrijednost  $VO_{2p}$  je ostvarena u KT trčanja prema naprijed. Razlika se povećava s povećanjem intenziteta. Usporedbom parova (KT-N↔KT-NT; KT-N↔KT-BD; KT-N↔KT-BL) Wilcoxonovim testom sume rangova utvrđena je statistički značajna razlika na svim intenzitetima između protokola KT prema naprijed i svih drugih smjerova trčanja. Analiza vrijednosti subjektivne procjene opterećenja treninga ( $SPO_t$ ) je ukazala na više vrijednosti kardiorespiratornog opterećenja tijekom trčanja prema naprijed, dok su tijekom trčanja bočno i prema natrag značajno veće vrijednosti neuromuskularnog  $SPO_t$ .

**Zaključak:** Ovo istraživanje je pokazalo da se trčanjem bočno može dosegnuti razina maksimalnog primitka kisika. No, trčanjem prema natrag se ipak mogu dosegnuti samo nešto niže vrijednosti  $VO_{2max}$ . Analiza ostalih rezultata ukazala je da vjerojatan razlog ovakvih rezultata donekle i u distribuciji razine treniranosti uključenih ispitanika. Naime, ispitanici s nižim  $VO_{2max}$  su „lakše“ ostvarivali više vrijednosti  $VO_{2p}$  tijekom trčanja bočno i prema natrag, dok kod ispitanika s višim vrijednostima  $VO_{2max}$  je slučaj bio obrnut. Nadalje, zanimljivi rezultati su zabilježeni i u distribuciji  $SPO_t$ , gdje se vidi da trčanje prema naprijed generira nešto više vrijednosti KR  $SPO_t$ , dok trčanje prema natrag te bočno u obje strane ima značajno veće vrijednosti NM  $SPO_t$ . To ukazuje da vjerojatno postoje značajna biomehanička ograničenja u trčanju bočno i prema natrag u odnosu na uobičajeno trčanje prema naprijed.

**Ključne riječi:** primitak kisika, kretanje, fiziološki zahtjevi, lateralno

## ABSTRACT

**Objective:** movement in team sports is very often performed in directions that are not exclusively forward, but there is a lack of information about the requirements of such types of movement. The primary objective of this study was to compare the maximum values of oxygen uptake achieved in the graded exercise test and the continuous running tests of different running directions. The secondary objective is the analysis of the difference in running speed and heart rate values at 60, 70, 80, 90 and 100% of the maximum oxygen uptake achieved in the graded exercise test and in the continuous running tests in different directions.

**Methods:** 18 healthy male subjects participated in the experiment. The inclusion criteria for participation in the study were: (i) male, over 18 years old, physically active, (ii) experience in team sports (soccer, basketball, or handball) for at least 5 years, and (iii) successfully mastered the lateral running technique on a motorized treadmill. In the first visit, the subjects' maximum oxygen intake ( $VO_{2max}$ ) was determined on the progressive graded exercise test (GXT). Next, the subjects proceeded to determine the peak oxygen uptake ( $VO_{2p}$ ) in tests of continuous running in different directions (forward (KT-FR), sideways to the left (KT-SL) and right (KT-SR) side and backward running (KT-BR)). All tests were performed on a motorized treadmill in the laboratory conditions of the Sports Diagnostic Center Faculty of Kinesiology University of Zagreb. At the end of the main part of the experiment, the subjects' maximum sprint speed was measured. Maximum sprint speed was measured in four conditions, (i) forward (60m), sideways (40m) in (ii) left and (iii) right side and (iv) backward (40m).

**Results:** One-way ANOVA for repeated measurements revealed a statistically significant main effect ( $p=0.001$ ) for  $VO_{2max}$  between different running directions. By comparing pairs, a significant difference was found between  $VO_{2max}$  and  $VO_{2p}$  obtained during the continuous running test (KT) backwards ( $p=0.001$ ; -6.0%). The comparison of  $VO_{2max}$  between GXT and KT-SR was not significant ( $p=0.562$ ; -2.0%), and neither was the comparison of  $VO_{2max}$  between GXT and KT-SL ( $p=0.109$ ; -3.4%). The analysis of differences in running speed at different intensities (60, 70, 80, 90 and 100%  $VO_{2max}$ ) indicated a statistically significant difference ( $p<0.05$ ) in all observed conditions. Analysis of heart rate differences at different intensities (60, 70, 80, 90 and 100%  $VO_{2max}$ ) indicated a statistically significant difference ( $p<0.05$ ) at intensities of 60%  $VO_{2max}$  in GXT. At an intensity of 70%  $VO_{2max}$ , a difference was found between running forward and running, and at an intensity of 80%  $VO_{2max}$ , between

running forward and backward and sideways to the left. At the intensities of 90 and 100 %  $VO_{2max}$ , no statistically significant difference was found between the observed conditions. It was found that there is a statistically significant difference in the relative values of  $VO_{2p}$  between the four conditions in which the continuous running test was performed. At all speeds, the lowest  $VO_{2p}$  value was achieved in forward running KT. The difference increases with increasing intensity. By comparing pairs (KT-FR↔KT-BR; KT-FR↔KT-SR; KT-FR↔KT-SL) the Wilcoxon rank sum test revealed a statistically significant difference at all intensities between the forward KT protocol and all other running directions. Analysis of session rate of perceived exertion (sRPE) showed significantly higher values of cardiorespiratory sRPE during frontal running, while running sideways in both directions and backwards showed significantly higher values of neuromuscular sRPE.

**Conclusion:** This study showed that sideways running can generate values of  $VO_{2max}$  but the same thing is not possible while running backwards, even though high level of  $VO_{2max}$  was reached during BR. Analysis of other results suggest that these results are probably due to the subject's level of fitness. Namely, it seems that subjects with lower level of  $VO_{2max}$  were more likely to achieve higher levels of  $VO_{2p}$  during SR, SL and BR. On the other hand, subjects with higher level of  $VO_{2max}$  achieved lower levels of  $VO_{2p}$  during continuous running tests. Furthermore, interesting results were found in the analysis of sRPE which showed that we can expect lower values of cardiorespiratory sRPE during FR, while during sideways and BR significantly higher values of neuromuscular sRPE were found. That indicates that there are probably significant biomechanical limitations during sideways and BR in comparison to FR.

Key words: oxygen uptake, movement, physiological demands, lateral

## SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
1.1. Metabolički zahtjevi trčanja.....	1
1.1.2. Kinetika primitka kisika.....	3
1.2. Trening za razvoj izdržljivosti .....	7
1.2.1. Određivanje trenažnog opterećenja.....	11
1.3. Analiza kretnih struktura u timskim sportovima .....	13
1.3.1. Trčanje unatrag.....	15
1.3.2. Trčanje bočno.....	20
1.4. Problem istraživanja .....	23
2. CILJEVI I HIPOTEZE .....	25
3. METODE RADA .....	26
3.1. Uzorak ispitanika .....	26
3.2. Uzorak varijabli .....	28
3.3. Nacrt istraživanja .....	29
3.4. Protokol testiranja .....	31
3.4.1. Utvrđivanje morfoloških karakteristika .....	31
3.4.2. Mjerenje maksimalnog primitka kisika.....	31
3.4.3. Mjerenje vršnog primitka kisika pri trčanju naprijed, bočno i unatrag.....	32
3.4.3. Mjerenje maksimalne brzine sprinta .....	34
3.5. Statistička obrada podataka .....	35
4. REZULTATI .....	37
4.1. Vršni primitak kisika .....	39
4.2. Maksimalna frekvencija srca .....	41
4.3. Brzine trčanja dostignute pri različitim intenzitetima.....	42

4.4. Frekvencije srca dostignute pri različitim intenzitetima.....	43
4.5. Razlika u primitku kisika između različitih smjerova trčanja .....	44
4.6. Pokazatelji subjektivne procjene opterećenja .....	47
4.7. Sprintovi u različitim smjerovima trčanja .....	50
5. RASPRAVA.....	52
5.1. Analiza maksimalnog primitka kisika .....	52
5.2. Analiza brzine trčanja različitim smjerovima .....	57
5.3. Analiza frekvencije srca kod različitih smjerova trčanja.....	62
5.4. Analiza razlika u primitku kisika pri različitim smjerovima trčanja .....	64
5.4. Analiza subjektivne procjene opterećenja treninga .....	66
6. ZAKLJUČAK.....	68
7. OGRANIČENJA I NEDOSTATCI ISTRAŽIVANJA .....	70
8. LITERATURA .....	71
9. ŽIVOTOPIS AUTORA.....	88

# 1. UVOD

## 1.1. Metabolički zahtjevi trčanja

Ljudska lokomocija je predmet interesa znanstvenih istraživanja od samih početaka sportske znanosti. Istraživanja u tom području se velikim dijelom odnose na proučavanje zakonitosti hodanja i trčanja prema naprijed. U velikom broju sportova, trčanje je osnovni, ponekad i jedini, oblik kretanja. U odnosu na druge oblike lokomocije, trčanje se opisuje kroz konstantne vertikalne oscilacije centra mase tijela te je karakterizirano fazom u kojoj tijelo podupire samo jedna noga te uključuje fazu kada su oba stopala u zraku (Cappellini i suradnici, 2006; Maus i suradnici, 2015; Novacheck, 1998).

Provedeno je mnogo istraživanja od sredine prošlog stoljeća s ciljem boljeg razumijevanja metaboličkih zahtjeva tjelesne aktivnosti pri različitim intenzitetima i uvjetima rada (Cavagna i Kaneko, 1977; Fernandez i suradnici, 1974; Taylor i suradnici, 1955; Whipp i Wasserman, 1972). Način prijenosa i iskorištavanja kisika uvelike definira sposobnost organizma da obavlja rad određenog intenziteta duže vrijeme te se pokazao kao jedan od najvažnijih parametara u analizi tjelesne aktivnosti.

Maksimalni primitak kisika ( $VO_{2max}$ ), odnosno maksimalni kapacitet prijenosa i iskorištavanja kisika tijekom tjelesne aktivnosti se smatra objektivnim i valjanim pokazateljem kardiorespiratornog fitnesa (Powers i Howley, 2018). Smatra se da je  $VO_{2max}$  postignut kada nema povećanja u primitku kisika (*plateau*) iako intenzitet rada raste tijekom progresivnog testa opterećenja (Bassett i Howley, 2000; Howley i suradnici, 1995; Taylor i suradnici, 1955). S obzirom na to da u nekim slučajevima nema pojave platoa, ovaj se pokazatelj kod nekih ispitanika pokazao nepouzdanim, te se koriste i drugi kriteriji za potvrdu postizanja  $VO_{2max}$ : respiracijski kvocijent (eng. *respiratory exchange ratio* – *RER*) iznad 1,10 ili 1,15, visoka koncentracija laktata u krvi (oko 8 puta više u odnosu na stanje mirovanja), dostizanje predviđene maksimalne frekvencije srca te određene razine na skali subjektivne procjene opterećenja (Bassett i Howley, 2000; Beltz i suradnici, 2016; Howley i suradnici, 1995).

Iako je u značajnom broju istraživanja o metaboličkim zahtjevima kao sprava za doziranje opterećenja korišten bicikl ergometar, postoji mnogo radova koji istražuju takve zahtjeve prilikom hodanja i trčanja (Cavagna i Kaneko, 1977; di Prampero, 1986; Margaria i suradnici,

1963; Schmidt-Nielsen, 1972). Specifično za hodanje, vrijednosti energetske potrošnje su više na brzinama do 4 km/h, gdje se bilježe minimalne vrijednosti energetske potrošnje, a zatim energetska potrošnja raste sa porastom opterećenja. Sličan trend kao i kod hodanja iznad 4 km/h se bilježi i tijekom trčanja te također energetska potrošnja raste s porastom opterećenja, a sama ekonomičnost trčanja je gotovo neovisna o brzini trčanja do razine anaerobnog praga (di Prampero, 1986).

Na intenzitetu od 7,5 do 8 km/h, energetska potrošnja je veća prilikom hodanja u odnosu na isti intenzitet prilikom trčanja što znači da je trčanje ekonomičnije od hodanja iznad te brzine (di Prampero, 1986). Taj intenzitet otprilike odgovara vrijednostima prvog ventilacijskog praga, odnosno aerobnog praga kod rekreativaca (Šentija i Marković, 2009).

Aerobni (prvi ventilacijski) prag se dostiže pri intenzitetu od oko 40-60%  $VO_{2max}$  te odgovara koncentraciji laktata u krvi od oko 2 mmol/l (Meyer i suradnici, 2005). Pri većem intenzitetu rada moguće je još uvijek postići stabilno stanje  $VO_2$  i koncentracije laktata, odnosno može se uspostaviti ravnoteža između procesa nakupljanja i razgradnje laktata, ali samo do intenziteta koji odgovara tzv. maksimalnom laktatnom stabilnom stanju (MLSS) (Meyer i suradnici, 2005).

Anaerobni ili drugi ventilacijski prag se dostiže pri intenzitetu od 80-90%  $VO_{2max}$  (Meyer i suradnici, 2005). Kod tjelesnih aktivnosti s opterećenjem iznad anaerobnog praga, nedovoljna doprema kisika u aktivno, radno mišićje, uzrokuje nagli porast anaerobne glikolize i koncentracije laktata u mišićima, a potom i u krvi, što dovodi do pada pH i povećanja metaboličke acidoze koja dovodi do hiperventilacije. Ako bi se aktivnost i dalje nastavila došlo bi do inhibicije glikolize i mišićne kontrakcije te, posljedično, brzog iscrpljenja (Meyer i suradnici, 2005).



### 1.1.2. Kinetika primitka kisika

Razina energetske potrošnje se najčešće utvrđuje protokolima opterećenja s postizanjem stabilnog stanja (eng. *steady state*) primitka kisika u trajanju od 3 do 6 minuta (Wasserman i suradnici, 2011). Kinetika primitka kisika objašnjava dinamiku porasta potrošnje O<sub>2</sub> iz stanja mirovanja, ili s nižeg na viši intenzitet aktivnosti. Vrijeme, odnosno vremenska konstanta, koje je potrebno da bi se dostigla razina od 63% ukupne promjene VO<sub>2</sub>, pri tranziciji iz stanja mirovanja (s nižeg intenziteta) na viši intenzitet tjelesne aktivnosti naziva se  $\tau$  (tau). Poznato je da pri umjerenom opterećenju primitak kisika postiže stabilne vrijednosti za oko 3 minute (Poole i Jones, 2012; Whipp i Wasserman, 1972).

Razlog zbog kojeg je kinetika primitka kisika sporija od porasta intenziteta, odnosno samih energetskehtjeva određene aktivnosti, je u inerciji mišićnog oksidativnog metabolizma a koji je uvjetovan brzinom aktivacije mitohondrijskih enzima (Timmons i suradnici, 1998).

Prije razvoja „*breath by breath*“ sustava mjerenja izmjene plinova, „spora“ komponenta primitka kisika se definirala kao kontinuirani porast VO<sub>2</sub> nakon 3 minute vježbanja s konstantnim radom (Hagberg i suradnici, 1978). Pri intenzitetu koji je iznad anaerobnog praga, a može se opisati kao vrlo teški i maksimalni, postizanje stabilnog stanja je odgođeno ili čak spriječeno zbog „spore“ komponente VO<sub>2</sub> (Barstow, 1994; Barstow i Mole, 1991; Poole i Jones, 2012; Whipp i Wasserman, 1972).

„Spora“ komponenta VO<sub>2</sub> je u literaturi prvo uočena kod testova koji su se provodili na biciklergometru, kod kojih se intenzitet rada može najpreciznije postaviti i održavati. Međutim, slični primjeri „spore“ komponente VO<sub>2</sub> se uočavaju i u drugim oblicima lokomocije kao npr. trčanja, veslanja te izometrijskog treninga (Poole i Jones, 2012).

Prema Jonesu i suradnicima (2011), na smanjenje, odnosno na odgađanje pojave „spore“ komponente VO<sub>2</sub> se može pokušati utjecati povećanjem razine treniranosti (u području izdržljivosti). To se odnosi na uobičajene metode treninga izdržljivosti ali i na trening dišnih mišića koji pomažu u dišnom sustavu, te određene nutritivne intervencije (povećanje konzumacije nitrata (Bailey i suradnici, 2010; Lansley i suradnici, 2011)) te naposljetku trening nakon udisanja zraka koji je prezasićen kisikom. Te intervencije su direktno povezane sa smanjenjem razvoja mišićnog umora poboljšanjem kapaciteta mišićne oksidacije (Jones i suradnici, 2011).

Važno je za spomenuti da „spora“ komponenta ovisi i o vrsti aktivnosti koja se provodi. U istraživanjima u kojima je uspoređivana kinetika O<sub>2</sub> tijekom rada na biciklergometru te tijekom trčanja na pokretnom sagu, utvrđeno je da su vrijednosti „spore“ komponente značajno veće tijekom rada na biciklergometru, a slični zaključci su dobiveni i u istraživanjima u kojima su uspoređivane vrijednosti kinetike primitka kisika tijekom hodanja i tijekom rada na biciklu (Billat i suradnici, 1998, 1999; Carter i suradnici, 2000; Jones i McConnell, 1999).

Analiza vrijednosti „spore“ komponente primitka kisika između starijih i mlađih muškaraca je ukazala na značajno različite vrijednosti, odnosno sporiju kinetiku primitka kisika kod starijih pojedinaca (Chilibeck i suradnici, 1996), dok nema značajne razlike između mlađih i starijih žena u kinetici primitka kisika nakon intervencije treningom izdržljivosti u trajanju od tri tjedna (Murias i suradnici, 2011).

### 1.1.3. Odrednice maksimalnog primitka kisika

Kao što je ranije spomenuto, jedna od najvažnijih odrednica razine treniranosti je maksimalni primitak kisika. Kako bi mogli kvalitetno upravljati te razvijati trenažne operatore za razvoj  $VO_{2max}$ , potrebno je razumjeti elemente koji utječu na ograničavanje razine  $VO_{2max}$ . Fiziološki čimbenici koji bi mogli ograničiti  $VO_{2max}$  (prema Bassett i Howley, 2000) su:

- 1) difuzijski kapacitet pluća,
- 2) maksimalni minutni volumen srca,
- 3) kapacitet krvi za prijenos kisika,
- 4) difuzijski kapacitet te morfologija skeletnih mišića.

Ad. 1) difuzijski kapacitet pluća se smatra ograničavajućim čimbenikom kod visoko treniranih sportaša zbog nedovoljnog vremena za prijenos kisika iz crvenih krvnih stanica tijekom aktivnosti visokog intenziteta kod sportaša sa visokim minutnim volumenom srca. To rezultira sa nedovoljnom zasićenošću krvi kisikom. Unatoč ovoj mogućnosti, smatra se da plućna difuzija igra manju ulogu u ukupnom ograničenju isporuke kisika za izdržljivost, odnosno nije značajan faktor kod rekreativaca.

Ad. 2) procjenjuje se da je otprilike 70 – 85 % ograničenja u maksimalnom primitku kisika direktno povezano sa maksimalnim minutnim volumenom srca (Cerretelli i di Prampero, 1987). Udarni volumen srca raste kao posljedica treninga izdržljivosti. Varijabilnost maksimalnog udarnog volumena objašnjava većinu raspona uočenog u  $VO_{2max}$  kod treniranih i netreniranih osoba.

Ad. 3) sposobnost crvenih krvnih stanica tj. hemoglobina da uz sebe vežu  $O_2$ , je u podlozi korištenja kao metoda tzv. krvnog dopinga. U kontekstu znanstvenih istraživanja poznato je da reinfuzija 900 – 1350 ml krvi podiže kapacitet prijena kisika što rezultira sa povećanjem  $VO_{2max}$  od 4 do 9 % (Gledhill, 1985). Povećanje udjela crvenih krvnih stanica u krvi također je posljedica treninga izdržljivosti, te dodatnog povećanja kapaciteta krvi za prijenos kisika. Važno je napomenuti da tijekom vježbanja tijelo usmjerava protok krvi u aktivno mišićje, omogućujući veću ekstrakciju i potrošnju kisika.

Ad. 4) potencijalni faktori za ograničenje  $VO_{2max}$  u perifernoj komponenti uključuju difuzijski kapacitet mišića, broj i gustoću mitohondrija, koncentraciju mitohondrijskih enzima

(koji omogućuju oksidativnu proizvodnju ATP-a) te gustoću kapilara (Bassett i Howley, 2000). Razlika tlakova  $O_2$  između krvi i mišićnih stanica omogućuje prijenos kisika iz crvenih krvnih stanica u mitohondrije.

Trening izdržljivosti može rezultirati višestrukim povećanjem razine mitohondrijskih enzima i posljedično višim  $VO_{2max}$  (Honig i suradnici, 1992). Gustoća kapilara je također povezana sa izvedbom u vježbama izdržljivosti. Glavna značajka treninga izdržljivosti na nižem intenzitetu opterećenja je povećanje gustoće kapilara u periferiji (skeletnim mišićima), te posljedično povećanje vremena transporta  $O_2$  iz krvi u mitohondrije (Saltin, 1985).

## 1.2. Trening za razvoj izdržljivosti

Aerobni trening izdržljivosti bi se trebao provoditi kroz modalitet kretanja koji je što sličniji specifičnim kretnim strukturama aktivnosti za koju se taj trening provodi. Tako se osigurava da primarni učinak treninga bude usmjeren upravo na one sustave koji su dominantni u izabranoj aktivnosti. Smatra se da što je trening specifičniji u kontekstu sporta, to će prijenos pozitivnih učinaka na izvedbu sportaša biti veći (Reuter i Dawes, 2016).

Postoji mnogo različitih oblika treninga izdržljivosti, odnosno treninga za razvoj aerobnog kapaciteta (Billat, 2001; Buchheit i Laursen, 2013a, 2013b; Laursen, 2010; Seiler i Tønnessen, 2009). Prema Reuter i Dawes (2016) u tablici 1. je prikaz klasifikacije osnovnih vrsta treninga koji se koriste za poboljšanje aerobnog kapaciteta:

**Tablica 1.** Vrste treninga aerobnog energetskog kapaciteta

<i>Vrsta</i>	<i>Tjedna frekvencija</i>	<i>Trajanje</i>	<i>Intenzitet</i>
<i>Kontinuirani</i>	1-2	~30-120 min	~60% $VO_{2max}$
<i>Tempo</i>	1-2	~20-30 min	oko anaerobnog praga
<i>Fartlek</i>	1	~20-60 min	između ~70 i 100% $VO_{2max}$
<i>Intervalni</i>	1-2	3-5 min	blizu $VO_{2max}$
<i>VIIT</i>	1	15-300 sek	iznad $VO_{2max}$

*Legenda: VIIT=visoko intenzivni intervalni trening;  $VO_{2max}$ =maksimalni primitak kisika. (modificirano prema Reuter i Dawes, 2016)*

U ekipnim sportovima, visoka razina aerobne pripremljenosti omogućava igračima da izvršavaju svoje tehničko-taktičke zahtjeve sa manjom razinom fiziološkog opterećenja (Mendez-Villanueva i suradnici, 2013) te se mogu brže oporaviti nakon visoko intenzivnih aktivnosti (Ufland i suradnici, 2013). U ekipnim sportovima, najčešće se koriste različite verzije i modaliteti intervalnog treninga (Laursen i Buchheit, 2019; MacInnis i Gibala, 2017).

Najčešće korišteni formati intervalnog treninga za razvoj izdržljivosti u ekipnim sportovima prema Laursen i Buchheit (2019) su:

- a) kratki intervali,
- b) dugi intervali,
- c) trening ponavljanih sprintova,
- d) sprint intervalni trening,
- e) sport-specifični VIIT.

#### *Visoko intenzivni intervalni trening (VIIT)*

Ova metoda treninga je jedna od najčešćih metoda za razvoj izdržljivosti u timskim sportovima. Karakterizirana je sa ponavljanim intervalima kratkog (<60 sek) ili dužeg (2-6 min) formata sa relativno kratkim intervalima odmora. Intenzitet aktivnosti je visok, odnosno kreće se od 85% do 110%  $vVO_{2max}$  u formatu dugog i kratkog trajanja (Buchheit i Laursen, 2013a, 2013b). Kratki (<60 sekundi) i dugi (2-6 minuta) intervali VIIT-a se mogu koristiti za kreiranje različitih odgovora organizma na trening. Sa povećanjem ekstenziteta odnosno trajanja rada, energetske doprinos anaerobne glikolize vjerojatno će se povećati zajedno s razinom koncentracije laktata u krvi (Laursen i Jenkins, 2002).

Povećanje aerobnog kapaciteta, odnosno  $VO_{2max}$  se postiže kroz aktivnosti u kojima su sportaši blizu svojih maksimalnih vrijednosti intenziteta. Optimalan podražaj za razvoj  $VO_{2max}$ , prema Buchheit i Laursen (2013a), podrazumijeva da sportaš provede nekoliko minuta iznad 90%  $VO_{2max}$ . U izvođenju VIIT-a, odgovarajuća količina, odnosno trajanje odmora između ponavljanja je vrlo važna. Ako su intervali odmora prekratki, trening će gubiti na kvaliteti, teže je upravljati sa opterećenjem te može dovesti do povećanja rizika od ozljeda. Ako su intervali odmora predugi, benefiti uključivanja anaerobnog glikolitičkog energetskog sustava će vjerojatno biti manji (Buchheit i Laursen, 2013a, 2013b; Laursen i Jenkins, 2002). Dakle, primarni cilj upotrebe ovakve metode treninga je maksimiziranje vremena iznad 90%  $VO_{2max}$ , kako bi se osigurao adekvatan fiziološki stres i poboljšala razina izdržljivosti pojedinca.

### *Trening ponavljanih sprintova*

Sposobnost ponavljanja sprinta se smatra jednom od vrlo važnih odrednica uspješnosti u timskim sportovima s obzirom na povezanost sa specifičnostima zahtjeva takvih aktivnosti. Ovakav oblik treninga podrazumijeva ponavljanje sprintova (pravocrtnih ili povratnih) na kratkoj dionici sa odmorom do 60 sekundi te je vrlo česta metoda za razvoj specifične sposobnosti ponavljanja sprintova (Bishop i suradnici, 2011; Girard i suradnici, 2011). Cilj korištenja treninga ponavljanih sprintova je izazvati pozitivne adaptacije u metaboličkom okruženju mišića i ravnoteži iona. To dovodi do poboljšanja snage i izdržljivosti mišića (kao što su sposobnost oporavka fosfokreatina, neutralizacija nakupljanja metabolita), kao i aktivacije mišića i regrutacije putem živčanog sustava (Bishop i suradnici, 2011; Girard i suradnici, 2011).

### *Sprint intervalni trening*

Osnovna karakteristika sprint intervalnog treninga (SIT) je u ponovljenim, kratkim (4 – 6 ponavljanja do 30 sekundi) intervalima maksimalnog („*all out*“) rada sa intervalima dužeg odmora, otprilike 4 – 5 min (Gibala i suradnici, 2012). U nizu istraživanja utvrđeno je da SIT rezultira nizom fizioloških prilagodbi (poboljšanje u rastezljivosti arterija, mišićnom glikogenu, povećanje oksidativnog kapaciteta mišića) uključujući poboljšanja sportske izvedbe (Buchheit i suradnici, 2012; Burgomaster i suradnici, 2006, 2008; Gibala i suradnici, 2006, 2012; Rossow i suradnici, 2010). Osim toga, u usporedbi sa tradicionalnom kontinuiranom metodom treninga efekti SIT-a su jednaki ili superiorni za razvoj izdržljivosti unatoč znatno manjem ukupnom volumenu rada (Cocks i suradnici, 2013; Gibala i suradnici, 2012; Rossow i suradnici, 2010). Zbog prethodno spomenutih benefita, SIT se smatra vremenski učinkovitom intervencijom za poboljšanje razine izdržljivosti.

### *Kontinuirana metoda treninga*

Kontinuiranim načinom rada (bez prekida aktivnosti) trening se može izvoditi kroz više trenažnih zona, a ova metoda se primarno odnosi na niže razine intenziteta (oko 70%  $VO_{2max}$ ) u trajanju od 30 do 120 minuta ili duže (Reuter i Dawes, 2016). Fiziološki benefiti ovakve vrste treninga se očituju u poboljšanju kardiorespiratorne i termoregulacijske funkcije organizma, poboljšanja u proizvodnji energije na razini mitohondrija te povećanje oksidativnog kapaciteta skeletnih mišića kroz povećanje kapilarizacije (Burke i suradnici, 1977; Costill i suradnici,

1976; Klausen i suradnici, 1981). Nedostatak ove metode je izostanak aktivacije neuroloških puteva mišićnih vlakana koji se aktiviraju tijekom natjecateljske aktivnosti (Wells i Pate, 1995).

#### *Tempo metoda treninga*

Ova vrsta treninga podrazumijeva intenzitet aktivnosti koji je vrlo blizak anaerobnom pragu, tijekom aktivnosti ostaje nepromjenjiv te traje otprilike 20 – 30 minuta. U odnosu na  $VO_{2max}$ , anaerobni prag je na otprilike 80 – 90%  $VO_{2max}$ . Svrha ovakvog treninga je da se djeluje na sportaševu sposobnost proizvodnje energije aerobnim i anaerobnim mehanizmima. Benefiti tempo treninga se očituju u poboljšanju ekonomičnosti trčanja te povećanju intenziteta pri kojem se postiže anaerobni prag (Reuter i Dawes, 2016).

#### *Fartlek metoda*

Ova metoda treninga je originalno predstavljena u Švedskoj na čijem jeziku „*fartlek*“ doslovno znači *igra brzinom*. Iako je primarno povezana sa trčanjem, može se koristiti i za razvoj aerobnog kapaciteta u biciklizmu i plivanju (Reuter i Dawes, 2016). Osnovne karakteristika je veliki naglasak na samostalnom određivanju intenziteta kroz promjenu tempa trčanja ili konfiguracije terena na kojoj se trči. To se često odnosi na trčanje nešto nižim intenzitetom (~70%  $VO_{2max}$ ) u kombinaciji s trčanjem na kosinama ili kratkim, brzim intervalima trčanja (~90%  $VO_{2max}$ ) kroz kratka vremenska razdoblja.

S obzirom na karakteristike, tri prethodno opisane trenažne metode su primjerenije u monostrukturnim cikličnim sportovima kao što su trčanje, biciklizam plivanje i slično. Nadalje, zbog specifičnog načina korištenja različitih izvora energije, može biti koristan alat i kod rekreativaca koji žele poboljšati vlastiti kardiorespiratorni status a razina treniranosti im onemogućuje postizanje višeg intenziteta tijekom treninga.



### 1.2.1. Određivanje trenažnog opterećenja

Metode za određivanje intenziteta treninga se odnose na definiranje postotka različitih metodičkih točaka (eng. *anchor point*) za programiranje treninga, kao što su maksimalni primitak kisika ( $VO_{2max}$ ), maksimalna frekvencija srca ( $FS_{max}$ ) te maksimalni rad tj. snaga ( $W_{max}$ ) ili brzina ( $v_{max}$ ), koji se najčešće definiraju progresivnim testom opterećenja (PTO). Submaksimalne vrijednosti dobivene iz PTO-a također se koriste za definiranje trenažnog intenziteta, a odnose se na ventilacijske pragove (eng. *ventilatory threshold* - VT), pragove izmjene plinova (eng. *gas exchange threshold* - GET), točku respiratorne kompenzacije (eng. *respiratory compensation point* - RCP) te prvi i drugi laktatni prag (eng. *lactate threshold* - LT1 i LT2) (Jamnick i suradnici, 2020; Mann i suradnici, 2013; Pettitt i suradnici, 2013).

Trenažna opterećenja se najlakše opisuju i promatraju kroz različite modele odnosno zone intenziteta koji su pak definirani na temelju prethodno opisanih metodičkih točaka za programiranje treninga (Thompson i suradnici, 2010). Za trening izdržljivosti vrlo često se koristi model sa pet zona intenziteta (tablica 2.) koji se bazira na vrijednostima dobivenim PTO odnosno vrijednostima intenziteta (ali i drugih fizioloških i metaboličkih parametara) na dvije točke, aerobnom i anaerobnom pragu (Bourdon, 2013; Coomber i Skinner, 2014).

**Tablica 2.** Podjela aerobnih zona intenziteta treninga (prema Bourdon, 2013)

<b>Trenažna zona</b>	<b>Frekvencija srca</b> (% $FS_{max}$ )	<b>Koncentracija laktata</b> (mmol/l)	<b>Primitak kisika</b> (% $VO_{2max}$ )	<b>Procjena opterećenja</b> (SPO)
<b>Zona oporavka</b>	65 – 75	<2,0	<60	Vrlo lagano
<b>Ekstenzivna zona</b>	75 – 80	2,0-2,5	60 – 72	Lagano
<b>Intenzivna zona</b>	80 – 85	2,5-3,5	70 – 82	Donekle teško
<b>Zona praga</b>	85 – 92	3,5-5,0	80 – 85	Teško
<b><math>VO_{2max}</math> zona</b>	92 – 100	>5,0	85 – 100	Vrlo teško

Legenda:  $VO_{2max}$ =maksimalni primitak kisika, SPO=subjektivna procjena opterećenja

Jedan od osnovnih preduvjeta za kvalitetan trenažni program je određivanje trenažnog intenziteta te načina na koji se taj intenzitet može pratiti. Trenažno opterećenje se najčešće može opisati kroz unutarnje i vanjske odrednice opterećenja (Borresen i Lambert, 2009; Bourdon i suradnici, 2017; Lambert i Borresen, 2010). U treningu izdržljivosti, unutarnje opterećenje se kontrolira praćenjem različitih mjera subjektivne procjene opterećenja, kao što su subjektivna procjena opterećenja (SPO) (BORG, 1982) i subjektivna procjena opterećenja treninga ( $SPO_t$ ) (Foster i suradnici, 2001), te drugim fiziološkim mjerama kao što su frekvencija srca (u raznim izvedenicama), koncentracija laktata u krvi te primitak kisika (Bourdon i suradnici, 2017; Buchheit, 2014; Mujika, 2017). S druge strane, vanjsko opterećenje se odnosi na praćenje brzine, snage, vremena, udaljenosti te drugih biomehaničkih varijabli (Bourdon i suradnici, 2017; Mujika, 2017).

Kao što je ranije navedeno, jedna od glavnih značajki treninga za razvoj izdržljivosti (npr. VIIT-a) je akumulacija vremena koje se provede u  $VO_{2max}$  zoni. U praksi to nije moguće pratiti „online“ za vrijeme treninga zbog nepraktičnosti mjerne opreme (prijenosni spiroergometar), pa treneri najčešće prate vrijednosti FS-a i  $SPO_t$ . Kako je razina povezanosti između  $SPO_t$  i frekvencije srca sa vremenom provedenim u pojedinoj trenažnoj zoni visoka, praćenje  $SPO_t$  je postalo praktično i vrlo popularno (Bourdon i suradnici, 2017).

Praćenje subjektivne percepcije opterećenja treninga se smatra vrlo pouzdanom i valjanom mjerom ukupnog opterećenja treninga te je vrlo praktična za brzo prikupljanje bez zahtjevne tehničke opreme, troškova te gubitka vremena (Bourdon i suradnici, 2017; Foster i suradnici, 2001). Detaljnije praćenje  $SPO_t$  je moguće i u kontekstu doživljaja neuromuskularnog (NM) i kardiorespiratornog (KR) opterećenja koji se ispitanicima mogu predstaviti kao praćenje opterećenja treninga u „nogama“ i „plućima“ (McLaren i suradnici, 2017).

### 1.3. Analiza kretnih struktura u timskim sportovima

U mnogim sportskim igrama značajnu ulogu imaju višesmjerna kretanja, odnosno različiti modaliteti kretanja u više različitih smjerova. Osim uobičajenog kretanja prema naprijed, kretanja koja dominiraju u ekipnim sportovima kao što su nogomet, košarka ili rukomet su kretanja bočno i unatrag (Krustrup i suradnici, 2009; Nicholas, 1997; Oxendale i suradnici, 2017; Póvoas i suradnici, 2012, 2014, 2017; Stojanovic i suradnici, 2018; Taylor i suradnici, 2017). Ona se manifestiraju kroz različite specifične kretnje tijekom utakmice, npr. u nogometu su obrambeni igrači oni koji imaju najviše takvih kretnji (Bloomfield i suradnici, 2007) ali se koriste i kao metode zagrijavanja i pripreme u sportskim igrama.

Uočljivo je da nogometaši elitne razine, bez obzira na poziciju, imaju oko 50% kretnji prema naprijed te oko 50% ostalih oblika kretanja (Bloomfield i suradnici, 2007). U engleskoj nogometnoj Premier ligi igrači ostvaruju oko 22% ukupnih kretanja koja nisu direktno prema naprijed (10% prema natrag i 12% bočno) (Bloomfield i suradnici, 2007). Elitni nogometaši tijekom utakmice imaju oko 4% trčanja unatrag, a nogometaši srednje razine oko 3% (brzinom iznad 10 km/h) (Mohr i suradnici, 2003). Ovakav oblik kretanja sportašima timskih sportova pruža mogućnost da se kreću, pogotovo u obrambenoj fazi, bez gubitka vizualnog kontakta sa loptom ili protivničkim igračem (Arata, 1999). Višesmjerno kretanje u timskim sportovima se koristi i kao element zagrijavanja. Primjerice u nogometu je često korištena vježba „bekovski ples“ u kojoj se sportaši kreću istovremeno bočno i prema natrag u stavu koji odgovara poziciji tijela obrambenih igrača dok prate napadače za vrijeme igre.

Oblici kretanja tijekom rukometne utakmice, uz specifične kretnje vezane uz samu igru i akcije, su stajanje, hodanje, jogging, brzo trčanje, sprintanje, te trčanje u natrag i bočno koje se još može podijeliti na umjereni i visoki intenzitet trčanja (Michalsik i suradnici, 2012; Póvoas i suradnici, 2012). Bočno kretanje je dominantno u fazi obrane, što je i logično jer je popraćeno sa vizualnim promatranjem lateralne kretnje lopte u igri, što rezultira većim opterećenjem za kardiorespiratorni sustav (Póvoas i suradnici, 2017). S obzirom na igračku poziciju, pivoti imaju dvostruko više zabilježenih kretnji u bočnom trčanju u odnosu na druge pozicije (Póvoas i suradnici, 2014).

Tijekom košarkaške utakmice, igrači izvode više kretnji u frontalnoj ravnini nego u sagitalnoj ravnini (Matthew i Delextrat, 2009), dok juniori elitne razine imaju preko 20% (oko 1700m)

trčanja bočno, no kao i kod rukometaša, značajno manje u posljednje dvije četvrtine utakmice (ben Abdelkrim i suradnici, 2010). Ovakve promjene ne moraju nužno biti samo zbog pojave umora, već i zbog tehničko-taktičkih značajki utakmice, ali i određenog sporta. U sportovima s reketom, kao što su badminton i tenis, bočna i dokoračna kretanja se koriste kako bi igrači što prije došli u optimalnu poziciju za odigravanje (Kuntze i suradnici, 2009).

Analiza kretanja pomoćnih sudaca u nogometu tijekom utakmice je ukazala na vrlo često korištenje obrasca pokreta koji se očituje u trčanju bočno i prema natrag. Tijekom ukupnog trajanja utakmice od 90 minuta, pomoćni suci trče otprilike 6 do 8 km od čega je 10 – 30 % bočno trčanje (Krustrup i suradnici, 2009). Kod vrhunskih pomoćnih sudaca zabilježeno je više od 110 visoko intenzivnih aktivnosti od koji je preko 100 izvedbi trčanja bočno te više od 225 promjena smjera kretanja (Krustrup i suradnici, 2002).

S obzirom na frekvenciju i trajanje kretanja koje nije prema naprijed, jasno je da postoji potreba za utvrđivanjem i definiranjem fiziološke, metaboličke, biomehaničke te tehničko-taktičke zahtjevnosti takvog kretanja u timskom sportu. U mnogim istraživanjima na tu temu u posljednjih tridesetak godina (Flynn i suradnici, 1994; Gao i suradnici, 2022; Kuntze, 2008; Ordway i suradnici, 2016; Paes i Fernandez, 2016; Rasica i suradnici, 2020; Reilly i Bowen, 1984; Sterzing i suradnici, 2016; Williford i suradnici, 1998; Wright i Weyand, 2001; Yamashita i suradnici, 2013, 2017) predstavljene su određene spoznaje koje unaprjeđuju razumijevanje problema, te sugeriraju da se radi o vrijednom području istraživanja u kojem još uvijek ima prostora za nova istraživanja, primarno u području energetske potrošnje i učinaka treninga.

### 1.3.1. Trčanje unatrag

Slično kao i kod trčanja prema naprijed, trčanje unatrag se može smatrati kao bilo koji oblik kretanja unatrag koji podrazumijeva oslanjanje na jednu nogu za vrijeme trajanja oslonca te obje noge u zraku tijekom faze leta (Uthoff, Oliver, Cronin, Harrison, i suradnici, 2018). Postoje pretpostavke da trčanje unaprijed i unatrag u pozadini aktivacije mišića imaju slične neuronske puteve, no redoslijed aktivacije mišića se razlikuje (Grasso i suradnici, 1998; Lacquaniti i suradnici, 2012; Thorstensson, 1986).

Trčanjem unatrag može doseći najviše oko 70% maksimalne brzine trčanja prema naprijed (Arata, 1999; Weyand i suradnici, 2010). Razlog niže brzine u fazi ubrzanja tijekom trčanja unatrag je prvenstveno zbog manje horizontalne sile reakcije tla, što rezultira kraćom duljinom koraka te kraćom fazom leta u odnosu na trčanje unaprijed (Uthoff i suradnici, 2021). Pozitivni učinci trčanja unatrag, kao terapijskog postupka, su opisane kod osoba sa boli u lumbalnom dijelu leđa (Dufek i suradnici, 2011), te je to oblik kretanja koji se smatra poželjnom metodom u rehabilitacijskom postupku (Heiderscheit i suradnici, 2010).

Koristi treninga trčanja prema natrag se odnose na smanjenje rizika od ozljeda i pripremu sportaša za natjecanje (Ayala i suradnici, 2017; Magalhães i suradnici, 2010; Olsen i suradnici, 2005; Rössler i suradnici, 2016; Soligard i suradnici, 2008; Zois i suradnici, 2015), te poboljšanje same sportske izvedbe (Ordway i suradnici, 2016; Terblanche i suradnici, 2005; Terblanche i Venter, 2009; Uthoff i suradnici, 2020). Kronični učinci treninga sprinta unatrag kod mladih sportaša rezultirali su poboljšanjem u izvedbi sprinta prema naprijed na 10 i 20 metara te vertikalnom skoku u odnosu na kontrolnu skupinu (Uthoff i suradnici, 2020). Kod dobro treniranih muškaraca koji su koristili trening trčanja prema natrag zabilježen je porast od 2,54% u ekonomičnosti trčanja prema naprijed na brzini od 12,9 km/h. Pritom nije došlo do promjene u  $VO_{2max}$  odnosno u razini aerobne pripremljenosti, te autori zaključuju da ovakav oblik treninga može doprinijeti razvoju ekonomičnosti kod već dobro pripremljenih trkača (Ordway i suradnici, 2016).

Akutni efekti sprinta unatrag kao oblika zagrijavanja kod rekreativnih dječaka pubertetske dobi, rezultirali su značajnom promjenom u odnosu na trčanje unaprijed samo u sprintu 10-20m, dok nije bilo značajne promjene kod 0-5, 5-10, 0-10 te 0-20m između grupa koje su provodile vježbe sprint unatrag i sprint unaprijed (Petrakis i suradnici, 2020).

Postoji veći broj radova (tablica 3.) koji su proučavali potrošnju kisika pri trčanja unatrag (Conti, 2009; Flynn i suradnici, 1994; Paes i Fernandez, 2016; Rasica i suradnici, 2020; Wright i Weyand, 2001). Utvrđeno je da su potrošnja kisika, frekvencija srca i koncentracija laktata značajno više pri trčanju unatrag nego naprijed na brzini od oko 9,5 km/h (Flynn i suradnici, 1994). Zanimljivo, kod nogometnih sudaca, koji vjerojatno imaju veću naviku hodanja/trčanja prema natrag, pri brzini od 9 km/h nije zabilježena značajna razlika u metaboličkim parametrima između trčanja naprijed i natrag, dok je značajna razlika utvrđena pri brzini od 6 km/h (Paes i Fernandez, 2016). Nije uočena značajna razlika u frekvenciji srca između trčanja naprijed i natrag na intenzitetu od 6 km/h te na intenzitetu od 9 km/h. Značajne razlike su uočene u vrijednostima primitka kisika između ova dva smjera trčanja ali samo na intenzitetu od 6 km/h, dok nije utvrđena značajna razlika na intenzitetu od 9 km/h (Paes i Fernandez, 2016). Ne postojanje statistički značajne razlike u ovim parametrima se može pojasniti kroz činjenicu da su nogometni suci vrlo dobro priviknuti na kretanje natrag pri promatranim brzinama. Kod tjelesno aktivnih studenata je utvrđeno da se pri intenzitetu od 8 km/h kod trčanja bočno ostvaruje otprilike 84% od  $VO_{2max}$  utvrđenog u progresivnom testu opterećenja (Vučetić i suradnici, 2021).

Druga istraživanja koja su analizirale ovaj problem, prijavljuju povećanu potrošnju kisika, povećanu koncentraciju laktata, više vrijednosti frekvencije srca (Conti, 2009; Rasica i suradnici, 2020). Kao razlog povećane energetske potrošnje Wright i Weyand (2001). navode aktivaciju 10% veće mišićne mase pri trčanju unatrag (pri brzini od 6,3 do 12,6 km/h). Također, trčanje unatrag se manje oslanja na ciklus izduživanja i skraćivanja mišića (eng. *stretch-shortening cycle*) te troši više energije zbog smanjenog udjela ekscentričnog režima rada i smanjene iskorištavanja elastične energije (Cavagna i suradnici, 2011).

Povećanje u zahtjevu za energijom se može pojasniti sa povećanom frekvencijom koraka u odnosu na trčanje prema naprijed. Conti prijavljuje povećanje od 11% u frekvenciji koraka ali i povećanje od 28% u energetske potrošnji između trčanja natrag i naprijed (Conti, 2009). Razlog povećane energetske potrošnje može biti u većoj mišićnoj aktivaciji (Flynn i Soutas-Little, 1993; Sterzing i suradnici, 2016; Wright i Weyand, 2001) te u smanjenoj mogućnosti korištenja „elastične energije“ (Cavagna i suradnici, 2011, 2012). Uz manji doprinos elastičnosti, veći je zahtjev postavljen u kontekstu mišićne aktivacije kako bi se centar mase tijela podignuo i ubrzao, odnosno kretao u željenom smjeru (Rasica i suradnici, 2020).

Kod naizmjeničnog trčanja naprijed-natrag, te lijevo-desno, na kratkoj dionici od 5 metara, bilježe se slične vrijednosti kao u ovom istraživanju (Gao i suradnici, 2022). Naime, pri istom intenzitetu od 6km/h na kratkoj relaciji (eng. *shuttle*) zabilježena je značajno veća potrošnja kisika između trčanja naprijed te naprijed-natrag, kao i lijevo-desno. Slične vrijednosti su ostvarene i u vrijednostima frekvencije srca te subjektivnog osjećaja opterećenja. U istraživanju Gao i suradnika praćene su i vrijednosti koncentracije laktata u krvi, te je također zabilježeno značajno povećanje u uvjetima trčanja koji nisu prema naprijed (Gao i suradnici, 2022).

Prednost trčanja unatrag očituje se i u manjem opterećenju zgloba koljena (Roos i suradnici, 2012), te povećanoj aktivaciji mišića nogu (stražnji mišići natkoljenice, *m. quadriceps*, *m. tibialis anterior*, *m. gastrocnemius*) (Flynn i Soutas-Little, 1993; Sterzing i suradnici, 2016), povećanoj frekvenciji te smanjenoj dužini koraka (Sterzing i suradnici, 2016; Weyand i suradnici, 2010; Wright i Weyand, 2001), manjoj maksimalnoj brzini (oko 70% od  $v_{max}$  trčanja prema naprijed) (Arata, 1999; Weyand i suradnici, 2010) te većim aerobnim i anaerobnim energetskeim zahtjevima (Flynn i suradnici, 1994; Rasica i suradnici, 2020; Reilly & Bowen, 1984; Uthoff, Oliver, Cronin, Harrison, i suradnici, 2018; Williford i suradnici, 1998; Wright & Weyand, 2001).

**Tablica 3.** Prikaz istraživanja energetskega zahtjeva trčanja prema natrag

<i>Autori</i>	<i>Uzorak ispitanika</i>	<i>Brzina kretanja</i>	<i>Testirane varijable</i>	<i>Glavni nalazi</i>
Rasica i sur. (2020)	8 treniranih muškaraca	od 4 do 10 km/h od 0 do 25% nagiba	VO <sub>2</sub>	35%↑VO <sub>2</sub>
Paes i Fernandes (2016)	10 muškaraca nogometni suci	6 km/h 9 km/h	VO <sub>2</sub> FS MET E	↑VO <sub>2</sub> (6 km/h) FS ↔ ↑MET (6 km/h) ↑E (6 km/h)
Conti (2009)	6 žena 6 muškaraca	8 km/h	VO <sub>2</sub>	25%↑ VO <sub>2</sub>
Wright i Weyand (2001)	4 trenirana muškarca	8 brzina od 6,4 do 12,6 km/h	VO <sub>2</sub> kontakt sa podlogom (t)	↑frekvencija koraka ↓dužina koraka 32%↑ VO <sub>2</sub>
Williford i sur. (1998)	7 tenisača 6 tenisačica	4,8 km/h 8,1 km/h	VO <sub>2</sub> FS	VO <sub>2@4,8km/h</sub> = 23%↑ FS@4,8km/h= 14%↑ VO <sub>2@8,1km/h</sub> = 13%↑ FS@8,1km/h= 14%↑



Flynn i sur. (1994)	10 treniranih muškaraca	6,4 km/h 9,7 km/h	VO <sub>2</sub> RER V <sub>E</sub> koncentracija laktata	↑VO <sub>2</sub> ↑RER ↑V <sub>E</sub> ↑koncentracija laktata
Reilly i Bowen (1984)	9 nogometaša	5 km/h 7 km/h 9 km/h	VO <sub>2</sub>	E @5km/h= 17%↑ E @7km/h= 21%↑ E @9km/h= 29%↑

Legenda: FS=frekvencija srca; VO<sub>2</sub>=primitak kisika; MET=metabolički ekvivalent; E=energetski metabolizam; V<sub>E</sub>=minutna ventilacija; RER=respiracijski ekvivalent;

### 1.3.2. Trčanje bočno

Bočni oblik kretanja je čest u različitim situacijama svakodnevnog života, kao npr. hodanje oko prepreka i slično (Gilchrist, 1998). No, točno značenje termina bočno kretanje/trčanje nije jasno definirano. U nekim sportovima bočno kretanje se može smatrati kratkim sprintovima koji podrazumijevaju „prekorake“, dok se u nekim drugim sportovima, kao što je npr. košarka, bočnim kretanjem smatra poseban oblik kretanja koji se može opisati „vučenjem noge za nogom“ (eng. *shuffle*) (Taylor i suradnici, 2017). Dok je energetska potrošnja trčanja unatrag donekle istraživana, malo je istraživanja na temu energetske potrošnje bočnih oblika kretanja, ali i bočnog trčanja općenito.

Bočni oblik kretanja kod ljudi se smatra izrazito neekonomičnim, odnosno energetska potrošnja je visoka pri svim brzinama kretanja. Razlog tomu su konstantna dizanja i spuštanja centra težišta tijela, te povećani energetske zahtjevi za izvođenje tih kretnji (Handford i Srinivasan, 2014). Prilikom bočnog kretanja vodeća noga je primarni generator vertikalne sile (odrazna noga), dok prateća noga ima dominantno ulogu amortizacije vertikalnih sila (doskočna noga) (Kuntze i suradnici, 2009). Prateća noga ima ulogu amortizacije vanjske vertikalne sile i „pretvaranje“ te sile u lateralnu, dok vodeća noga ima obrnutu ulogu, odnosno amortiziranje lateralne sile i prijenos u vertikalnu (Yamashita i suradnici, 2017). S obzirom na njihove različite uloge, izrazito je važno pravilno opteretiti obje noge tijekom aktivnosti bočnih kretanja kako ne bi došlo do povećanja rizika nastanka kroničnih ozljeda ili prenaprezanja (Kuntze i suradnici, 2009).

U istom radu je utvrđeno da je sila reakcije podloge tijekom bočnog kretanja bila općenito niža i uglavnom nižih vršnih vrijednosti u odnosu na trčanje prema naprijed, što ukazuje na smanjeni rizik od sindroma prenaprezanja u usporedbi s „peta-prsti“ trčanjem prema naprijed (Kuntze i suradnici, 2009). Ovakav asimetričan oblik kretanja, koji se sastoji od dvostruke oslonačne faze kao i dvostruke faze leta, se može opisati kao galop korak (Getchell i Whitall, 2004; Minetti, 1998; Whitall, 1989) i tipičan je za bočno kretanje (Yamashita i suradnici, 2013).

U seminalnom istraživanju (Reilly i Bowen, 1984) o energetske zahtjevima bočnog oblika trčanja na uzorku od 9 nogometaša utvrđeno je da se potrošnja energije pri trčanju bočno i unatrag povećala za oko 30% u odnosu na trčanje unaprijed pri brzini od 9 km/h u trajanju od 4 minute. Slični su omjeri potrošnje energije i na brzini od 7 km/h (oko 23% veća potrošnja) i

5km/h (oko 19% veća potrošnja). Istraživanje koje su proveli Williford i suradnici (1998) također ukazuje na povećanu energetska potrošnju trčanja bočno na uzorku od 7 muškaraca i 6 žena koji se bave tenisom. Oni su utvrdili da pri intenzitetu od 4,8 km/h najveća energetska potrošnja je tijekom bočnog trčanja, zatim tijekom trčanja unatrag te naposljetku trčanja unaprijed. Također su utvrdili da pri brzini od 8 km/h, za razliku od istraživanja Reily i Bowena, nema razlike u energetska potrošnji između trčanja bočno i unatrag, ali postoji razlika između ta dva oblika trčanja i trčanja unaprijed (Williford i suradnici, 1998).

Ovi podaci jasno ukazuju na činjenicu da je potrošnja kisika pri istoj brzini značajno manja prilikom trčanja prema naprijed u odnosu na ostale smjerove. Analiza metaboličkih i ventilacijskih parametara pri trčanju bočno u lijevu i desnu stranu pri brzini od 8 km/h je ukazala da nema značajne razlike između primitka kisika, frekvencije srca te frekvenciji i dubini disanja, dok je samo u minutnom volumenu disanja utvrđena značajna razlika (Vučetić i suradnici, 2021).

Za potrebe mjerenja natjecateljske spremnosti pomoćnih sudaca, razvijen je terenski test pod nazivom „ARIET“ (Castagna i suradnici, 2012), odnosno riječ je o modificiranom „Yo-Yo IE2“ testu pod nazivom „Yo-Yo sideways-forwards intermittent endurance level 2“ (Krustrup i suradnici, 2012). Analiza rezultata talijanskih nogometnih pomoćnih sudaca iz tri različite razine natjecanja je ukazala da ARIET test uspješno diskriminira ispitanike prema rangu natjecanja (Castagna i suradnici, 2012). Također, rezultati ARIET testa su visoko korelirani sa rezultatima iz aerobnih testova (PTO i YO-YO IR1), što upućuje da je priroda ovog testa dominantno aerobnog karaktera (Castagna i suradnici, 2012).

Dakle, pregledom literature utvrđeno je da tijekom trčanja bočno možemo očekivati povećanu energetska potrošnju, u odnosu na trčanje prema naprijed istim intenzitetom (od 4,8 do 9 km/h), od 15 do 30% (Reilly i Bowen, 1984; Williford i suradnici, 1998). Dosadašnja istraživanja bočno trčanje karakteriziraju kao „galop“ kretanje, gdje lijeva i desna noga imaju zasebne uloge za razliku od trčanja prema naprijed (Getchell i Whitall, 2004; Minetti, 1998; Whitall, 1989). U prostoru bočnog trčanja pitanje je može li se tim oblikom kretanja dostići maksimalni primitak kisika, te je li aerobni kapacitet ograničavajući faktor u postizanju viših razina intenziteta ili je ograničenje više temeljeno na biomehaničkim komponentama kretanja.

**Tablica 4.** Prikaz istraživanja energetske potrošnje pri bočnom kretanju

<i>Autori</i>	<i>Uzorak ispitanika</i>	<i>Brzina kretanja</i>	<i>Testirane varijable</i>	<i>Glavni nalazi</i>
Vučetić i sur. (2021)	16 muškaraca	8 km/h	VO <sub>2</sub>	~85% VO <sub>2</sub> lijevo = desno
Handford i Srinivasan (2014)	5 muškaraca 5 žena	8 brzina hodanja od 0,4 do 3,6 km/h	E	3x↑E u odnosu prema naprijed
Williford i sur. (1998)	7 tenisača 6 tenisačica	4,8 km/h 8,1 km/h	VO <sub>2</sub> FS	VO <sub>2</sub> @4,8km/h= 43%↑ FS@4,8km/h= 19%↑ VO <sub>2</sub> @8,1km/h= 17%↑ FS@8,1km/h= 14%↑
Reilly i Bowen (1984)	9 nogometaša	5 km/h 7 km/h 9 km/h	VO <sub>2</sub>	E @5km/h= 20%↑ E @7km/h= 25%↑ E @9km/h= 29%↑

*Legenda: FS=frekvencija srca; VO<sub>2</sub>=primitak kisika; E=energetski metabolizam;*

#### 1.4. Problem istraživanja

Ova doktorska disertacija istražuje dva znanstvena problema. Prvi se odnosi na potrebu za analizom vršnih metaboličkih zahtjeva trčanja u onim smjerovima koji su do sada malo, odnosno rijetko istraživani (trčanje bočno i trčanje unatrag) iako su takvi oblici kretanja učestali u sportskim igrama (Bloomfield i suradnici, 2007; Krustrup i suradnici, 2009; Lukaski, 2017; Nicholas, 1997; Oxendale i suradnici, 2017; Póvoas i suradnici, 2012, 2014, 2017; Stojanovic i suradnici, 2018). Nije istraženo kakvi su energetske zahtjevi trčanja bočno i unatrag na intenzitetima većim od 9 km/h, odnosno je li moguće postići visoku razinu primitka kisika ( $>90\% \text{VO}_{2\text{max}}$ ) pri takvom kretanju. Istovremeno, to je jedan od najvažnijih parametara za programiranje treninga izdržljivosti (Laursen i Buchheit, 2019). Nadalje, u literaturi se sugerira upravo ovaj smjer istraživanja metaboličkih zahtjeva kao jedan od nužnih budućih smjerova istraživanja (Drust i suradnici, 2007). Drugi dio problema se odnosi na utvrđivanje vrijednosti te odnosa metaboličkih parametara, kod prethodno spomenutih smjerova trčanja, koji odgovaraju zadanim vrijednostima pet uobičajenih trenažnih zona.

Razumijevanje metaboličkih zahtjeva aktivnosti leži u osnovi svakog programiranja bilo kojeg treninga izdržljivosti. Maksimalni primitak kisika ( $\text{VO}_{2\text{max}}$ ) je jedan od najvažnijih pokazatelja razine treniranosti pojedinca. Upravljanje intenzitetom, omjerom rada i odmora, ukupnim volumenom rada te vrstom opterećenja može dovesti do poboljšanja  $\text{VO}_{2\text{max}}$  (Buchheit i Laursen, 2013b). Najčešće korištene metode se mogu okarakterizirati kao visoko intenzivni intervalni trening te kontinuirani trening visokog volumena te umjerenog intenziteta (Laursen, 2010; Seiler i Tønnessen, 2009). Kao ključan parametar u ovakvom obliku treninga nameće se određivanje intenziteta aktivnosti (Mann i suradnici, 2013). U posljednje vrijeme, u timskim sportovima dominantna metoda razvoja  $\text{VO}_{2\text{max}}$  je upravo visoko intenzivni intervalni trening, odnosno akumulacija vremena provedenog iznad  $90\% \text{VO}_{2\text{max}}$  (Buchheit i Laursen, 2013b).

U kontekstu ovog istraživanja, za potrebe programiranja takvih oblika treninga, istražiti će se energetske zahtjevi trčanja bočno u obje strane, te trčanje prema natrag u odnosu na trčanje prema naprijed. Naime, istraživanje  $\text{VO}_{2\text{p}}$  i lokomotorne efikasnosti u spomenutim smjerovima trčanja može pomoći u kreiranju trenažnih operatora, kao i u evaluaciji trenažnih i natjecateljskih opterećenja u trčanju bočno i prema natrag.

Konkretno, znanstveni problem na koji se ova disertacija referira odnosi se na mogućnosti dostizanja maksimalnog primitka kisika tijekom trčanja bočno u obje strane te trčanja unatrag kao vrlo važne informacije u programiranju treninga izdržljivosti. Drugi dio znanstvenog problema se odnosi na identificiranje bazičnih metaboličkih parametara tijekom trčanja bočno i prema natrag na intenzitetima koji odgovaraju uobičajeno postavljenim trenažnim zonama u području treninga izdržljivosti (od 60% do 100%  $VO_{2max}$ ).

## 2. CILJEVI I HIPOTEZE

Primarni cilj istraživanja je usporedba vršnih vrijednosti primitka kisika koje se ostvaruju u progresivnom testu opterećenja i testovima kontinuiranog trčanja različitih smjerova.

Sekundarni cilj je analiza razlike u brzini trčanja i frekvenciji srca pri 60, 70, 80, 90 i 100% od maksimalnog primitka kisika ostvarenog u progresivnom testu opterećenja i u testovima kontinuiranog trčanja različitim smjerovima.

**H<sub>1</sub>:** nema statistički značajne razlike u vršnom primitku kisika izmjenjenog progresivnim testom opterećenja i testovima kontinuiranog trčanja bez obzira na smjer trčanja

**H<sub>2</sub>:** postoji statistički značajna razlika između brzine trčanja ostvarene u testovima kontinuiranog trčanja prema naprijed i bočno dostignute pri 60, 70, 80, 90 i 100% maksimalnog primitka kisika ostvarenog u progresivnom testu opterećenja

**H<sub>3</sub>:** postoji statistički značajna razlika između brzine trčanja ostvarene u testovima kontinuiranog trčanja prema naprijed i natrag dostignute pri 60, 70, 80, 90 i 100% maksimalnog primitka kisika ostvarenog u progresivnom testu opterećenja

**H<sub>4</sub>:** postoji statistički značajna razlika između frekvencije srca ostvarene u testovima kontinuiranog trčanja prema naprijed i bočno dostignute pri 60, 70, 80, 90 i 100% maksimalnog primitka kisika ostvarenog u progresivnom testu opterećenja

**H<sub>5</sub>:** postoji statistički značajna razlika između frekvencije srca ostvarene u testovima kontinuiranog trčanja prema naprijed i natrag dostignute pri 60, 70, 80, 90 i 100% maksimalnog primitka kisika ostvarenog u progresivnom testu opterećenja

**H<sub>6</sub>:** postoji statistički značajna razlika u subjektivnoj procjeni opterećenja treninga između trčanja prema naprijed i svih ostalih smjerova pri vršnim dostignutim brzinama

### 3. METODE RADA

#### 3.1. Uzorak ispitanika

S očekivanom veličinom efekta  $f=0,25$  za utvrđivanje razlike u vršnom primitku kisika između različitih smjerova trčanja, alpha razinom od 0,05, statističkom snagom od 0,80, jedne grupe ispitanika s četiri mjerenja te koeficijentom korelacije između ponovljenih mjerenja od 0,7 (temeljeno na pilot istraživanju), potreban je uzorak od 15 ispitanika (G\*Power 3.1.9.4. Universität Düsseldorf, Düsseldorf, Njemačka).

Uzorak se sastoji od 21 zdravog, tjelesno aktivnog ispitanika muškog spola, u dobi od 18 do 28 godina. Kriteriji za sudjelovanje u istraživanju su: (i) iskustvo u bavljenju timskim sportovima (nogomet, košarka ili rukomet) minimalno pet godina, te (ii) uspješno savladana tehnika bočnog trčanja na pokretnom sagu. Isključujući kriterij za sudjelovanje u istraživanju je postojanje akutne ili kronične ozljede lokomotornog sustava.

Zbog razvoja akutne ozljede lokomotornog sustava, i akutne kardiorespiratorne bolesti isključena su tri ispitanika. Od ukupno 18 ispitanika koji su završili istraživanje (tablica 5), 14 ispitanika se bavi nogometom, 2 ispitanika košarkom te 2 ispitanika rukometom. Ispitanici se prema klasifikacijskom okviru (McKay i suradnici, 2022) mogu svrstati u prvu skupinu, odnosno sportaše rekreativce.

**Tablica 5.** Deskriptivni parametri ispitanika (n=18)

	<i>AS ± SD</i>
<i>Dob (godine)</i>	21,4 ± 3,1
<i>Visina (cm)</i>	179,7 ± 7,7
<i>Masa tijela (kg)</i>	76,5 ± 11,7
<i>Potkožno masno tkivo (%)</i>	11,3 ± 4,9



Svi ispitanici su upoznati sa eksperimentalnim protokolom i ciljevima istraživanja te su u istraživanju sudjelovali dobrovoljno uz potpisan informirani pristanak na sudjelovanje. Ispitanicima je objašnjeno da u bilo kojem trenutku mogu, na vlastiti zahtjev, odustati od sudjelovanja u istraživanju. Kao motivaciju za sudjelovanje u istraživanju, svim ispitanicima je ponuđeno izračunavanje njihovih individualnih trenažnih zona iz progresivnog testa opterećenja. Istraživanje je provedeno u skladu sa zahtjevima, i uz odobrenje Etičkog povjerenstva Kineziološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

### 3.2. Uzorak varijabli

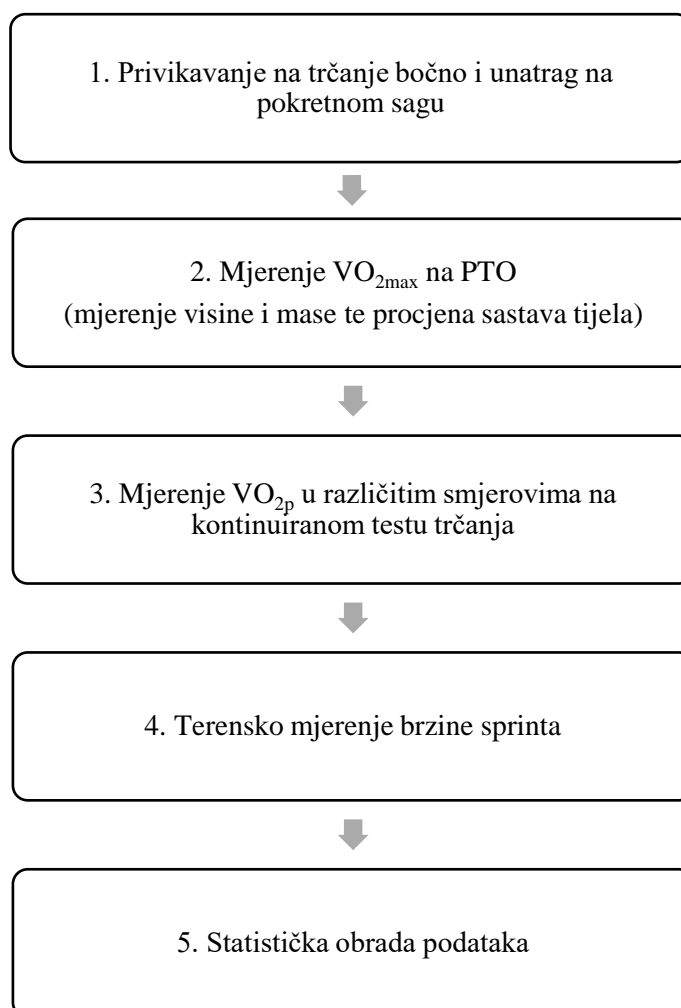
Varijable korištene u ovom istraživanju (tablica 6) primarno opisuju energetske kapacitete i dobivene su standardnim spiroergometrijskim testiranjem. S obzirom na nacrt istraživanja, korištene su kvantitativne varijable kontinuiranog karaktera te su podaci grupirani na taj način.

**Tablica 6.** Popis korištenih varijabli

<i>Kratica</i>	<i>Opis varijable</i>	<i>Mjerna jedinica</i>
<i>VO<sub>2</sub></i>	Primitak kisika	mlO <sub>2</sub> /kg/min
<i>FS</i>	Frekvencija srca	otk/min
<i>v</i>	Brzina trčanja	km/h
<i>SPO</i>	Subjektivna procjena opterećenja	/
<i>SPO<sub>t</sub></i>	Subjektivna procjena opterećenja treninga	/

### 3.3. Nacrt istraživanja

Istraživanje je provedeno kao randomizirani eksperiment sa ukriženim ustrojem (eng. *cross-over design*). Tijek istraživanja je prikazan na slici 1.



**Slika 1.** Prikaz tijeka istraživanja

*Legenda: VO<sub>2max</sub>=maksimalni primitak kisika; PTO=progresivni test opterećenja; VO<sub>2p</sub>=vršni primitak kisika*

Prije početka eksperimenta, ispitanici su imali privikavanje te tri edukacijska treninga na trčanje bočno i unatrag u trajanju od 15 minuta na pokretnom sagu. Kriteriji koji su trebali biti zadovoljeni u kontekstu kretanja bočno i unatrag na pokretnom sagu su: i) kretanje bez prekoraka; b) kretanje na prednjem dijelu stopala; c) uspješna promjena smjera kretanja za 360°.

Uspješno savladana tehnika trčanja bočno i unatrag se smatralo kada su ispitanici sposobni na intenzitetu od 5 km/h trčati i samostalno bez pauze mijenjati smjer trčanja. Po završetku privikavanja, autor je procijenio da su svi ispitanici uspješno savladali tehniku trčanja bočno i unatrag na temelju definiranih kriterija. Svi ispitanici su bili osigurani sigurnosnim pojasom za vrijeme trčanja na pokretnom sagu kako bi se smanjio rizik od ozljede. Ispitanici su na svim testiranjima koristili istu obuću.

Ukupan broj dolazaka na testiranje je varirao između ispitanika jer je ovisio o njihovoj razini pripremljenosti, a raspon se kretao od 12 do 17 dolazaka.

Svi testovi su se provodili u isto vrijeme u danu, kako bi se smanjio utjecaj cirkadijanog ritma na rezultate ispitivanja. Svi ispitanici su dobili upute da ne konzumiraju ergogena sredstva (kofein, sok od cikle) najmanje 12 sati prije svih testiranja, da se suzdrže od visoko intenzivne tjelesne aktivnosti 24 sata prije testiranja te da zadrže uobičajene navike prehrane i spavanja. Svi testovi su izvedeni u kontroliranim laboratorijskim uvjetima Sportsko dijagnostičkog centra (Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu) na motoriziranom pokretnom sagu (Pulsar 3p, h/p/cosmos, Nußdorf, Njemačka), osim terenskog testiranja brzine sprinta na asfaltnoj podlozi.

S obzirom da se u jednom dolasku provodilo do 4 testa KT, redosljed izvođenja testova je nasumičan kako bi se smanjio potencijalni utjecaj umora na vrijednosti metaboličkih parametara te posljedično na zaključke o izvedbi u pojedinom testu. Nasumični redosljed je osiguran na način da je svakom smjeru trčanja pridružen jedan broj (naprijed-1, natrag-2, bočno desno-3, bočno lijevo-4) te je uz pomoć internet stranice ([www.random.org/sequences](http://www.random.org/sequences)) za generiranje slučajnih brojeva definiran redosljed izvođenja testova. Sva testiranja je proveo autor ove disertacije, kao i analize te „čišćenje“ podataka prikupljenih spiroergometrijskim sustavom.

Prije početka testiranja, ispitanici su provodili standardizirano zagrijavanje pod stručnim nadzorom u trajanju od 15 minuta (vježbe mišićne aktivacije, dinamičkog istezanja te trčanje na pokretnom sagu u različitim smjerovima progresivnim intenzitetom).

### 3.4. Protokol testiranja

#### 3.4.1. Utvrđivanje morfoloških karakteristika

Prije provođenja progresivnog testa opterećenja, ispitanicima je izmjerena visina i masa tijela te procijenjen udio potkožnog masnog tkiva metodom kožnih nabora. Za mjerenje visine korišten je antropometar (Model 100, Gneupel Präzisionsmechanik (GPM), Bachenbülach, Švicarska), masa tijela je utvrđena pomoću digitalne vage (model BC-418, Tanita Corporation, Tokyo, Japan), debljina kožnih nabora je mjerena Harpenden kaliperom (Batty international, Burgess Hill, UK) prema međunarodnom biološkom programu (Weiner i Lourie, 1969). Gustoća tijela te potkožno masno tkivo je procijenjeno pomoću algoritma sa 7 kožnih nabora (Jackson i Pollock, 1978; Siri, 1961).

#### 3.4.2. Mjerenje maksimalnog primitka kisika

Svi ispitanici su u prvom dolasku testirani kontinuiranim progresivnom testom opterećenja (PTO) na pokretnom sagu. Korišten je KF1 protokol, modificiran prema Šentija i sur. (2007) (1 min mirovanje, 2 min na brzini od 3 km/h, zatim svakih 30 sekundi povećanje brzine za 0,5 km/h, 1% konstantni nagib) do otkaza, kojim se odredio maksimalni primitak kisika ( $VO_{2max}$ ), maksimalna dostignuta brzina ( $v_{max}$ ) te maksimalna frekvencija srca ( $FS_{max}$ ). Kriterij za prekid testa, odnosno za utvrđivanje stvarnih maksimalnih vrijednosti korišteni su uobičajeni postupci kao što je: (i) postizanje  $VO_2$  platoa, (ii) respiracijski kvocijent (RQ) iznad 1,15 (Howley i suradnici, 1995; Taylor i suradnici, 1955).

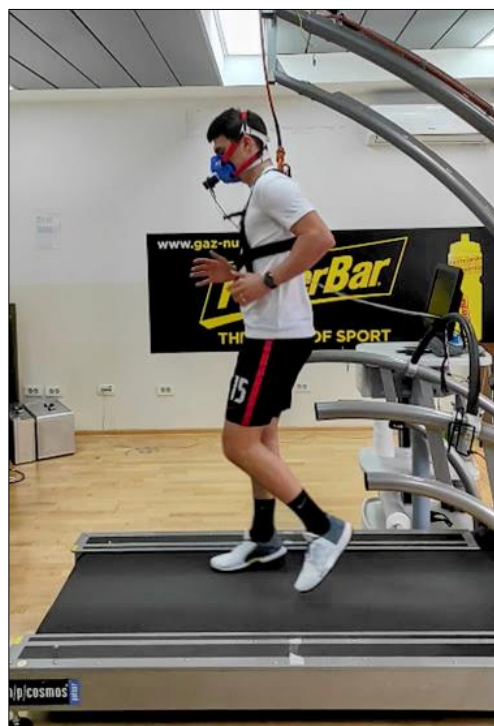
Sirovi podaci su „očišćeni“ od anomalija te su usrednjeni na period od 30 sekundi. Kao maksimalna vrijednost relativnog primitka kisika je uzeta najviša vrijednost u vremenskom intervalu od 30 sekundi. Sustav Quark C<sub>PET</sub> (Cosmed, Rim, Italija) je korišten za mjerenje spiroergometrijskih parametara.

### 3.4.3. Mjerenje vršnog primitka kisika pri trčanju naprijed, bočno i unatrag

Od drugog dolaska (najmanje 48 sati nakon prvog dolaska) započeto je sa provođenjem četiri kontinuirana testa fiksno opterećenja trčanja unaprijed (KT-N), bočno u desnu (KT-BD) i lijevu (KT-BL) stranu te unatrag (KT-NT), nasumičnim redoslijedom (slika 2 i slika 3). Na temelju prethodnih istraživanja sličnog dizajna (Conti, 2009; Flynn i suradnici, 1994; Paes i Fernandez, 2016; Reilly i Bowen, 1984; Williford i suradnici, 1998; Wright i Weyand, 2001) definirano je trajanje protokola kontinuiranog trčanja od ukupno 6 minuta (1 minuta mirovanja i 5 minuta trčanja), uz nagib pokretnog saga od 1%. Promatrani parametri su relativni primitak kisika ( $\text{mlO}_2/\text{kg}/\text{min}$ ) i frekvencija srca u minuti (o/min) te subjektivni osjećaj opterećenja (SPO) na modificiranoj skali 0-10 (BORG, 1982). Po završetku protokola KT ispitanici su odgovarali na upit o subjektivnoj procjeni opterećenja treninga ( $\text{SPO}_t$ ) (Foster i suradnici, 2001), prema skali 0-10 koliko im je bilo teško u kontekstu kardiorespiratornog opterećenja („disanje“) te u kontekstu neuromuskularnog opterećenja („noge“).  $\text{VO}_{2p}$ ,  $\text{FS}_{\text{max}}$  i SPO na pojedinom intenzitetu je definiran prosječnim vrijednostima dvaju posljednjih 30-sekundih intervala (5. minuta trčanja).



**Slika 2.** Trčanje bočno u desnu stranu



**Slika 3.** Trčanje unatrag

Prije početka testiranja ispitanici su provodili standardizirani oblik zagrijavanja. Zagrijavanje se sastojalo od vježbi dinamičkog istezanja, mišićne aktivacije te 5-minutno trčanje na pokretnom sagu u svim smjerovima (60 sekundi prema naprijed plus 4x30 sekundi (svaki smjer 30')) na intenzitetu od 5 do 7 km/h. Nakon jedne minute mirovanja, početni intenzitet KT testa je bio 5 km/h. U svakom sljedećem dolasku, koji je bio najmanje 48 sati nakon prethodnog, intenzitet je povećan za 1 km/h. Odmor između izvođenja testova nije bio kraći od 30 minuta. Pauza je bila pasivnog karaktera, odnosno uključivala je sjedenje i stajanje. Na ovaj način su se izvodili testovi do intenziteta na kojem je ispitanik izdržao najmanje 3 minute trčanja. Primjerice, ako je ispitanik izdržao manje od 3 minute na intenzitetu od 11 km/h bočnog trčanja taj pokušaj je smatran nevažecim. Na taj način je definiran maksimalan intenzitet (brzina izražena u km/h) u tom smjeru trčanja. Nakon pauze ispitanik je nastavio s eventualnim preostalim testovima (unatrag i unaprijed).

Za potrebe testiranja hipoteza 2, 3, 4 i 5 promatrane vrijednosti na testovima KT su definirane kao 60, 70, 80, 90 i 100%  $VO_{2max}$ . Primjerice, utvrđeno je na kojoj brzini te pri kojoj FS pojedini ispitanik dostiže npr. 60%  $VO_{2max}$  na testu KT bočno u desnu stranu.

### 3.4.3. Mjerenje maksimalne brzine sprinta

Maksimalna brzina sprinta je izmjerena u četiri uvjeta, (i) prema naprijed (60 m), bočno (40 m) u (ii) lijevu te (iii) desnu stranu te (iv) unatrag (40 m). Randomizacija redoslijeda izvođenja sprintova je napravljena kao kod KT testova. Sprintovi su se izvodili najmanje 48 sati nakon posljednjeg testa kontinuiranog trčanja.

Izvođenju je prethodilo standardizirano zagrijavanje u trajanju od 15 minuta. Zagrijavanje je uključivalo vježbe dinamičkog istezanja, mišićne aktivacije te progresivnog ubrzanja kroz 5 intenziteta trčanja (od 50 do 90% maksimalnog intenziteta). Trčanje u zagrijavanju se izvodilo u svim smjerovima koji su se kasnije testirali. Za sve sprintove izvedena su tri ponavljanja te je za analizu iskorišten najbolji rezultat izražen u km/h. Pauza između ponavljanja (pasivno stajanje, hodanje <2km/h) je iznosila 3 minute.

Brzina sprinta je mjerena radarom (Stalker pro, Applied Concepts Inc., Richardson, Teksas, SAD) uz pripadajući programski paket. Radar postavljen na stativu (visina 1 m), 2 metra iza startne linije, te usmjeren prema ciljnoj liniji. Ispitanici su startali na zvučni signal, kada je i pokrenuto bilježenje brzine sprinta. Za testiranje svih sprintova korišten je asfaltni teren iza Sportsko dijagnostičkog centra Kineziološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.



### 3.5. Statistička obrada podataka

Normalnost distribucije je testirana Shapiro-Wilk testom, a homogenost distribucije je testirana Leuvenovim testom. Svi rezultati prikazani su kao  $AS \pm SD$ .

Jednosmjerna analiza varijance (ANOVA) za ponavljana mjerenja korištena je za usporedbu rezultata vršnih vrijednosti primitka kisika (progresivni test opterećenja, KT-natrag, KT-bočno desno i KT-bočno lijevo). U slučaju značajnog glavnog učinka, značajnost razlika između testova KT i PTO (tj. KT-NT naspram PTO, KT-BD naspram PTO i KT-BL naspram PTO) utvrđena je Tuckey *post-hoc* testom. Izračunata je relativna promjena vršnog  $VO_2$  izražena u postotku s obzirom na promatrani uvjet.

Za prikaz praktične značajnosti rezultata korišten je parametar veličine učinka (eng. *effect size*). Veličina učinka je testirana Cohenovim  $d$  indeksom uz Hedgesovu korekciju za male uzorke (Hedges i Olkin, 1985). Korištena je sljedeća formula:

$$d = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{SD_{pooled}} * \left( \frac{n - 3}{n - 2,25} \right) * \sqrt{\frac{n - 2}{n}}$$

Veličine učinka od  $<0,20$ ;  $0,20 - 0,49$ ;  $0,50 - 0,79$  i  $\geq 0,80$  smatrane su trivijalnim, malim, umjerenim i velikim učincima (Cohen, 1988).

Za testiranje razlike u frekvenciji srca te brzini trčanja dostignutoj pri 60, 70, 80, 90 i 100% maksimalnog primitka kisika u progresivnom testu opterećenja i u kontinuiranim testovima u trčanju bočno i unatrag korišten je t-test za zavisne uzorke, a za varijable koje nisu normalno distribuirane korišten je Wilcoxon test sume rangova.

Razlike u subjektivnoj procjeni opterećenja te  $SPO_t$  su analizirane Friedman ANOVA-om. Za potrebe analize parova u  $SPO_t$  između neuromuskularnog i kardiorespiratornog  $SPO_t$  je korišten Wilcoxon test sume rangova.

Razlika u brzini sprinta, te razlika u postotku od maksimalne brzine sprinta između četiri različita uvjeta izvedbe je utvrđena pomoću jednosmjerne analiza varijance (ANOVA) za ponavljana mjerenja. U slučaju značajnog glavnog učinka, usporedba rezultata brzine sprinta radila se Tuckey *post-hoc* testom.

Razina statističke značajnosti svih analiza je postavljena na  $p < 0,05$ , osim za analizu  $SPO_t$  gdje je  $p < 0,01$ . Svi podaci su obrađeni statističkim računalnim programom Statistica 14.0 (Tibco Software Inc., Palo Alto, CA, SAD). Za izradu grafičkih i tabličnih prikaza korišten je program Excel 365 (Microsoft Corporation, Redmond, WA, SAD).

#### 4. REZULTATI

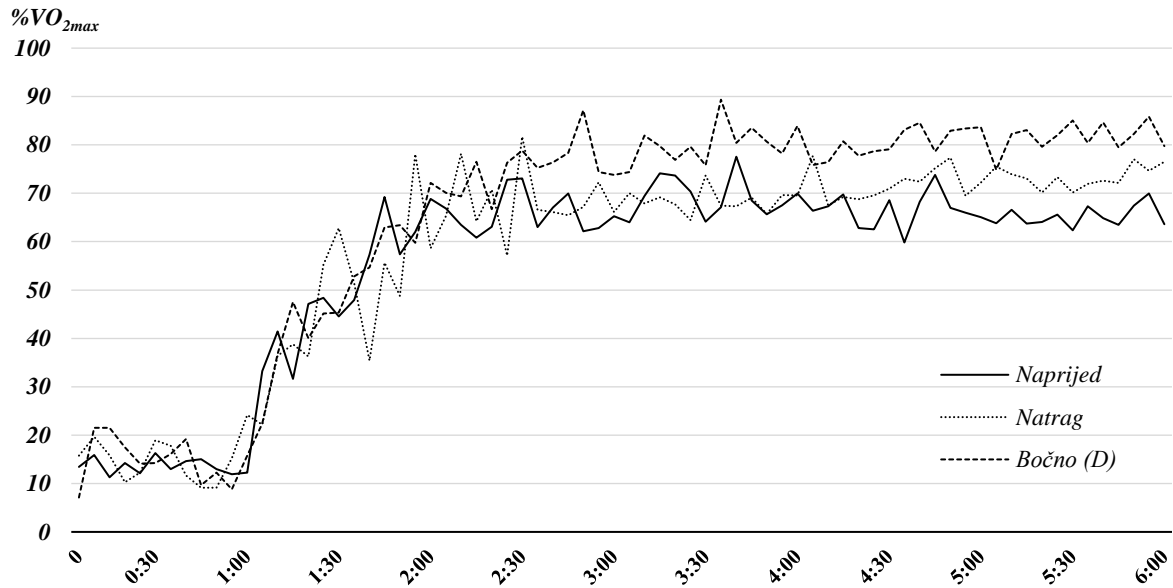
Osnovne deskriptivne vrijednosti maksimalnog primitka kisika te vršnog primitka kisika, maksimalno dostignute brzine trčanja i maksimalne frekvencije srca izmjerene progresivnim testom opterećenja i testovima kontinuiranog trčanja su prikazane u tablici 7.

**Tablica 7.** Deskriptivne vrijednosti  $VO_{2max}/VO_{2p}$ ,  $v_{max}$  te  $FS_{max}$  ostvarene u primijenjenim testovima

		<i>AS ± SD</i>	<i>min-max</i>	<i>W</i>	<i>p</i>
$VO_{2max}; VO_{2p}$ (ml/kg/min)	<i>PTO</i>	49,6 ± 4,9	43,1 - 59,0	0,92	0,130
	<i>KT-N</i>	51,5 ± 5,5	39,8 - 60,5	0,97	0,839
	<i>KT-NT</i>	46,6 ± 4,6	39,2 - 56,7	0,98	0,880
	<i>KT-BD</i>	48,6 ± 4,7	41,6 - 57,6	0,95	0,412
	<i>KT-BL</i>	47,9 ± 5,0	41,0 - 61,1	0,93	0,233
$v_{max}$ (km/h)	<i>PTO</i>	16,9 ± 1,2	14,0 - 18,5	0,93	0,181
	<i>KT-N</i>	16,1 ± 1,2	14,0 - 18,0	0,93	0,186
	<i>KT-NT</i>	10,8 ± 1,3	9,0 - 13,0	0,89	0,040
	<i>KT-BD</i>	10,0 ± 0,9	9,0 - 12,0	0,78	0,001
	<i>KT-BL</i>	10,0 ± 0,9	9,0 - 12,0	0,78	0,001
$FS_{max}$ (otk/min)	<i>PTO</i>	195,9 ± 7,8	178 - 208	0,93	0,164
	<i>KT-N</i>	188,0 ± 9,0	169 - 199	0,93	0,217
	<i>KT-NT</i>	183,4 ± 8,8	171 - 198	0,97	0,740
	<i>KT-BD</i>	187,3 ± 8,7	170 - 200	0,96	0,570
	<i>KT-BL</i>	186,5 ± 8,9	171 - 201	0,95	0,453

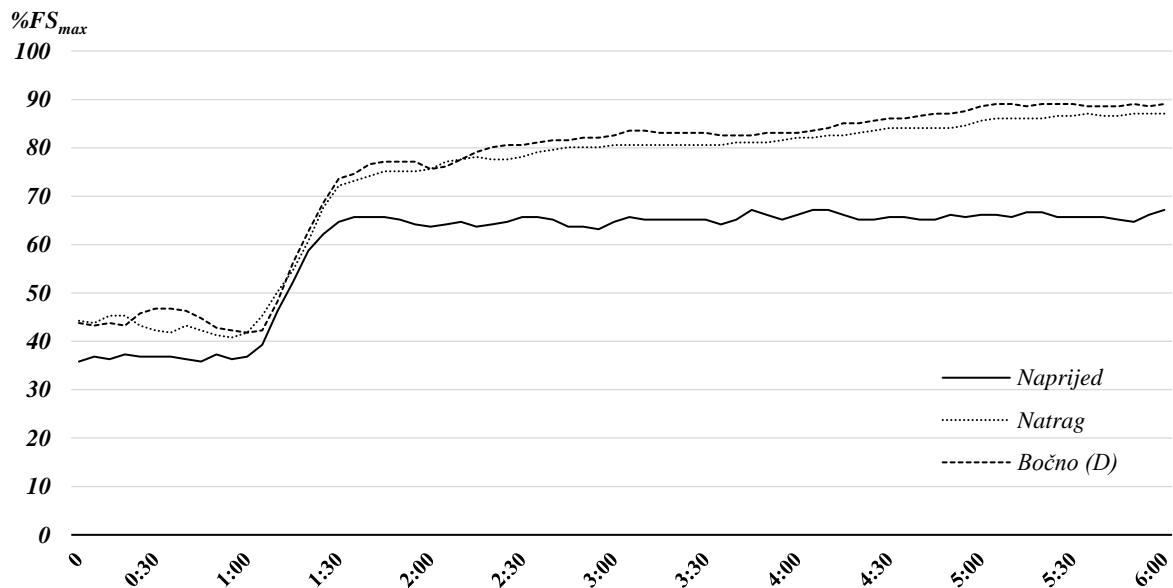
*Legenda:* AS=aritmetička sredina; SD=standardna devijacija; min=minimalna vrijednost; max=maksimalna vrijednost; W=vrijednost Shapiro-Wilk testa; p=razina statističke značajnosti za Shapiro-Wilk test;  $VO_{2max}$ =maksimalni primitak kisika;  $VO_{2p}$ =vršni primitak kisika;  $v_{max}$ =maksimalno dostignuta brzina trčanja;  $FS_{max}$ =maksimalna frekvencija srca; PTO=progresivni test opterećenja; KT-N=test kontinuiranog trčanja – naprijed; KT-NT=test kontinuiranog trčanja - unatrag; KT-BD=test kontinuiranog trčanja - bočno desno; KT-BL=test kontinuiranog trčanja - bočno lijevo

Radi jasnijeg praćenja glavnih parametara koji su promatrani u ovom istraživanju, u nastavku je prikaz vrijednosti postotka primitka kisika te postotka frekvencije srca od maksimuma za jednog ispitanika na intenzitetu od 8 km/h tijekom cijelog testa kontinuiranog trčanja naprijed, bočno u desnu stranu i unatrag (slika 4. i slika 5.).



**Slika 4.** % VO<sub>2max</sub> jednog ispitanika pri trčanju na 8 km/h u tri smjera

Legenda: %VO<sub>2max</sub>= postotak maksimalnog primitka kisika



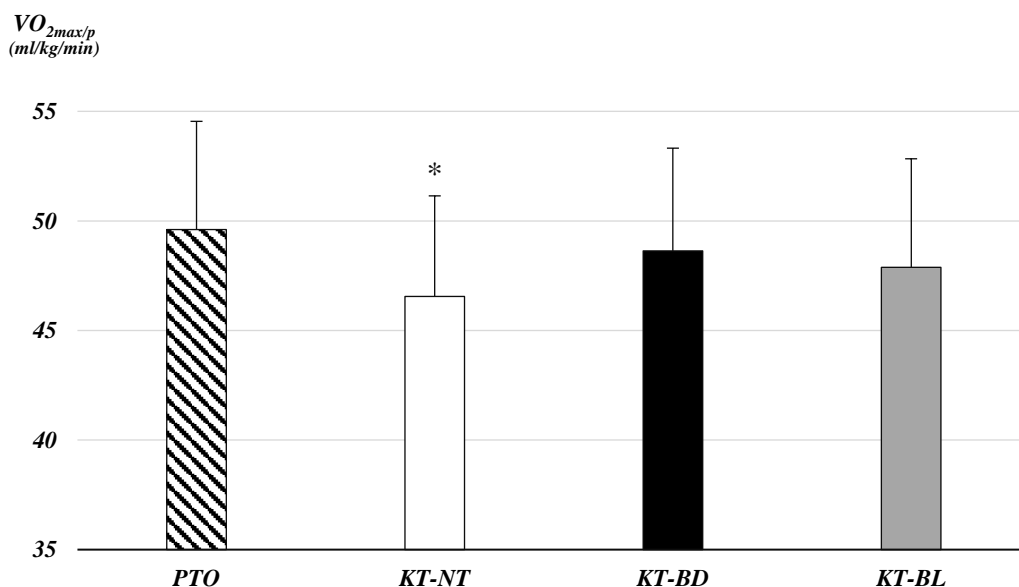
**Slika 5.** % FS<sub>max</sub> jednog ispitanika pri trčanju na 8 km/h u tri smjera

Legenda: %FS<sub>max</sub>= postotak maksimalne frekvencije srca

#### 4.1. Vršni primitak kisika

Analizom vršnog primitka kisika uočena je statistički značajna razlika ( $F=5,97$ ;  $p=0,001$ ) između  $VO_{2p}$  izmjerenih tijekom primijenjenih testova trčanja.

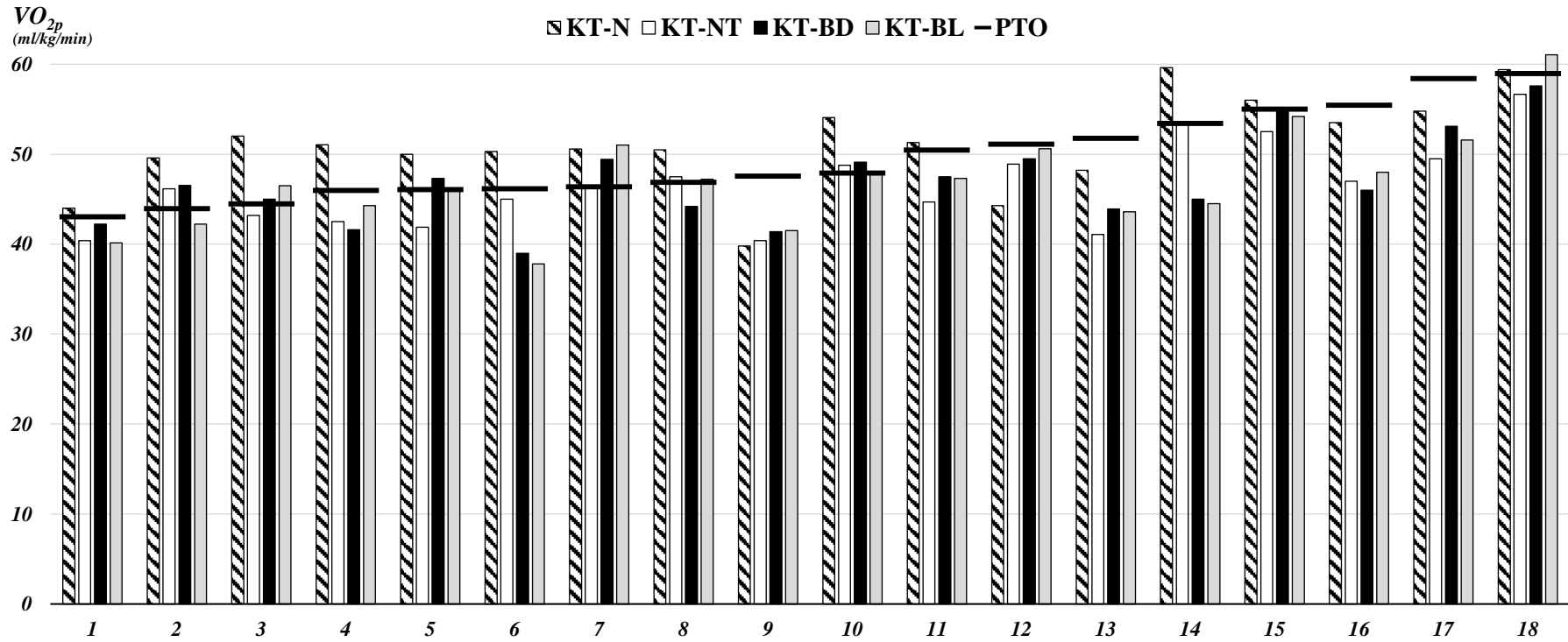
Usporedbom parova (slika 6.) utvrđena je značajna razlika između  $VO_{2max}$  dobivenog progresivnim testom opterećenja (PTO) te  $VO_{2p}$  dobivenog testom kontinuiranog trčanja (KT) unatrag ( $p=0,001$ ;  $d=0,57$ ;  $-6,0\%$ ). Usporedba  $VO_{2p}$  između PTO i KT-BD nije bila statistički značajna ( $p=0,562$ ;  $d=0,18$ ;  $-2,0\%$ ), kao ni usporedba  $VO_{2p}$  između PTO i KT-BL ( $p=0,109$ ;  $d=0,31$ ;  $-3,4\%$ ).



**Slika 6.** Vršni primitak kisika u primijenjenim testovima

*Legenda: PTO=progresivni test opterećenja; KT-NT=test kontinuiranog trčanja - unatrag; KT-BD=test kontinuiranog trčanja - bočno desno; KT-BL=test kontinuiranog trčanja - bočno lijevo; \* označava značajnu razliku ( $p<0,05$ ) u odnosu na PTO*

Individualne vrijednosti relativnog vršnog primitka kisika su prikazane na slici 7. Redoslijed ispitanika je određen prema ostvarenom rezultatu  $VO_{2max}$  u PTO.



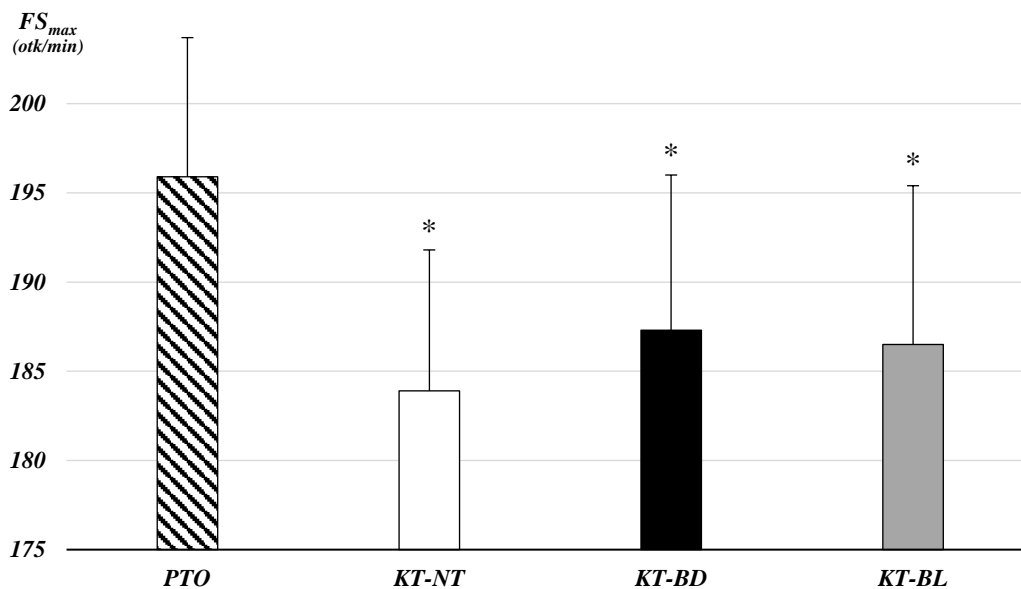
**Slika 7.** Individualne vrijednosti vršnog primitka kisika svih ispitanika u primijenjenim testovima

Legenda: PTO=progresivni test opterećenja; KT-N=test kontinuiranog trčanja – naprijed; KT-NT=test kontinuiranog trčanja - unatrag; KT-BD=test kontinuiranog trčanja - bočno desno; KT-BL=test kontinuiranog trčanja - bočno lijevo

## 4.2. Maksimalna frekvencija srca

Analizom maksimalne frekvencije srca uočena je statistički značajna razlika ( $F= 11561,27$ ;  $p=0,000$ ) između  $FS_{max}$  izmjerene tijekom primijenjenih testova trčanja.

Usporedbom parova (slika 8.) dobivena je značajna razlika između  $FS_{max}$  dobivene progresivnim testom opterećenja (PTO) te  $FS_{max}$  dobivene testom kontinuiranog trčanja (KT) unatrag ( $p=0,000$ ;  $d=1,37$ ;  $-6,4\%$ ). Usporedba  $FS_{max}$  između PTO i KT-BD ukazala je na značajnu razliku ( $p=0,000$ ;  $d=0,93$ ;  $-4,4\%$ ), kao i između PTO i KT-BL ( $p=0,000$ ;  $d=1,01$ ;  $-4,8\%$ ).



**Slika 8.** Maksimalne frekvencije srca postignute u primijenjenim testovima

*Legenda: PTO=progresivni test opterećenja; KT-NT=test kontinuiranog trčanja - unatrag; KT-BD=test kontinuiranog trčanja - bočno desno; KT-BL=test kontinuiranog trčanja - bočno lijevo; \* označava značajnu razliku ( $p<0,05$ ) u odnosu na PTO*

### 4.3. Brzine trčanja dostignute pri različitim intenzitetima

Analiza razlika između brzine trčanja u testovima kontinuiranog trčanja naprijed, bočno te natrag, pri različitim intenzitetima (60, 70, 80, 90 i 100%  $VO_{2max}$ ) dostignutim u progresivnom testu opterećenja je ukazala na statistički značajnu razliku ( $p < 0,05$ ) u svim promatranim uvjetima. Usporedba parova (KT-N↔KT-NT; KT-N↔KT-BD; KT-N↔KT-BL) je prikazana u tablici 8.

**Tablica 8.** Brzine trčanja pri intenzitetima od 60, 70, 80, 90 i 100%  $VO_{2max}$  u primijenjenim testovima KT.

$\%VO_{2max}$	<b>KT-N</b> (km/h)	<b>KT-NT</b> (km/h)	<b>KT-BD</b> (km/h)	<b>KT-BL</b> (km/h)
<b>60</b>	7,4 ± 1,0	6,2 ± 0,9*	5,8 ± 0,7*	5,5 ± 0,5*
<b>70</b>	9,1 ± 1,1	6,9 ± 1,3*	6,2 ± 1,1*	5,9 ± 1,0*
<b>80</b>	10,8 ± 1,4	8,1 ± 1,2*	7,7 ± 1,3*	7,0 ± 0,9*
<b>90</b>	12,8 ± 1,6	9,8 ± 1,1*	8,5 ± 1,2*	8,3 ± 1,0*
<b>100</b>	14,7 ± 1,6	10,8 ± 1,3*	9,8 ± 1,0*	9,5 ± 0,9*

Legenda:  $\%VO_{2max}$ =postotak maksimalnog primitka kisika ostvaren u progresivnom testu opterećenja; KT-N=test kontinuiranog trčanja - naprijed; KT-NT=test kontinuiranog trčanja - unatrag; KT-BD=test kontinuiranog trčanja - bočno desno; KT-BL=test kontinuiranog trčanja - bočno lijevo. \* označava statistički značajne razlike uz  $p < 0,05$  između KT-N i svih ostalih smjerova



#### 4.4. Frekvencije srca dostignute pri različitim intenzitetima

Analiza razlika između frekvencije srca u testovima kontinuiranog trčanja naprijed, bočno te natrag pri različitim intenzitetima (60, 70, 80, 90 i 100%  $VO_{2max}$ ) dostignutim u progresivnom testu opterećenja je ukazala na statistički značajnu razliku ( $p < 0,05$ ) na intenzitetima od 60, 70 i 80%  $VO_{2max}$ . Usporedba parova (KT-N ↔ KT-NT; KT-N ↔ KT-BD; KT-N ↔ KT-BL) je prikazana u tablici 9.

**Tablica 9.** Frekvencije srca pri intenzitetima od 60, 70, 80, 90 i 100%  $VO_{2max}$  u primijenjenim testovima KT.

<b>%<math>VO_{2max}</math></b>	<b><i>KT-N</i></b> (otk/min)	<b><i>KT-NT</i></b> (otk/min)	<b><i>KT-BD</i></b> (otk/min)	<b><i>KT-BL</i></b> (otk/min)
<b>60</b>	137,2 ± 15,1	146,7 ± 14,9*	149,6 ± 14,2*	150,0 ± 12,4*
<b>70</b>	149,3 ± 13,3	158,0 ± 17,4*	156,8 ± 18,5	155,1 ± 16,7
<b>80</b>	161,9 ± 12,4	169,5 ± 15,2*	171,0 ± 16,4*	166,6 ± 15,3
<b>90</b>	176,6 ± 9,8	176,5 ± 11,7	179,1 ± 15,0	177,3 ± 15,9
<b>100</b>	184,4 ± 9,8	183,4 ± 8,8	187,4 ± 7,8	186,7 ± 8,4

*Legenda: % $VO_{2max}$ =postotak maksimalnog primitka kisika ostvaren u progresivnom testu opterećenja; KT-N=test kontinuiranog trčanja - naprijed; KT-NT=test kontinuiranog trčanja - unatrag; KT-BD=test kontinuiranog trčanja - bočno desno; KT-BL=test kontinuiranog trčanja - bočno lijevo. \* označava statistički značajne razlike uz  $p < 0,05$  u odnosu na KT-N*

#### 4.5. Razlika u primitku kisika između različitih smjerova trčanja

Utvrđeno je da postoji statistički značajna razlika u vrijednostima relativnog primitka kisika između četiri uvjeta u kojima se izvodio kontinuirani test trčanja. Na svim brzinama najniža vrijednost VO<sub>2</sub> je ostvarena u KT prema naprijed (tablica 10.).

**Tablica 10.** Vrijednosti VO<sub>2</sub> pri različitim intenzitetima u primijenjenim testovima.

<b>Brzina</b> (km/h)	<b>KT-N</b> (ml/kg/min)	<b>KT-NT</b> (ml/kg/min)	<b>KT-BD</b> (ml/kg/min)	<b>KT-BL</b> (ml/kg/min)
<b>5</b> (n=18)	22,3 ± 4,1 <sup>b;c;d</sup>	30,8 ± 3,9 <sup>a;d</sup>	33,0 ± 3,3 <sup>a;b</sup>	34,2 ± 3,1 <sup>a;b</sup>
<b>6</b> (n=18)	25,6 ± 2,4 <sup>b;c;d</sup>	33,4 ± 2,9 <sup>a;c;d</sup>	35,5 ± 2,9 <sup>a;b</sup>	36,4 ± 3,5 <sup>a;b</sup>
<b>7</b> (n=18)	28,6 ± 1,9 <sup>b;c;d</sup>	35,3 ± 4,2 <sup>a;c;d</sup>	39,4 ± 3,2 <sup>a;b</sup>	40,2 ± 3,3 <sup>a;b</sup>
<b>8</b> (n=18)	30,9 ± 2,4 <sup>b;c;d</sup>	39,0 ± 4,7 <sup>a;c;d</sup>	43,2 ± 3,8 <sup>a;b</sup>	43,3 ± 3,7 <sup>a;b</sup>
<b>9</b> (n=18)	34,5 ± 3,5 <sup>b;c;d</sup>	42,5 ± 4,5 <sup>a;c;d</sup>	45,8 ± 3,9 <sup>a;b</sup>	46,4 ± 4,4 <sup>a;b</sup>
<b>10</b> (n=18)	38,2 ± 3,1 <sup>b;c;d</sup>	45,0 ± 3,9 <sup>a</sup>	48,1 ± 6,0 <sup>a;b</sup>	47,8 ± 6,4 <sup>a;b</sup>
<b>11</b> (n=18)	42,0 ± 3,0 <sup>b;c;d</sup>	46,1 ± 4,8 <sup>a;c;d</sup>	53,4 ± 4,1 <sup>a;b</sup>	52,4 ± 7,6 <sup>a;b</sup>

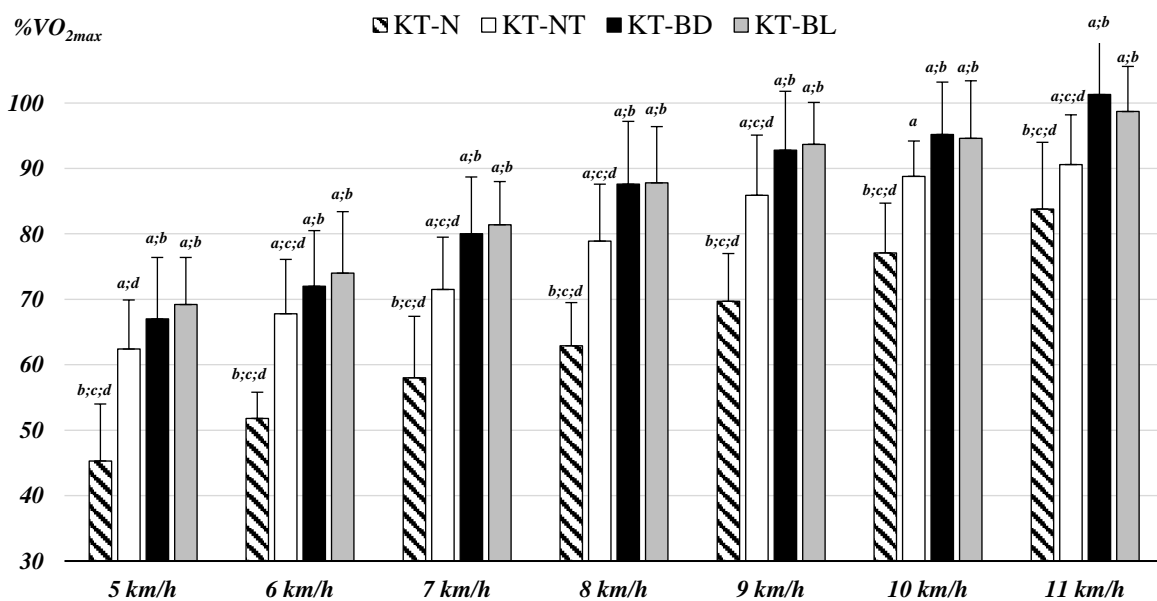
Legenda: KT-N=test kontinuiranog trčanja – naprijed; KT-NT=test kontinuiranog trčanja - unatrag; KT-BD=test kontinuiranog trčanja - bočno desno; KT-BL=test kontinuiranog trčanja - bočno lijevo. <sup>a</sup> označava statistički značajne razlike uz  $p < 0,05$  između trčanja naprijed i ostalih smjerova; <sup>b</sup> označava statistički značajne razlike uz  $p < 0,05$  između trčanja natrag i ostalih smjerova; <sup>c</sup> označava statistički značajne razlike uz  $p < 0,05$  između trčanja bočno desno i ostalih smjerova; <sup>d</sup> označava statistički značajne razlike uz  $p < 0,05$  između trčanja bočno lijevo i ostalih smjerova

Pojedinačnom analizom na svakoj brzini trčanja uviđa se da na 5 i 6 km/h postoji statistički značajna razlika ( $F=2483,18$ ,  $p=0,000$  za 5 km/h;  $F=4093,83$ ,  $p=0,000$  za 6 km/h). *Post-hoc* analizom vidljivo je da je prisutna značajna razlika između trčanja prema naprijed i svih ostalih smjerova, te između trčanja bočno lijevo i unatrag na intenzitetu od 5 km/h, dok na 6 km/h nema statistički značajne razlike između trčanja bočno u lijevu i desnu stranu.

Pri brzini trčanja od 7, 8 i 9 km/h postoji statistički značajna razlika ( $F= 4682,84$ ,  $p=0,000$  za 7 km/h;  $F=2866,42$ ,  $p=0,000$  za 8 km/h;  $F=2591,17$ ,  $p=0,000$  za 9 km/h). *Post-hoc* analizom je utvrđeno da na sva tri spomenuta intenziteta postoji statistički značajna razlika između svih smjerova, osim između trčanja bočno u lijevu i desnu stranu.

Pri brzini trčanja od 10 km/h zabilježena je statistički značajna razlika ( $F=1162,39$ ,  $p=0,000$ ) u vrijednostima relativnog primitka kisika, a *post-hoc* analizom utvrđena je statistički značajna razlika između trčanja prema naprijed i svih ostalih smjerova, dok nema značajne razlike u usporedbi preostalih parova.

Analizom postotnih vrijednosti  $VO_{2max}$ , na svim intenzitetima vrijednosti ostvarene u testu KT prema naprijed, su statistički značajno niže u odnosu na ostale testove kontinuiranog trčanja (slika 9).



**Slika 9.** Postotne vrijednosti vršnog  $VO_2$  izmjerene u testovima kontinuiranog trčanja

*Legenda:* KT-N=test kontinuiranog trčanja – naprijed; KT-NT=test kontinuiranog trčanja - unatrag; KT-BD=test kontinuiranog trčanja - bočno desno; KT-BL=test kontinuiranog trčanja - bočno lijevo. <sup>a</sup> označava statistički značajne razlike uz  $p<0,05$  između trčanja naprijed i ostalih smjerova; <sup>b</sup> označava statistički značajne razlike uz  $p<0,05$  između trčanja natrag i ostalih smjerova; <sup>c</sup> označava statistički značajne razlike uz  $p<0,05$  između trčanja bočno desno i ostalih smjerova; <sup>d</sup> označava statistički značajne razlike uz  $p<0,05$  između trčanja bočno lijevo i ostalih smjerova

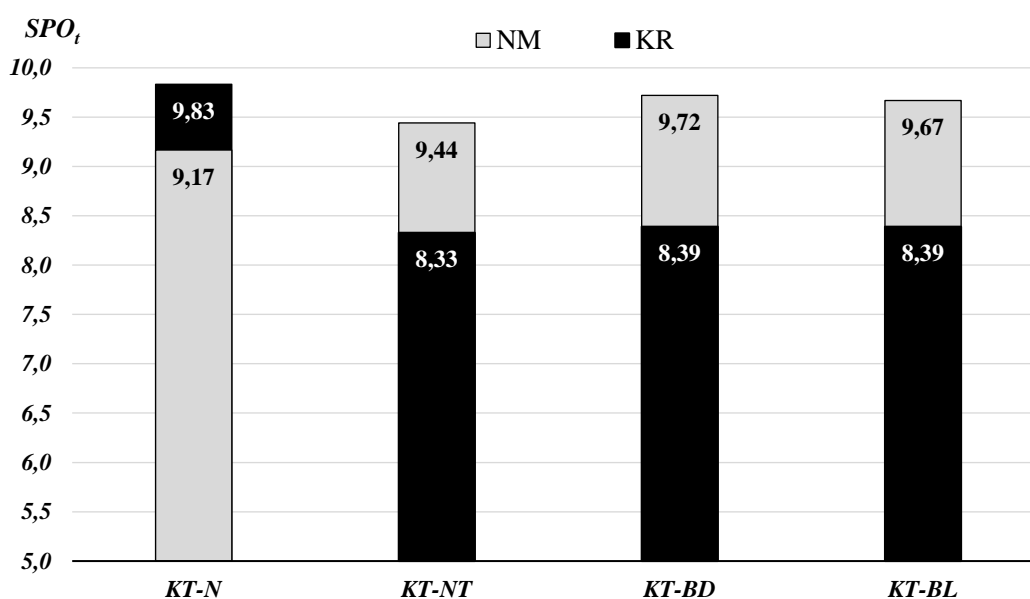
Pri brzinama od 5 i 6 km/h uočena je statistički značajna razlika ( $F= 1539,99$ ,  $p=0,000$  za 5 km/h;  $F=1567,14$ ,  $p=0,000$  za 6 km/h) u postotnim vrijednostima  $VO_{2max}$ . Tukey *post-hoc* testom je provedeno višestruko uspoređivanje te je utvrđeno da postoji značajna razlika između trčanja naprijed i svih drugih promatranih uvjeta, te trčanja natrag i bočno u lijevu stranu.

Pri brzinama od 7, 8, 9 i 10 km/h također je uočena statistički značajna razlika ( $F= 2910,30$ ,  $p=0,000$  za 7 km/h;  $F=1786,25$ ,  $p=0,000$  za 8 km/h;  $F= 2434,9$ ,  $p=0,000$  za 9 km/h;  $F=2360,09$ ,  $p=0,000$  za 10 km/h) u postotnim vrijednostima  $VO_{2max}$ . Tukey *post-hoc* testom je provedeno višestruko uspoređivanje te je utvrđeno da postoji statistički značajna razlika između svih

promatranih uvjeta, osim između trčanja bočno u lijevu i desnu stranu. Ista analiza je na brzini od 10 km/h pokazala da postoji statistički značajna razlika između trčanja prema naprijed i svih ostalih uvjeta.

#### 4.6. Pokazatelji subjektivne procjene opterećenja

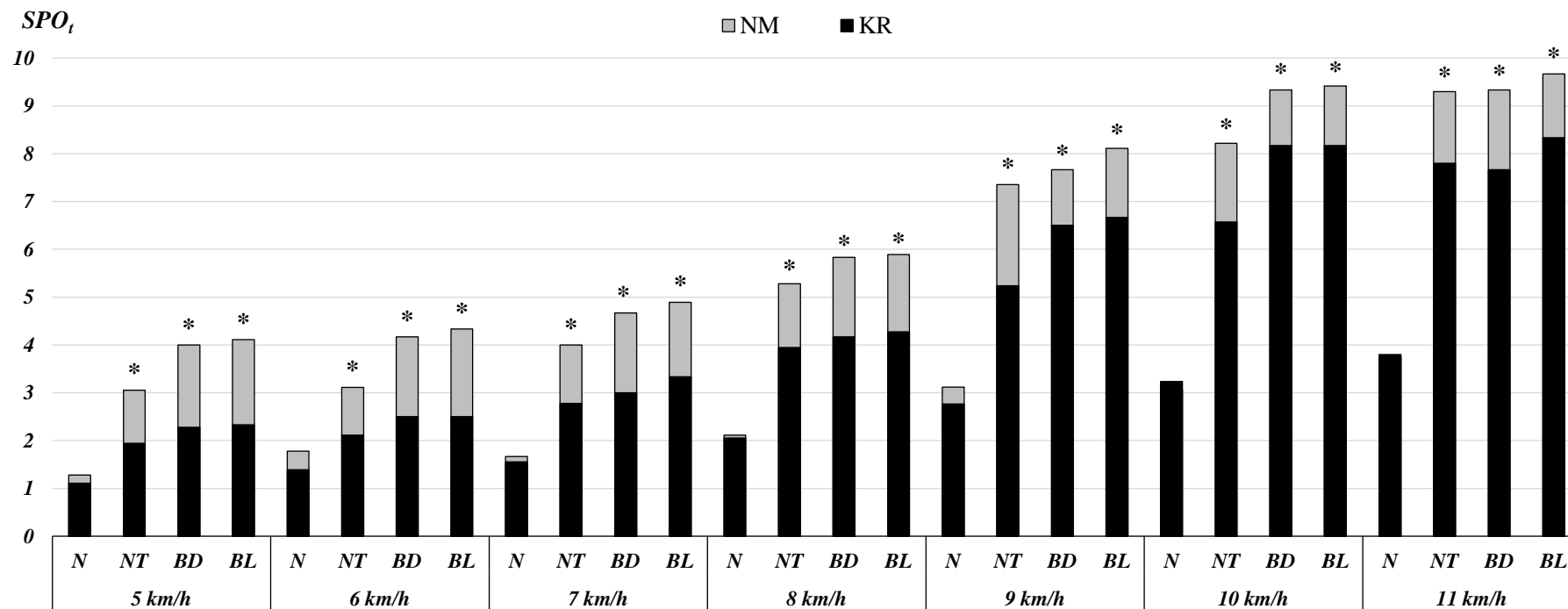
Usporedba percepcije neuromuskularnog (NM) i kardiorespiratornog (KR) opterećenja treninga na najvišoj brzini trčanja ukazuje da pri trčanju prema naprijed (slika 10.), uz razinu značajnosti  $p < 0,01$ , nema značajne razlike u razini opterećenja ( $p = 0,020$ ;  $d = 0,75$ ), dok je u ostalim smjerovima značajno veća razina neuromuskularnog opterećenja (natrag –  $p = 0,005$ ;  $d = 0,67$ ; bočno desno –  $p = 0,002$ ;  $d = 0,99$ ; bočno lijevo –  $p = 0,003$ ;  $d = 0,94$ ).



**Slika 10.** SPO<sub>t</sub> pri maksimalno dostignutoj brzini u svim smjerovima

*Legenda:* NM= neuromuskularni subjektivni osjećaj opterećenja treninga; KR=kardiorespiratorni subjektivni osjećaj opterećenja treninga; KT-N=test kontinuiranog trčanja – naprijed; KT-NT=test kontinuiranog trčanja - unatrag; KT-BD=test kontinuiranog trčanja - bočno desno; KT-BL=test kontinuiranog trčanja - bočno lijevo; \*=statistički značajna razlika ( $p < 0,01$ ) između NM i KR

Rezultati ukazuju da postoji statistički značajna razlika u vrijednostima subjektivnog osjećaja opterećenja treninga između četiri protokola testiranja. Na svim brzinama najniža vrijednost SPO<sub>t</sub> je zabilježena u KT prema naprijed (slika 11). Usporedbom parova zabilježena je značajna razlika između KR i NM SPO<sub>t</sub> tijekom trčanja bočno u obje strane te trčanja prema natrag na svim intenzitetima, jedino tijekom trčanja prema naprijed nema značajne razlike između KR i NM SPO<sub>t</sub>.



**Slika 11.** Razlike između  $SPO_t$  u primijenjenim testovima

*Legenda: NM= neuromuskularni subjektivni osjećaj opterećenja treninga; KR=kardiorespiratorni subjektivni osjećaj opterećenja treninga; N=test kontinuiranog trčanja - naprijed; NT=test kontinuiranog trčanja - unatrag; BD=test kontinuiranog trčanja - bočno desno; BL=test kontinuiranog trčanja - bočno lijevo; \*značajna razlika između NM i KR  $SPO_t$*

Pojedinačnom analizom subjektivne procjene opterećenja (SPO) na svakoj brzini trčanja (tablica 11) vidljivo je da su najniže razine zabilježene tijekom trčanja prema naprijed. SPO tijekom trčanja prema naprijed se razlikuje na svim brzinama sa svim preostalim smjerovima trčanja. SPO tijekom trčanja prema natrag je značajno niži od trčanja bočno u desnu stranu na brzinama od 6, 7, 8 i 10 km/h, a od trčanja bočno u lijevu stranu na brzinama od 6, 7 i 9 km/h.

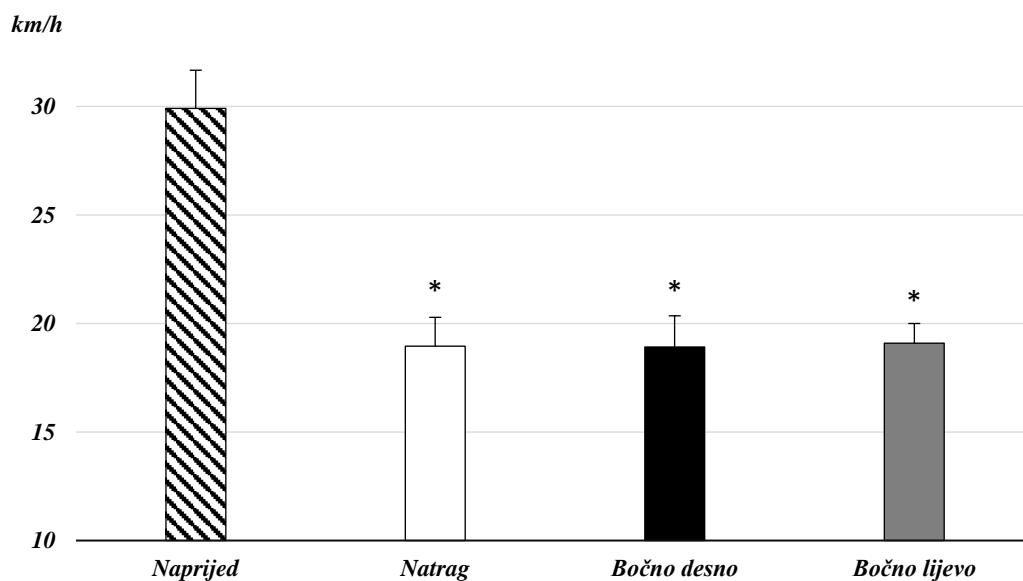
**Tablica 11.** Vrijednosti SPO pri različitim brzinama u primijenjenim testovima.

<b>Brzina</b> (km/h)	<b>KT-N</b> (ml/kg/min)	<b>KT-NT</b> (ml/kg/min)	<b>KT-BD</b> (ml/kg/min)	<b>KT-BL</b> (ml/kg/min)
<b>5</b> (n=18)	1,2 ± 0,4 <sup>b;c;d</sup>	2,6 ± 0,6 <sup>a;c</sup>	3,4 ± 1,1 <sup>a;b</sup>	3,1 ± 1,2 <sup>a</sup>
<b>6</b> (n=18)	1,7 ± 0,7 <sup>b;c;d</sup>	3,1 ± 1,1 <sup>a;c;d</sup>	3,8 ± 1,4 <sup>a;b</sup>	3,7 ± 1,2 <sup>a;b</sup>
<b>7</b> (n=18)	1,8 ± 0,7 <sup>b;c;d</sup>	3,7 ± 1,1 <sup>a;c;d</sup>	4,4 ± 1,2 <sup>a;b</sup>	4,5 ± 1,2 <sup>a;b</sup>
<b>8</b> (n=18)	2,7 ± 1,0 <sup>b;c;d</sup>	5,3 ± 2,0 <sup>a</sup>	5,9 ± 1,6 <sup>a</sup>	5,8 ± 1,5 <sup>a</sup>
<b>9</b> (n=18)	3,4 ± 1,0 <sup>b;c;d</sup>	7,2 ± 2,2 <sup>a;d</sup>	7,9 ± 1,8 <sup>a</sup>	8,4 ± 1,9 <sup>a;b</sup>
<b>10</b> (n=18)	3,9 ± 0,9 <sup>b;c;d</sup>	8,4 ± 1,9 <sup>a;c</sup>	9,3 ± 1,2 <sup>a;b</sup>	9,2 ± 1,4 <sup>a</sup>
<b>11</b> (n=18)	4,6 ± 1,2 <sup>b;c;d</sup>	9,2 ± 1,5 <sup>a</sup>	10,0 ± 0 <sup>a</sup>	10,0 ± 0 <sup>a</sup>

Legenda: KT-N=test kontinuiranog trčanja – naprijed; KT-NT=test kontinuiranog trčanja - unatrag; KT-BD=test kontinuiranog trčanja - bočno desno; KT-BL=test kontinuiranog trčanja - bočno lijevo. <sup>a</sup> označava statistički značajne razlike uz  $p < 0,05$  između trčanja naprijed i ostalih smjerova; <sup>b</sup> označava statistički značajne razlike uz  $p < 0,05$  između trčanja natrag i ostalih smjerova; <sup>c</sup> označava statistički značajne razlike uz  $p < 0,05$  između trčanja bočno desno i ostalih smjerova; <sup>d</sup> označava statistički značajne razlike uz  $p < 0,05$  između trčanja bočno lijevo i ostalih smjerova

#### 4.7. Sprintovi u različitim smjerovima trčanja

Statistički značajna razlika ( $F=311,55$ ;  $p=0,000$ ) je uočena za vrijednosti brzine sprinta između različitih smjerova trčanja. Usporedbom parova utvrđena je značajna razlika između svih promatranih vrijednosti, odnosno sprinta bočno u desnu stranu ( $d=6,85$ ;  $p=0,000$ ), sprinta bočno u lijevu stranu ( $d=7,75$ ;  $p=0,000$ ) te sprinta unatrag ( $d=7,0$ ;  $p=0,000$ ) u odnosu na sprint prema naprijed (slika 12).



**Slika 12.** Brzina sprinta u različitim smjerovima

*Legenda: \* označava statistički značajne razlike uz  $p < 0,05$  u odnosu na trčanje naprijed.*



Razlike između prosječnih vrijednosti brzine sprinta i maksimalne brzine koje su ispitanici dostizali tijekom testova kontinuiranog trčanja u svim promatranim smjerovima je prikazana u tablici 12. Utvrđena je značajna razlika u vršnoj dostignutoj brzini u KT između trčanja prema naprijed i svih ostalih smjerova. Analiza rezultata anaerobne rezerve brzine također ukazuje da postoji značajna razlika u usporedbi vrijednosti između trčanja naprijed i ostalih smjerova.

**Tablica 12.** Vrijednosti i omjeri maksimalnih brzina trčanja u primijenjenim testovima

	<i>Naprijed</i>	<i>Natrag</i>	<i>Bočno desno</i>	<i>Bočno lijevo</i>
$v_{max}$ (km/h)	29,9 ± 1,8	19,0 ± 1,3*	18,9 ± 1,4*	19,1 ± 0,9*
$\%v_{max}N$	-	63,6 ± 5,7	63,4 ± 5,4	64,0 ± 4,4
$v_{max}KT$ (km/h)	16,1 ± 1,2	10,8 ± 1,3*	10,0 ± 0,9*	10,0 ± 0,9*
$\%v_{max}$	53,9 ± 5,0	56,0 ± 6,6	53,0 ± 5,3	52,4 ± 4,9
<b>ARB</b> (km/h)	13,9 ± 2,1	8,4 ± 1,5*	8,9 ± 1,4*	9,1 ± 1,1*

*Legenda:  $v_{max}$ =maksimalna brzina sprinta;  $v_{max}KT$ =maksimalna dostignuta brzina u testu kontinuiranog trčanja;  $\%v_{max}$ =postotak dosegnute maksimalne brzine sprinta tijekom testa kontinuiranog trčanja;  $\%v_{max}N$ =postotak dostignute brzine trčanja u testu kontinuiranog trčanja sa maksimalnom brzinom sprinta prema naprijed; ARB - anaerobna rezerva brzine; \*=statistički značajna razlika u odnosu na trčanje naprijed*

## 5. RASPRAVA

### 5.1. Analiza maksimalnog primitka kisika

Trčanje u različitim smjerovima je sastavni dio kretanja u mnogim timskim sportovima ali u prostoru analize metaboličkih zahtjeva takvih oblika kretanja ostaje mnogo neodgovorenih pitanja. U ovom istraživanju testirani su kardiorespiratorni zahtjevi trčanja unaprijed, unatrag, bočno desno i bočno lijevo. Vrijednosti  $VO_{2p}$  kod trčanja koje nije prema naprijed utvrđene su pomoću testova kontinuiranog trčanja (KT) u trajanju od pet minuta.

Ovo je prvo istraživanje u kojem se testira mogućnost dostizanja vrijednosti  $VO_{2max}$  tijekom trčanja bočno s toga nije moguća direktna usporedba sa prethodnim istraživanjima (tablica 4.). No, radi kvalitetnije interpretacije i lakšeg razumijevanja rezultata važno je istaknuti odrednice energetske potrošnje tijekom trčanja. Naime, poznato je da je energetski zahtjev trčanja direktno povezan sa volumenom aktivnih mišića koji su direktno vezani uz omogućavanje sportašu da izvršava željenu aktivnost (Wright i Weyand, 2001), sposobnost tetiva da pohranjuju i koriste mehaničku energiju (Kram i Taylor, 1990) te naposljetku brzina kojom se može primjenjivati sila tijekom kontakta stopala i podloge (Wright i Weyand, 2001).

Glavni nalaz ovog istraživanja ukazuje da prva hipoteza ne može biti u potpunosti prihvaćena jer je utvrđena statistički značajna razlika u analizi  $VO_{2p}$  između vrijednosti dobivenih PTO i testovima KT prema natrag, dok nema statistički značajne razlike između vrijednosti PTO i KT bočno desno i bočno lijevo (slika 6.).

Usporedba između vrijednosti  $VO_{2p}$  pri PTO i KT-BD ukazuje da je  $VO_{2p}$  u prosjeku veći za 2,0% ( $98,0 \pm 7,5\% VO_{2max}$ ) u odnosu na vrijednosti iz kontinuiranog testa. Veličina učinka ukazuje da se razlika između ova dva protokola se može smatrati trivijalnom ( $d=0,18$ ). Vrlo sličan rezultat je ostvaren i u analizi razlike između  $VO_{2p}$  iz PTO i KT-BL, gdje je prosječni vršni primitak veći u PTO za 3,2% ( $96,6 \pm 7,8\% VO_{2max}$ ) uz malu veličinu učinka ( $d=0,31$ ). Utvrđena je statistički značajna razlika samo između vrijednosti  $VO_{2p}$  ostvarenih u testovima KT-NT i PTO, no ta je razlika umjerena ( $d=0,57$ ) te u prosjeku iznosi 6,0% ( $94,0 \pm 6,7\% VO_{2max}$ ). S obzirom na to da je primarni cilj ove disertacije bio usporedba dosega maksimalnih vrijednosti primitka kisika između PTO i vrijednosti koje se ostvaruju u testovima KT tijekom

trčanja bočno i unatrag, važno je istaknuti da nema statistički značajne razlike između trčanja bočno u oba smjera i PTO (slika 6.).

Ovakvi rezultati ukazuju da se visok postotak (>95%) primitka kisika može ostvariti bočnim trčanjem, što je vrlo važna informacija za programiranje treninga izdržljivosti. Razlike između postotka maksimalnih vrijednosti, ukazuju da se  $VO_{2p}$  u trčanju bočno (desno i lijevo) i  $VO_{2max}$  iz KF1 testa u prosjeku razlikuju svega 2,0-3,4%, što je unutar standardne pogreške mjerenja mjernog instrumenta (SEE 2,3 mlO<sub>2</sub>/kg/min) (Nieman i suradnici, 2013).

Prilikom interpretacije ovih rezultata, važno je uzeti u obzir činjenicu da se uspoređuju vrijednosti koje su ostvarene kroz dva različita protokola, protokol progresivnog opterećenja sa jedne strane (PTO) te protokol fiksnog opterećenja (KT). Ovo je važno za napomenuti jer je poznato da je  $VO_{2p}$ , između ostalog, ovisan i o protokolu koji se provodi (Taylor i suradnici, 1955), te da postoje individualne razlike u reakciji na različiti podražaj (Mann i suradnici, 2014).

Utvrđene razlike u vrijednostima izmjerenog  $VO_{2p}$  se mogu interpretirati, na temelju dosadašnjih spoznaja (Conti, 2009; Handford i Srinivasan, 2014; Kuntze, 2008; Yamashita, 2014), razlikama u mišićnoj aktivaciji uzrokovanoj promjenama u biomehaničkim zahtjevima trčanja bočno i unatrag. Iako je na temelju dosadašnjih istraživanja jasno da postoje razlike u razini mišićne aktivacije tijekom trčanja prema naprijed i bočno (Getchell i Whitall, 2004; Kuntze i suradnici, 2009; Yamashita i suradnici, 2017), nije utvrđena razlika u maksimalnom primitku kisika. Jedan od faktora koji je utjecao na ovakav rezultat je i niža razina ekonomičnosti kretanja tijekom trčanja bočno, što je rezultiralo većom potrošnjom kisika na manjim brzinama trčanja. Poznato je da niža razina ekonomičnosti kretanja prema naprijed uzrokuje veću razinu energetske potrošnje pri istom intenzitetu (Barnes i Kilding, 2015). Naime, tijekom trčanja prema naprijed uključeni dijelovi mišićno-tetivnog sustava su vrlo ekonomični zbog same građe mišića donjih ekstremiteta. Mišićje uključeno u trčanje bočno, abduktori (dominantno *m. gluetus minimus* i *medius* te *tensor fascie latae*), aduktori (dominantno *m. pectinesu*, *gracilis*, *adductor longus*, *brevis* et *magnus*) u zglobovima kuka ima nižu razinu sposobnosti pohranjivanja i iskorištavanja elastične mišićne energije. Navedeno mišićje je značajno manjeg volumena u usporedbi sa mišićima koji su dominantni u pokretu prema naprijed. Drugačiji način aktivacije mišića tijekom kretanja automatski postavlja pitanje i o razini usvojenosti tog novog motoričkog znanja. Iako su svi ispitanici uspješno prošli kroz

edukacije u trčanju bočno i unatrag, vjerojatno postoji određena razlika u samoj tehnici takvog trčanja između ispitanika. No, logično je za pretpostaviti da je i tehnika trčanja prema naprijed različita između ispitanika, iako vjerojatno u značajno manjoj mjeri nego kod trčanja bočno. Prilikom trčanja većim intenzitetom, vjerojatno je prisutan i određeni strah od ozljede, jer trčanje bočno i unatrag nije u istoj mjeri prirodna kretnja kao trčanje prema naprijed.

Analizom rezultata utvrđeno je da se razina  $VO_{2p}$  ostvarena u trčanju unatrag razlikuje od vrijednosti ostvarenih KF1 protokolom, odnosno pri uobičajenom trčanju prema naprijed te da je u prosjeku manja za 6,1%. Analiza veličine učinka ukazuje da je razlika u  $VO_{2p}$  između ova dva protokola umjerena. Taj rezultat nije u skladu sa rezultatima jedinog dostupnog istraživanja koje je analiziralo vrijednosti  $VO_2$  pri maksimalnom intenzitetu kojoj je razlika u  $VO_{2max}$  između PTO prema naprijed i PTO prema natrag bila gotovo 10 ml/kg/min odnosno približno 20% u korist trčanja prema naprijed (Flynn i suradnici, 1994). No, važno je istaknuti da je u spomenutom istraživanju korišten drugačiji protokol za PTO. Naime, ispitanici su na početku PTO za kretanje unatrag hodali brzinom od 7,24 km/h (4,5 mph), te se svakih minutu podizao nagib pokretnog saka za 1% dok je brzina kretanja ostala konstantna.

Kod visokog intenziteta pri trčanju unatrag, zabilježen je porast u frekvenciji koraka u odnosu na trčanje unaprijed (Conti, 2009; Flynn i suradnici, 1994; Wright i Weyand, 2001). No, kada se frekvencija koraka izjednači između kretanja natrag i naprijed, i dalje se uočava povećanje u potrošnji kisika od otprilike 25% (Conti, 2009). Ova zapažanja sugeriraju da skraćenje vremena kontakta sa podlogom te smanjenje učinkovitosti mišića opružaća koljena (koju imaju tijekom trčanja prema naprijed) povećava metabolički zahtjev savladavanja sile reakcije podloge tijekom trčanja unatrag (Conti, 2009). U prilog povećanom zahtjevu za  $VO_2$  ide i činjenica da je trčanje unatrag značajno manje ovisno o ciklusu skraćivanja i izduživanja mišića zbog građe mišićno-tetivnog sustava donjih ekstremiteta (Cavagna i suradnici, 2011).

Za razumijevanje glavnih nalaza ovog istraživanja potrebno je uzeti u obzir uzorak ispitanika, odnosno njihovo stanje u kontekstu razine treniranosti. Ispitanici su opisani kao rekreativci (McKay i suradnici, 2022), te je to moglo direktno utjecati na ostvarene rezultate. Naime, ako se promotre rezultati sa slike 7. vidljivo je da su gotovo svi ispitanici koji su imali nešto niže vrijednosti  $VO_{2max}$  (do ~50 ml/kg/min) ostvarili vrlo visoke relativne vrijednosti  $VO_2$  u uvjetima trčanja koje nije bilo prema naprijed. S druge strane, ispitanici kod kojih je zabilježen  $VO_{2max}$  iznad ~50 ml/kg/min, u tri (od ukupno 9) slučaja su imali zabilježene osjetno

niže vrijednosti  $VO_{2p}$  (~10-15%) u uvjetima trčanja bočno i unatrag. Ovakvi rezultati sugeriraju da na  $VO_{2p}$  za trčanja koja nisu prema naprijed utječe razina aerobne izdržljivosti. Nadalje, kao što je prethodno spomenuto prilikom interpretacije rezultata bočnog trčanja, sama složenost kretne strukture pojedinog uvjeta trčanja može biti ograničavajući faktor. Preporuka je u budućim istraživanjima utvrditi mogućnost dostizanja  $VO_{2p}$  u skupinama ispitanika koje su na različitim razinama izdržljivosti te različitim razinama usvojene tehnike kretanja koje nije prema naprijed.

U kontekstu dostizanja  $VO_{2max}$ , zanimljivo je promotriti distribuciju  $SPO_t$  pri vršnim brzinama za svaki smjer trčanja (slika 10). Vidljivo je da su zabilježene značajno više vrijednosti za neuromuskularnu („noge“) razinu opterećenja kod trčanja bočno i prema natrag, dok je pri trčanju prema naprijed viša vrijednost  $SPO_t$  zabilježena za kardiorespiratorno opterećenje („disanje“). Rezultati ukazuju da je percepcija opterećenja znatno više usmjerena prema opterećenju doživljenom kao posljedicu visoke brzine kretanja i nemogućnosti adekvatnog odgovora, te su ispitanici to navodili kao jedan od razloga prekida testa. Rezultati sugeriraju da je uz metabolička ograničenja važno analizirati i perceptivna ograničenja takvih oblika kretanja, odnosno postavlja se pitanje koliko dugo bi mogli visoko trenirani ispitanici trčati ovim smjerom i je li moguće kod njih očekivati da nema značajne razlike u  $VO_{2max}$  kod trčanja prema naprijed i bočno. Vjerojatan razlog zbog čega ispitanici prijavljuju veću razinu  $SPO_t$  je u tome što je zastupljeno značajno biomehaničko ograničenje (visoka frekvencija koraka, manje vrijeme kontakta s podlogom, „neekonomična“ mišićna aktivacija) (Getchell i Whitall, 2004; Kuntze i suradnici, 2009; Yamashita i suradnici, 2017; Conti, 2009; Flynn i suradnici, 1994; Wright i Weyand, 2001).

S obzirom na značajke primijenjenih testova, bilo bi zanimljivo utvrditi učinke intervalnog oblika treninga koji uključuje trčanje bočno i unatrag na razinu aerobne izdržljivosti. U kontekstu provođenja visoko intenzivnih intervalnih treninga (VIIT), rezultati ovog istraživanja ukazuju da postoji prostor da se takav trening provodi u uvjetima trčanja unatrag i bočno, doduše kod niže treniranih pojedinaca. Naime, jedan od osnovnih parametara koji VIIT treba zadovoljiti je postojanje visokog (>90%  $VO_{2max}$ ) intenziteta u kojem sportaš treba provesti određeni period kako bi se izazvala adaptacija na mehanizme izdržljivosti. U praksi se za potrebe programiranja takvih treninga koriste različiti protokoli koji uglavnom imaju za cilj definiranje intenziteta pri kojem sportaš dostiže  $VO_{2max}$ , tj.  $vVO_{2max}$  (Laursen i Buchheit, 2019). Očito, to nije bio cilj ovog istraživanja, već je svrha usmjerena prema utvrđivanju mogućnosti

dostizanja  $VO_{2max}$ , što se i potvrdilo u slučaju trčanja bočno u obje strane, dok je kod trčanja unatrag zabilježena prosječna vrijednost od 93,9%  $VO_{2max}$  (slika 6.). Buduća istraživanja bi se trebala usmjeriti prema definiranju protokola kojim bi se mogle utvrditi metodičke točke (eng. *anchor point*) za programiranje VIIT-a u uvjetima trčanja bočno i unatrag, a u perspektivi i longitudinalna istraživanja kojima će istražiti učinke takvog treninga.

## 5.2. Analiza brzine trčanja različitim smjerovima

Rezultati ovog istraživanja ukazuju da, pri intenzitetima koji su definirani kao postotci od maksimalnog primitka kisika ostvarenog u progresivnom testu opterećenja ( $\%VO_{2max}$ ), postoji statistički značajna razlika u brzini trčanja između različitih protokola. Najviše vrijednosti brzine trčanja su, očekivano, zabilježene kod trčanja prema naprijed (tablica 8.). Detaljnijom analizom brzine trčanja pri kojoj je ostvarena vrijednost od  $60\% VO_{2max}$ , brzina trčanja prema naprijed je veća za 1,2 - 1,9 km/h u odnosu na KT-NT, KT-BD, KT-BL. Razlike između brzine trčanja se povećavaju sa povećanjem postotka  $VO_{2max}$ . Razlika u brzinama koje odgovaraju  $70\% VO_{2max}$  se kreće od 2,2 do 3,2 km/h, na  $80\%$  ta razlika iznosi 2,7 - 3,8 km/h, te pri intenzitetu od  $90\%$  razlika je u rasponu od 3 do 4,5 km/h. Najveća razlika u brzini trčanja je uočena pri intenzitetu od  $100\% VO_{2max}$  te iznosi 3,9 do 5,2 km/h.

Dobiveni rezultati su u skladu sa očekivanjima te se postavljene hipoteze ( $H_2$  i  $H_3$ ) u potpunosti prihvaćaju. Razlog zbog kojeg su na istim relativnim intenzitetima opterećenja vrijednosti trčanja značajno manje u uvjetu trčanja koje nije prema naprijed je u činjenici da je trčanje bočno i unatrag manje ekonomično u odnosu na trčanje prema naprijed. Vrlo važan parametar koji utječe na ekonomičnost kretanja jest složenost takvog oblika lokomocije u kontekstu koordinacije pokreta, drugačije mišićne aktivacije i sl. Ekonomičnost kretanja se opisuje kao omjer obavljenog rada/prijedenog puta te ukupne energije koja je utrošena za ostvarivanje tog rada. Kada je riječ o trčanju bočno i prema natrag, zbog ograničenja ljudskog tijela primarno u morfološkom kontekstu (građa mišića, stopala) jasno je da će razina ekonomičnosti takvog oblika kretanja u usporedbi sa trčanjem prema naprijed biti manja.

Brzina trčanja je umnožak duljine i frekvencije koraka (Debaere i suradnici, 2013), te se veća brzina ostvaruje sa većim silama reakcije podloge tijekom kraćeg kontakta sa podlogom (Weyand i suradnici, 2010). Kod trčanja unatrag, karakteristično je povećano trajanje vremena kontakta sa podlogom te smanjenje trajanja faze leta što se manifestira kroz kraći korak te povećanu frekvenciju koraka (Uthoff, Oliver, Cronin, Harrison, i suradnici, 2018), a sa povećanjem brzine trčanja ta razlika postaje još veća (Wright i Weyand, 2001).

Naime, kada je riječ o opsegu pokreta u zglobu gležnja, glavne razlike se pojavljuju u trenutku prije samog kontakta stopala sa podlogom, koje je karakterizirano sa dorzalnom fleksijom kod trčanja prema naprijed, a plantarnom fleksijom tijekom trčanja unatrag (DeVita

i Stribling, 1991). Moguće objašnjenje je da postoji funkcionalno ograničenje u gležnju, koji je anatomski dizajnirano za kretanje prema naprijed (Hansen i suradnici, 2004). Analiza opsega pokreta u koljenu ukazuje na povećani opseg pokreta kod trčanja prema naprijed tijekom faze leta i faze kontakta sa podlogom u odnosu na trčanje natrag. Trčanje natrag je karakterizirano sa povećanom fleksijom u zglobu koljena tijekom početne faze kontakta sa podloge te povećane ekstenzije u zglobu koljena tijekom završne faze kontakta sa podlogom u odnosu na trčanje prema naprijed (Hansen i suradnici, 2004).

Kod trčanja natrag je zabilježena i povećana vertikalna krutost donjih ekstremiteta tijekom trčanja na sličnim intenzitetima između trčanja natrag i naprijed (Cavagna i suradnici, 2012). Povećanje krutosti tijekom trčanja prema natrag se povezuje sa smanjenom mobilnosti u zglobu koljena, koja se tijekom trčanja prema naprijed koristi kao „ublaživač“ sile reakcije podloge tijekom faze doskoka (Cavagna i suradnici, 2012). Tijekom trčanja unatrag, koljeno ima karakteristike gotovo izometričke kontrakcije (odnosno mišići oko koljena) tijekom faze kontakta te prema kraju te faze pomiče tijelo odnosno centar mase prema gore i prema naprijed (DeVita i Stribling, 1991; Flynn i Soutas-Little, 1993).

Razlike u ciklusu istežanja-skraćivanja između trčanja prema natrag i naprijed, Cavagna i sur. (2012) opisuju kroz tri moguće fiziološke posljedice: (i) veću potrošnju energije u trčanju unatrag zbog manje učinkovitosti u stvaranju pozitivnog rada (Cavagna i suradnici, 2011), (ii) smanjeni rizik od oštećenja mišića nakon doskoka tijekom faze „kočenja“ u trčanju unatrag jer se mišićno-tetivne jedinice sporije izdužuju kao rezultat duljeg trajanja negativne faze rada, (iii) poboljšano skladištenje elastične energije tijekom trčanja prema naprijed kao posljedice veće sile postignute tijekom faze istežanja kada su elastične strukture opterećene, dok je doprinos kontraktilne komponente pojačan u trčanju unatrag jer se pozitivni rad mora proizvesti s većom prosječnom silom, a dijelom i bez prethodnog ekscentričnog opterećenja. U trčanju prema naprijed skladištenje i iskorištavanje elastične energije je učinkovitije, ali uz veći riziku oštećenja mišićnih vlakana tijekom brzog istežanja mišića pri kontaktu s podlogom, dok je mehanizam za trčanje unatrag manje učinkovit, ali vjerojatno sigurniji (Cavagna i suradnici, 2012).

Naravno, prilikom donošenja ovakvih zaključaka, potrebno je spomenuti činjenicu da se sportaš tijekom trčanja unatrag treba svakih nekoliko koraka osvrnuti u smjeru trčanja te se



postavlja pitanje na koji način to može utjecati na tehniku, brzinu i ekonomičnost takvog oblika kretanja.

Kao i kod trčanja prema natrag, tijekom trčanja bočno u obje strane zabilježene su značajno manje vrijednosti brzine trčanja koje se mogu ostvariti pri određenom postotku  $VO_{2max}$  (tablica 4.). S obzirom da se kroz ovu analizu promatra brzina trčanja na zadanom postotku  $VO_2$ , može se govoriti i o analizi učinkovitosti trčanja, odnosno o ekonomičnosti bočnog trčanja. Kako je već navedeno. hodanje i trčanje bočno u usporedbi sa trčanjem i hodanjem prema naprijed je izrazito neekonomično (tablica 4).

Razlozi koji stoje iza smanjene razine ekonomičnosti ovakvog oblika kretanja su slični kao kod hodanja i trčanja unatrag, odnosno većina faktora se odnosi na biomehaničke odrednice. Promatrajući pojedinačni korak tijekom bočnog kretanja, analiza sila reakcije podloge tijekom bočnog kretanja pri brzini od 10 km/h ( $\pm 1,1$  km/h) je ukazala na niže vršne vrijednosti u odnosu na trčanje prema naprijed pri istom intenzitetu (Kuntze i suradnici, 2009). Također, prilikom bočnog kretanja vodeća noga je primarni generator vertikalne sile (odrazna noga), dok prateća noga ima dominantno ulogu amortizacije vertikalnih sila (doskočna noga) (Kuntze i suradnici, 2009). Ako uzmemo u obzir da su većina ispitanika dešnjaci (16 od 18 ispitanika), to može pojasniti činjenicu da je vidljiv blago veći rezultat u brzini trčanja u desnu stranu u odnosu na brzinu bočnog trčanja u lijevu stranu.

Prema Kuntzeu (2008) stražnje stopalo prvo prihvaća težinu tijela pri početnom kontaktu kada je horizontalna brzina maksimalna i kuk u najvišem položaju. Nakon toga slijedi promjena između stražnje i prednje noge, koja prihvaća težinu tijela pri najnižem položaju kuka i najmanjoj horizontalnoj brzini. Nakon toga slijedi ekstenzija prednje noge tijekom kontakta sa podlogom, što rezultira sinkroniziranim vertikalnim pomakom kuka te povećanjem horizontalne brzine (Kuntze, 2008). Sama duljina koraka tijekom kretanja bočno je značajno manja u odnosu na kretanje prema naprijed (Handford i Srinivasan, 2014; Kuntze, 2008). Nadalje, poznato je da se povećanjem frekvencije koraka pri istoj brzini kretanja smanjuje ekonomičnost, odnosno povećava se zahtjev za kisikom pri istoj razini intenziteta trčanja prema naprijed. Logično je za pretpostaviti da takav mehanizam ima sličan utjecaj i kad je riječ o bočnom kretanju, te da ima značajnu ulogu u smanjenju ekonomičnosti ovakvog oblika kretanja (Cavanagh i Williams, 1982). Također, pri trčanju na pokretnom sagu je moguće u određenoj mjeri „varati“ u smislu povećanja vertikalne sile pri trčanju a što rezultira većim vertikalnim

oscilacijama centra mase tijela i dužim vremenom provedenim u zraku. Naime, uz duže trajanje faze leta, kao rezultata primjene veće vertikalne sile, moguće je utrošiti manje energije za istu brzinu trčanja (Saunders i suradnici, 2004). Upravo iz tog razloga, bilo bi korisno istražiti razlike u razini utrošene energije tijekom trčanja bočno i prema natrag u laboratorijskim uvjetima te na otvorenom.

Promatrajući vrijednosti i omjere brzine trčanja (tablica 11) u različitim smjerovima trčanja, najveća brzina sprinta je zabilježena tijekom trčanja prema naprijed. Usporedbom sprinta prema naprijed sa sprintevima bočno u obje strane i unatrag uočena je statistički značajna razlika (slika 10). Promatrajući zasebno sprint bočno u obje strane i unatrag, vidljivo je da su postignute vrlo slične brzine i da nema značajne razlike između postignutih vrijednosti. Takvi rezultati su u skladu sa prethodnim istraživanjima gdje je utvrđeno da je brzina sprinta prema naprijed veća za otprilike 30% u odnosu na sprint prema natrag (Arata, 1999; Uthoff i suradnici, 2021; Uthoff, Oliver, Cronin, Winwood, i suradnici, 2018; Weyand i suradnici, 2010). Brzine sprinta unatrag se kreću od 16 km/h kod rekreativaca (Arata, 1999) do 23 km/h kod atletičara (Weyand i suradnici, 2010).

Nadalje, rezultati ukazuju da, uz do sada uočene vrijednosti sprinta prema natrag, nema značajne razlike u postotku od maksimalnog sprinta ni kod trčanja bočno u lijevu i desnu stranu (Tablica 12.). Naime, u svim promatranim uvjetima, vršne brzine ostvarene u testovima KT su na otprilike 52 - 56 %  $v_{max}$  za svaki pojedinačni smjer. Ovo je važan podatak u kontekstu kreiranja trenaznih podražaja (primarno raznih modaliteta VIIT), prvi put izmjerena vrijednost maksimalne brzine sprinta u bočnim kretanjima. S obzirom na načine određivanja intenziteta u VIIT treninzima, relativne vrijednosti brzine trčanja mogu biti od koristi u definiranju intenziteta treninga. Maksimalna brzina trčanja ovisi o sposobnost stvaranja velikih sila reakcije podloge tijekom kratkog trajanja kontakta sa podlogom (Wright i Weyand, 2001), što može pojasniti prisutne razlike u brzini sprinta.

Nadalje, možda još zanimljiviji prikaz rezultata sprinta je kada se brzina sprinta stavi u kontekst maksimalno dostignute brzine trčanja tijekom KT testova (tablica 12). U literaturi je uobičajeno ovakve podatke prikazivati kao „anaerobna rezerva brzine - ARB“, ali se to odnosi na razliku između brzine sprinta i  $vVO_{2max}$  iz PTO. U ovom istraživanju, s obzirom da nisu provedeni PTO testovi za trčanje bočno i unatrag, diskutirati će se razlika između sprinta i maksimalno dostignute brzine tijekom KT testa.

Ovako obrađeni rezultati ukazuju na to da je najveća razlika kod trčanja prema naprijed, što je i logično s obzirom da se tijekom takvog oblika trčanja ostvaruje najveća brzina sprinta. Ostali rezultati imaju isti trend kao u prethodno opisanoj analizi, najveća razlika je zabilježena u trčanju bočno lijevo, zatim bočno desno te naposljetku unatrag. U dosadašnjim istraživanjima nema informacija o maksimalnom sprintu bočno općenito. U nekim istraživanjima analiziran je bočni iskorak (eng. *lunge*), kratki sprint na 3 ili 4 metra te bočno trčanje u kontekstu testova za analizu promjene smjera kretanja ali nema podataka o maksimalnom sprintu. Da bi se ove informacije mogle kvalitetno upotrijebiti u trenažnoj praksi za primjerice trening ponavljano sprinta ili neki od modaliteta intervalnog oblika treninga, potrebno je provesti istraživanja kojima će se utvrditi stvarnu ARB-e koja uključuje  $v\text{VO}_{2\text{max}}$  iz PTO različitih smjerova trčanja.

S obzirom da se ipak u timskim sportovima kretanja bočno i prema natrag događaju na kraćim udaljenostima te vrlo često visokim intenzitetom preporuka za buduća istraživanja je da se utvrdi na kojoj udaljenosti se postiže maksimalna brzina trčanja bočno, te da se istraže kinetički i kinematički parametri bočnog trčanja kao što su sila reakcije podloge, duljina koraka i frekvencija koraka te trajanje faze kontakta sa podlogom.

### 5.3. Analiza frekvencije srca kod različitih smjerova trčanja

Analiza rezultata frekvencije srca ukazuje da dobiveni rezultati nisu u potpunosti u skladu sa postavljenim hipotezama (H4 i H5) te se mogu djelomično prihvatiti. Značajne razlike (tablica 9.) su zabilježene pri intenzitetu od 60% i 70%  $VO_{2max}$  između vrijednosti FS ostvarenih tijekom trčanja prema naprijed i svih drugih promatranih uvjeta (pri 60%), odnosno između FS tijekom trčanja prema naprijed i unatrag (pri 70%  $VO_{2max}$ ). Pri intenzitetu od 80%  $VO_{2max}$  zabilježena je značajna razlika između vrijednosti FS tijekom trčanja unatrag te trčanja bočno u desnu stranu u usporedbi sa FS tijekom KT prema naprijed. U svim slučajevima, vrijednosti FS tijekom trčanja prema naprijed su bile niže. Na intenzitetima koji odgovaraju 90 i 100 %  $VO_{2max}$  nisu zabilježene statistički značajne razlike te se postavljene hipoteze mogu djelomično prihvatiti. Na ovim intenzitetima, vrijednosti FS nisu nužno najniže tijekom trčanja prema naprijed. Točnije, na 90%  $VO_{2max}$  raspon vrijednosti je samo 2,6 otk/min, a na 100%  $VO_{2max}$  raspon vrijednosti je 4 otk/min.

U dostupnoj literaturi brojnija su istraživanja uspoređivala vrijednosti frekvencije srca između trčanja prema naprijed i prema natrag (tablica 3.), no između trčanja naprijed i trčanja bočno (tablica 4.). Rezultati ovog istraživanja ukazuju da se pri manjem relativnom opterećenju (od 60 do 80 %  $VO_{2max}$ ) može očekivati da će postojati razlike u vrijednostima FS između modaliteta, odnosno smjerova trčanja. Za razliku od vrijednosti brzine trčanja (tablica 8.), gdje je utvrđena značajna razlika na svim intenzitetima, na 90 i 100 %  $VO_{2max}$  nema značajne razlike u FS između promatranih uvjeta. Vjerojatan razlog koji dovodi do ovakvih rezultata je u aktivaciji drugačijih mišićnih skupina koje su uključene u trčanje prema naprijed, natrag te bočno (Conti, 2009; Handford i Srinivasan, 2014; Kuntze, 2008; Yamashita, 2014).

Naime, poznato je da postoje određene razlike u akutnoj reakciji na intenzitet između primitka kisika te frekvencije srca. Uspoređujući reakciju FS i  $VO_2$  na intenzitet aktivnosti, poznato je da FS manje oscilira sa promjenom intenziteta, te „kasni“ u odnosu na  $VO_2$  koji je mnogo osjetljiviji parametar (Di Prampero i Cerretelli, 1971). Kada je riječ o nižoj razini intenziteta, razlika u odgovoru između FS i  $VO_2$  će biti manja, što potvrđuju rezultati ovog istraživanja (tablica 9.).

Usporedba između trčanja bočno u desnu i lijevu stranu pri intenzitetu od 8 km/h ukazuje da nema značajne razlike u vrijednostima primitka kisika i frekvencije srca (Vučetić i suradnici,

2021). U istraživanju u kojem je analiziran fiziološki odgovor na različite oblike kretanja pri intenzitetima koje su ispitanici sami odabirali, uočeno je da nema značajne razlike u vrijednostima FS, primitka kisika te subjektivnog osjećaja opterećenja između trčanja naprijed i natrag kada su intenziteti izjednačeni (Mayo i suradnici, 2004). U navedenom istraživanju je kretanje bočno izvedeno na način da je korištena ploča za klizanje (eng. *slide board*), te su uočene značajno veće vrijednosti promatranih parametara u odnosu na trčanje naprijed i natrag (Mayo i suradnici, 2004). Slično, Masumoto i suradnici (2019) su analizirali metaboličke zahtjeve trčanja naprijed i natrag, ali u uvjetima rasterećenja. Utvrdili su da promjena u rasterećenju tjelesne mase utječe na metabolički zahtjev trčanja, subjektivni osjećaj opterećenja te brzinu trčanja ali kada su intenziteti izjednačeni (samostalni odabir intenziteta) nema značajne razlike u promatranim parametrima s obzirom na smjer trčanja (Masumoto i suradnici, 2019).

Promatrajući maksimalne vrijednosti FS trčanja u različitim smjerovima, uočena je značajna razlika između analiziranih uvjeta (slika 8.). Naime, najviše vrijednosti  $FS_{max}$  su zabilježene u PTO, što se moglo i očekivati s obzirom na činjenicu da su tijekom tog testa postignute značajno veće vršne brzine trčanja. Važno je spomenuti činjenicu da se u ovom primjeru uspoređuju vrijednosti sa jedne strane iz progresivnog testa (prema naprijed) te testova fiksnog opterećenja (bočno u obje strane i natrag).

#### 5.4. Analiza razlika u primitku kisika pri različitim smjerovima trčanja

Poznato je da trčanje bočno i unatrag ima veće energetske zahtjeve pri istoj brzini kretanja (Reilly i Bowen, 1984; Williford i suradnici, 1998), ali usporedba maksimalnih vrijednosti energetske potrošnje nije rađena. U navedenim istraživanjima analizirane su vrijednosti primitka kisika pri brzinama do 9 km/h te je utvrđeno da trčanje bočno i unatrag generira približno 20% više vrijednosti energetske potrošnje u odnosu na trčanje prema naprijed (Reilly i Bowen, 1984; Williford i suradnici, 1998). U ovoj disertaciji proveden je test KT za sve smjerove (prema naprijed, natrag te bočno u desnu i lijevu stranu), te je utvrđena statistički značajna razlika u primitku kisika između trčanja unaprijed i smjerova trčanja u svim promatranim uvjetima, u skladu sa literaturom (tablica 10). Pri svim brzinama trčanja najniže vrijednosti primitka kisika su zabilježene tijekom trčanja prema naprijed. Primjerice, 80%  $VO_{2max}$  se tijekom KT-N dostiže u prosjeku pri 11 km/h, dok se pri trčanju prema natrag to ostvaruje na 8 km/h (78,9 %) a kod trčanja bočno već u prosjeku pri 7 km/h. Promatrajući rezultate kroz usporedbu parova, vrijednosti  $VO_2$  tijekom KT-N se značajno razlikuju od svih ostalih smjerova i to na svim promatranim brzinama trčanja. Primitak kisika tijekom KT-NT se značajno razlikuje, uz već opisanu razliku prema KT-N, od  $VO_2$  iz KT-BD na brzinama od 6, 7, 8, 9 i 11 km/h, a od KT-BL na svim brzinama osim na 10 km/h. Nema značajne razlike između trčanja bočno u desnu i lijevu stranu na niti jednom intenzitetu.

Detaljnijom analizom primitka kisika na intenzitetu od 5 km/h kod trčanja unatrag zabilježena je 17% veća potrošnja kisika u odnosu na trčanje prema naprijed. Na istom intenzitetu, pri trčanju bočno su veće za otprilike 27-30% u odnosu na trčanje prema naprijed. U istraživanju Reillya i Bowena prijavljena je razlika od 17% između energetske potrošnje kod trčanja naprijed i natrag, te 20% između trčanja naprijed i bočno. Ponešto drugačiji rezultati na istom intenzitetu su zabilježeni kod Williforda i suradnika te oni prijavljuju razliku od 23% između trčanja naprijed i natrag, a čak 43% kod trčanja naprijed i bočno. Važno je napomenuti da u oba istraživanja nije pojašnjen smjer trčanja bočno (u desnu ili lijevu stranu). Razlog veće razlike kod bočnog trčanja je možda u tome što je kod Williforda uzorak uključivao i ženske ispitanike. Uspoređujući hodanje prema naprijed i natrag na intenzitetu od 6,4 km/h (4 mph) zabilježeno je povećanje u primitku kisika tijekom hodanja unatrag od čak 43%, te povećanje u frekvenciji srca od 32% (Flynn i suradnici, 1994). Analiza hodanja naprijed i natrag na još nižem intenzitetu (4,02 km/h) ali sa nagibom od 5% je ukazala na povećani primitak kisika i

frekvenciju srca tijekom hodanja natrag od otprilike 20%. Slične razlike su utvrđene i kod nagiba od 7,5% te 10% (Hooper i suradnici, 2004).

S obzirom na dobivene rezultata uočene razlike u primitku kisika na svim promatranim uvjetima, se mogu pojasniti činjenicom da se tijekom trčanja prema natrag može iskoristiti nešto više „elastične“ energije u odnosu na trčanje bočno. Naime, kod trčanja bočno gotovo u potpunosti izostaje taj element iskorištavanja „elastične“ energije, a koji je tipičan za trčanje prema naprijed i vjerojatno najvažniji faktor koji čini taj oblik trčanja ekonomičnijim u usporedbi sa ostalim promatranim smjerovima trčanja.

#### 5.4. Analiza subjektivne procjene opterećenja treninga

Analizom rezultata subjektivnog osjećaja opterećenja treninga ( $SPO_t$ ) u kontekstu neuromuskularnog (NM) te kardiorespiratornog (KR) opterećenja, vidljivo je da pri trčanju prema naprijed više vrijednosti su zabilježene kod percepcije KR opterećenja, dok je percepcija NM opterećenja manja u prosjeku za 0,66, iako nema statistički značajne razlike ( $p < 0,01$ ). Pri trčanju unatrag veća je vrijednost  $SPO_t$  zabilježena kod NM opterećenja za 1,11 u odnosu na  $SPO_t$  kod KR opterećenja. Tijekom trčanja bočno u desnu stranu su zabilježene niže vrijednosti kod percepcije KR opterećenja i to za 1,33 u odnosu na NM percepciju opterećenja treninga. Vrlo sličan rezultat je i u slučaju trčanja bočno u lijevu stranu, gdje je vrijednost NM  $SPO_t$  veća za 1,28. Dakle, može se zaključiti da hipoteza 6 može biti prihvaćena.

Iz navedenih rezultata se može zaključiti da su ispitanici prijavljivali više vrijednosti za  $SPO_t$  u kontekstu NM opterećenja tijekom trčanja prema natrag i bočno. To je donekle i logično za očekivati zbog specifičnih zahtjeva takvih oblika trčanja u kontekstu mišićne aktivacije i zahtjevnosti u smislu koordinacije pokreta. Nadalje, to ukazuje da je vjerojatan razlog prekida KT testa, drugačije biomehaničko opterećenje (duljina koraka, frekvencija koraka i sl.) (Getchell i Whitall, 2004; Kuntze i suradnici, 2009; Yamashita i suradnici, 2017; Conti, 2009; Flynn i suradnici, 1994; Wright i Weyand, 2001) što je rezultiralo nemogućnosti da se odgovori zahtjevu postavljene brzine pokretnog saka, odnosno iscrpljenjem.

Rezultati analize percepcije KR opterećenja ukazuju da ispitanici pri trčanju prema naprijed doživljavaju opterećenje jednakim, odnosno da ne percipiraju razliku između opterećenosti „nogu“ i „disanja“, kako im je objašnjeno da odgovaraju na ove upite. Takva distribucija rezultata se mogla i očekivati, jer je u usporedbi sa ostalim smjerovima, trčanje prema naprijed najekonomičnije, odnosno najprirodnije ispitanicima. U pozadini je vjerojatno drugačije ograničenje koje je onemogućavalo maksimalno opterećenje kardiorespiratornog sustava.

Nadalje, analiza maksimalnih vrijednosti SPO tijekom različitih brzina trčanja KT testova ukazuje da su najniže vrijednosti ostvarene tijekom trčanja prema naprijed (tablica 11) u usporedbi sa ostalim smjerovima na svim intenzitetima. Takvi rezultati su u skladu sa dosadašnjim istraživanjima gdje je također zabilježena veća vrijednost SPO kod trčanja natrag i bočno (Reilly i Bowen, 1984; Williford i suradnici, 1998). Razlika u vrijednostima SPO se povećavala sa povećanjem intenziteta, pa se na intenzitetu od 10 i 11 km/h u trčanju koje nije



naprijed bilježe maksimalne vrijednosti SPO, dok te iste brzine odgovaraju razini od 4 do 5 subjektivne procjene opterećenja treninga (donekle teško i teško) prilikom trčanja unaprijed.

Daljnjom analizom maksimalnih vrijednosti SPO tijekom trčanja unatrag, zabilježena je značajna razlika u odnosu na trčanje bočno u desnu stranu na brzini od 6 km/h, a na brzini od 7 i 8 km/h zabilježena je značajna razlika i u odnosu na trčanje bočno u lijevu stranu. Pri trčanju unatrag, značajna razlika je još utvrđena u usporedbi sa trčanjem bočno u lijevu stranu (9 km/h) te u desnu stranu (10 km/h).

Nadalje, kod trčanja bočno u desnu stranu, zabilježena je statistički značajna razlika u odnosu na trčanje natrag na intenzitetima od 5, 6, 7 i 9 km/h. Kod trčanja bočno u lijevu stranu, zabilježena je značajna razlika u odnosu na trčanje prema natrag na brzinama od 6, 7 i 9 km/h.

Ovakvi rezultati sugeriraju da percepcija opterećenja prati trend metaboličkih i kardiorespiratornih parametara, odnosno da se pri istim brzinama mogu očekivati veće vrijednosti SPO<sub>t</sub>. Nadalje, nešto niže vrijednosti su zabilježene kod trčanja unatrag u odnosu na trčanje bočno na svim promatranim brzinama lokomocije. To je također u skladu sa drugim promatranim parametrima u ovom istraživanju, no krajnja brzina dostignuta u trčanju prema natrag nešto veća u odnosu na bočno trčanje. Iz toga se može zaključiti da trčanje unatrag i bočno imaju drugačiju podlogu u kontekstu biomehaničkih ograničenja, odnosno rezultati ukazuju da se pri duljem trčanju prema natrag (3-5 min) može postići veća brzina u odnosu na trčanje bočno.

## 6. ZAKLJUČAK

Glavni rezultati ovog istraživanja ukazuju da se  $VO_{2p}$  pri trčanju bočno u desnu i lijevu stranu ne razlikuje značajno od  $VO_{2max}$  izmjerenog pri trčanju prema naprijed, dok je  $VO_{2p}$  pri trčanju prema natrag značajno niži. Zanimljivo je promotriti glavne rezultate kroz individualni odgovor ispitanika koji sugerira da bi razina treniranosti mogla imati utjecaj na konačni rezultat. Naime, ispitanici sa nižom razinom treniranosti su lakše postizali više vrijednosti  $VO_{2p}$  tijekom trčanja bočno i natrag, dok je kod bolje treniranih ispitanika situacija obrnuta.

Nadalje, pri svim promatranim brzinama trčanja, najniže vrijednosti u metaboličkim, kardiorespiratornim te perceptivnim pokazateljima su zabilježene tijekom trčanja prema naprijed. Razlike su se kretale od približno 30% većim  $VO_2$  kod trčanja bočno i natrag u odnosu na trčanje prema naprijed do približno 20% u istim uvjetima na krajnje dostignutim brzinama trčanja. Vjerojatan razlog ovakvih rezultata leži u činjenici da trčanje bočno i trčanje unatrag imaju značajno drugačije biomehaničke zahtjeve u odnosu na trčanje prema naprijed što uvjetuje manju učinkovitost lokomocije. Trčanje natrag, kao i trčanje bočno karakterizira veća frekvencija koraka, duže trajanje kontakta sa podlogom te kraća dužina samog koraka u odnosu na trčanje prema naprijed. Jedna od najvažnijih razlika se očituje u mogućnosti iskorištavanja „elastične“ energije tijekom trčanja prema naprijed, a koja je značajno ograničena tijekom trčanja u drugim smjerovima.

Ovakve zaključke dodatno potvrđuje i analiza  $SPO_t$  koja ukazuje da postoji statistički značajna razlika između percepcije KR i NM opterećenja. Naime, pri vršnim brzinama trčanja ispitanici percipiraju višu razinu NM opterećenja u odnosu na KR tijekom trčanja bočno i natrag, dok kod trčanja prema naprijed, nije utvrđena značajna razlika između KR i NM  $SPO_t$ . To ukazuje da trčanje prema naprijed nema istu razinu percepcije opterećenja, odnosno da postoje određena ograničenja koja onemogućavaju ispitanicima da maksimalno optereće kardiorespiratorni sustav. Na to je mogao imati utjecaj trenažni status ispitanika, ali i biomehaničke specifičnosti trčanja bočno i unatrag.

U budućim istraživanjima trebalo bi istražiti relacije metaboličkih i kinematičkih parametara pri bočnom kretanju, koje nisu rasvijetljene. Poznato da se s treningom trčanja prema natrag može poboljšati ekonomičnost trčanja prema naprijed, no nema informacija o učinku treninga koji bi obuhvaćao bočno trčanje.

S obzirom na biomehaničke karakteristike takvog oblika kretanja, u budućim istraživanjima je potrebno utvrditi izaziva li takav oblik trčanja promjene u samoj tehnici trčanja prema naprijed, ekonomičnosti te samoj izdržljivosti sportaša. Naime, s obzirom da je ukupan volumen trenažnog rada ograničen, poglavito u timskim sportovima gdje su natjecanja relativno česta, korisno je koristiti trenažne operatore koji nude višestruke učinke treninga.

Zaključno, tijekom trčanja bočno mogu se ostvariti vrlo visoke vrijednosti relativnog primitka kisika (iznad 95%), te to ukazuje da bi se takvi modaliteti trčanja potencijalno mogli koristiti u treningu za razvoj aerobne izdržljivosti. Takav oblik treninga, kao posljedica rada na manjem intenzitetu odnosno brzini trčanja, stvara manje sile u donjim ekstremitetima, drugačija je aktivacija mišićja nogu a energetska opterećenje je vrlo visoko.

## 7. OGRANIČENJA I NEDOSTATCI ISTRAŽIVANJA

Ovo istraživanje ima svoja ograničenja:

- nisu uzete u obzir razlike između trčanja na sagu i na terenu
- veliki broj dolazaka na testiranja je mogao utjecati na poboljšanje u tehnici trčanja a samim tim i na ekonomičnost trčanja bočno i natrag
- nisu promatrani biomehanički parametri u trčanju te se dobiveni rezultati ne mogu u potpunosti pojasniti
- u istraživanju su sudjelovali studenti i sportaši niže razine natjecanja

## 8. LITERATURA

- Arata, A. W. (1999). *Kinematic and kinetic evaluations of high speed backward running* [Doktorski rad, University of Oregon].
- Ayala, F., Calderón-López, A., Delgado-Gosálbez, J. C., Parra-Sánchez, S., Pomares-Noguera, C., Hernández-Sánchez, S., López-Valenciano, A., & de Ste Croix, M. (2017). Acute effects of three neuromuscular warm-up strategies on several physical performance measures in football players. *PLoS ONE*, *12*(1).
- Bailey, S. J., Fulford, J., Vanhatalo, A., Winyard, P. G., Blackwell, J. R., DiMenna, F. J., Wilkerson, D. P., Benjamin, N., & Jones, A. M. (2010). Dietary nitrate supplementation enhances muscle contractile efficiency during knee-extensor exercise in humans. *Journal of applied physiology*, *109*(1), 135–148.
- Barnes, K. R., & Kilding, A. E. (2015). Running economy: measurement, norms, and determining factors. *Sports medicine - Open*, *1*(1), 8.
- Barstow, T. J. (1994). Characterization of VO<sub>2</sub> kinetics during heavy exercise. *Medicine and science in sports and exercise*, *26*(11), 1327–1334.
- Barstow, T. J., & Mole, P. A. (1991). Linear and nonlinear characteristics of oxygen uptake kinetics during heavy exercise. *Journal of applied physiology*, *71*(6), 2099–2106.
- Bassett, D. R., & Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine and science in sports and exercise*, *32*(1), 70–84.
- Beltz, N. M., Gibson, A. L., Janot, J. M., Kravitz, L., Mermier, C. M., & Dalleck, L. C. (2016). Graded exercise testing protocols for the determination of VO<sub>2max</sub>: historical perspectives, progress, and future considerations. *Journal of sports medicine*, *2016*, 1–12.
- ben Abdelkrim, N., Castagna, C., Jabri, I., Battikh, T., el Fazaa, S., & el Ati, J. (2010). Activity profile and physiological requirements of junior elite basketball players in

- relation to aerobic-anaerobic fitness. *Journal of strength and conditioning research*, 24(9), 2330–2342.
- Billat, V. L. (2001). Interval training for performance: a scientific and empirical practice. Special recommendations for middle- and long-distance running. Part I: aerobic interval training. *Sports medicine*, 31(1), 13–31.
- Billat, V. L., Mille-Hamard, L., Petit, B., & Koralsztein, J. P. (1999). The role of cadence on the  $\dot{V}O_2$ , slow component in cycling and running in triathletes. *International journal of sports medicine*, 20(7), 429–437.
- Billat, V. L., Richard, R., Binsse, V. M., Koralsztein, J. P., & Haouzi, P. (1998). The  $\dot{V}O_2$  slow component for severe exercise depends on type of exercise and is not correlated with time to fatigue. *Journal of applied physiology*, 85(6), 2118–2124.
- Bishop, D., Girard, O., Mendez-Villanueva, A., & Bishop, D. (2011). Repeated-sprint ability – Part II. *Sports medicine*, 41(8), 741–756.
- Bloomfield, J., Polman, R., & O'Donoghue, P. (2007). Physical demands of different positions in FA Premier league soccer. *Journal of sports science & medicine*, 6(1), 63–70.
- BORG, G. A. V. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine & science in sports & exercise*, 14(5), 377–381.
- Borresen, J., & Lambert, M. I. (2009). The quantification of training load, the training response and the effect on performance. *Sports medicine*, 39(9), 779–795.
- Bourdon, P. C. (2013). Blood lactate thresholds: concepts and applications. U *Physiological tests for elite athletes* (str. 77–102). Human Kinetics.
- Bourdon, P. C., Cardinale, M., Murray, A., Gatin, P., Kellmann, M., Varley, M. C., Gabbett, T. J., Coutts, A. J., Burgess, D. J., Gregson, W., & Cable, N. T. (2017). Monitoring athlete training loads: Consensus statement. *International journal of sports physiology and performance*, 12, 161–170.

- Buchheit, M. (2014). Monitoring training status with HR measures: Do all roads lead to Rome?. *Frontiers in physiology*, 5(73).
- Buchheit, M., Abbiss, C. R., Peiffer, J. J., & Laursen, P. B. (2012). Performance and physiological responses during a sprint interval training session: Relationships with muscle oxygenation and pulmonary oxygen uptake kinetics. *European journal of applied physiology*, 112(2), 767–779.
- Buchheit, M., & Laursen, P. B. (2013a). High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part II: Anaerobic energy, neuromuscular load and practical applications. *Sports medicine*, 43(10), 927–954.
- Buchheit, M., & Laursen, P. B. (2013b). High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: cardiopulmonary emphasis. *Sports medicine*, 43(5), 313–338.
- Burgomaster, K. A., Heigenhauser, G. J. F., & Gibala, M. J. (2006). Effect of short-term sprint interval training on human skeletal muscle carbohydrate metabolism during exercise and time-trial performance. *Journal of applied physiology*, 100(6), 2041–2047.
- Burgomaster, K. A., Howarth, K. R., Phillips, S. M., Rakobowchuk, M., Macdonald, M. J., Mcgee, S. L., & Gibala, M. J. (2008). Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans. *The journal of physiology*, 586, 151–160.
- Burke, E. R., Cerny, F., Costill, D., & Fink, W. (1977). Characteristics of skeletal muscle in competitive cyclists. *Medicine and science in sports*, 9(2), 109–112.
- Cappellini, G., Ivanenko, Y. P., Poppele, R. E., & Lacquaniti, F. (2006). Motor patterns in human walking and running. *Journal of neurophysiology*, 95(6), 3426–3437.
- Carter, H., Jones, A. M., Barstow, T. J., Burnley, M., Williams, C. A., & Doust, J. H. (2000). Oxygen uptake kinetics in treadmill running and cycle ergometry: A comparison. *Journal of applied physiology*, 89(3), 899–907.

- Castagna, C., Bendiksen, M., Impellizzeri, F. M., & Krustup, P. (2012). Reliability, sensitivity and validity of the assistant referee intermittent endurance test (ARIET) – a modified Yo-Yo IE2 test for elite soccer assistant referees. *Journal of sports sciences*, 30(8), 767–775.
- Cavagna, G. A., & Kaneko, M. (1977). Mechanical work and efficiency in level walking and running. *The Journal of physiology*, 268(2), 467–81.
- Cavagna, G. A., Legramandi, M. A., & la Torre, A. (2011). Running backwards: soft landing-hard takeoff, a less efficient rebound. *Proceedings. Biological sciences*, 278(1704), 339–346.
- Cavagna, G. A., Legramandi, M. A., & la Torre, A. (2012). An analysis of the rebound of the body in backward human running. *Journal of experimental biology*, 215(1), 75–84.
- Cavanagh, P. R., & Williams, K. R. (1982). The effect of stride length variation on oxygen uptake during distance running. *Medicine and science in sports and exercise*, 14(1), 30–35.
- Cerretelli, P., & di Prampero, P. E. (1987). Gas Exchange in Exercise. U A. P. Fishman, L. E. Farhi, S. M. Tenney, & S. R. Geiger (Ur.), *Hanbook of Physiology* (str. 297–339). American Physiological Society.
- Chilibeck, P. D., Paterson, D. H., Smith, W. D. F., & Cunningham, D. A. (1996). Cardiorespiratory kinetics during exercise of different muscle groups and mass in old and young. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 81(3), 1388–1394.
- Cocks, M., Shaw, C. S., Shepherd, S. O., Fisher, J. P., Ranasinghe, A. M., Barker, T. A., Tipton, K. D., & Wagenmakers, A. J. M. (2013). Sprint interval and endurance training are equally effective in increasing muscle microvascular density and eNOS content in sedentary males. *The Journal of Physiology*, 591, 641–656.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2. izd.). Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.



- Conti, C. A. (2009). *The mechanical determinants of energetic cost in backward running* [Magistarski rad, Humboldt State University].
- Coomber, J., & Skinner, T. (2014). *ESSA's student manual for health, exercise & sport assessment*. Mosby Australia.
- Costill, D. L., Fink, W. J., & Pollock, M. L. (1976). Muscle fiber composition and enzyme activities of elite distance runners. *Medicine and science in sports and exercise*, 8(2), 96–100.
- Debaere, S., Jonkers, I., & Delecluse, C. (2013). The contribution of step characteristics to sprint running performance in high-level male and female athletes. *Journal of strength and conditioning research*, 27(1), 116–124.
- DeVita, P., & Stribling, J. (1991). Lower extremity joint kinetics and energetics during backward running. *Medicine and science in sports and exercise*, 23(5), 602–610.
- di Prampero, P. E. (1986). The energy cost of human locomotion on land and in water. *International Journal of sports medicine*, 7(2), 55–72.
- di Prampero, P. E., & Cerretelli, P. (1971). Kinetics of respiratory gas exchange and cardiac output at the onset of exercise. *Scandinavian journal of respiratory diseases. Supplementum*, 77, 35a–35g.
- Drust, B., Atkinson, G., & Reilly, T. (2007). Future perspectives in the evaluation of the physiological demands of soccer. U *Sports Medicine* (Sv. 37, Izdanje 9, str. 783–805). Springer International Publishing.
- Dufek, J., House, A., Mangus, B., Melcher, G., & Mercer, J. (2011). Backward walking: a possible active exercise for low back pain reduction and enhanced function in athletes. *Journal of exercise physiology online*, 14(2), 17–26.
- Fernandez, E. A., Mohler, J. G., & Butler, J. P. (1974). Comparison of oxygen consumption measured at steady state and progressive rates of work. *Journal of applied physiology*, 37(6), 982–987.

- Flynn, T. W., Connery, S. M., Smutok, M. A., Zeballos, R. J., & Weisman, I. M. (1994). Comparison of cardiopulmonary responses to forward and backward walking and running. *Medicine and science in sports and exercise*, 26(1), 89–94.
- Flynn, T. W., & Soutas-Little, R. W. (1993). Mechanical power and muscle action during forward and backward running. *Journal of orthopaedic & sports physical therapy*, 17(2), 108–112.
- Foster, C., Florhaug, J. A., Franklin, J., Gottschall, L., Hrovatin, L. A., Parker, S., Doleshal, P., & Dodge, C. (2001). A new approach to monitoring exercise training. *Journal of strength and conditioning research*, 15(1), 109–115.
- Gao, C., Wang, X., Zhang, G., Huang, L., Han, M., Li, B., Nassis, G. P., & Li, Y. (2022). Comparison of physiological and perceptual responses to 5-m forward, forward-backward, and lateral shuttle running. *Frontiers in physiology*, 12(February), 1–8.
- Getchell, N., & Whitall, J. (2004). Transitions to and from Asymmetrical Gait Patterns. *Journal of motor behavior*, 36(1), 13–27.
- Gibala, M. J., Little, J. P., Macdonald, M. J., & Hawley, J. A. (2012). Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease. *Journal of physiology*, 590(5), 1077–1084.
- Gibala, M. J., Little, J. P., van Essen, M., Wilkin, G. P., Burgomaster, K. A., Safdar, A., Raha, S., & Tarnopolsky, M. A. (2006). Short-term sprint interval versus traditional endurance training: Similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. *Journal of physiology*, 575(3), 901–911.
- Gilchrist, L. (1998). Age-related changes in the ability to side-step during gait. *Clinical biomechanics*, 13(2), 91–97.
- Girard, O., Mendez-Villanueva, A., & Bishop, D. (2011). Repeated-sprint ability - Part I: factors contributing to fatigue. *Sports medicine*, 41(8), 673–694.
- Gledhill, N. (1985). The influence of altered blood volume and oxygen transport capacity on aerobic performance. *Exercise and sport sciences reviews*, 13(1), 75–93.

- Grasso, R., Bianchi, L., & Lacquaniti, F. (1998). Motor patterns for human gait: Backward versus forward locomotion. *Journal of neurophysiology*, *80*(4), 1868–1885.
- Hagberg, J. M., Mullin, J. P., & Nagle, F. J. (1978). Oxygen consumption during constant-load exercise. *Journal of applied physiology*, *45*(3), 381–384.
- Handford, M. L., & Srinivasan, M. (2014). Sideways walking: preferred is slow, slow is optimal, and optimal is expensive. *Biology letters*, *10*(1).
- Hansen, A. H., Childress, D. S., Miff, S. C., Gard, S. A., & Mesplay, K. P. (2004). The human ankle during walking: Implications for design of biomimetic ankle prostheses. *Journal of biomechanics*, *37*(10), 1467–1474.
- Hedges, L., & Olkin, I. (1985). *Statistical Methods for Meta-Analysis* (1. izd.). Elsevier.
- Heiderscheit, B. C., Sherry, M. A., Silder, A., Chumanov, E. S., & Thelen, D. G. (2010). Hamstring strain injuries: recommendations for diagnosis, rehabilitation, and injury prevention. *Journal of orthopaedic & sports physical therapy*, *40*(2), 67–81.
- Honig, C. R., Connett, R. J., & Gayeski, T. E. J. (1992). O<sub>2</sub> transport and its interaction with metabolism; a systems view of aerobic capacity. *Medicine and science in sports and exercise*, *24*(1), 47–53.
- Hooper, T. L., Dunn, D. M., Props, J. E., Bruce, B. A., Sawyer, S. F., & Daniel, J. A. (2004). The effects of graded forward and backward walking on heart rate and oxygen consumption. *Journal of orthopaedic and sports physical therapy*, *34*(2), 65–71.
- Howley, E. T., Bassett, D. R., & Welch, H. G. (1995). Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Medicine and science in sports and exercise*, *27*(9), 1292–1301.
- Jackson, A. S., & Pollock, M. L. (1978). Generalized equations for predicting body density of men. *The British journal of nutrition*, *40*(3), 497–504.
- Jamnick, N. A., Pettitt, R. W., Granata, C., Pyne, D. B., & Bishop, D. J. (2020). An examination and critique of current methods to determine exercise intensity. *Sports medicine*, *50*(10), 1729–1756.

- Jones, A. M., Grassi, B., Christensen, P. M., Krstrup, P., Bangsbo, J., & Poole, D. C. (2011). Slow component of  $\dot{V}O_2$  kinetics: Mechanistic bases and practical applications. *Medicine and science in sports and exercise*, 43(11), 2046–2062.
- Jones, A. M., & McConnell, A. M. (1999). Effect of exercise modality on oxygen uptake kinetics during heavy exercise. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 80(3), 213–219.
- Klausen, K., Andersen, L. B., & Pelle, I. (1981). Adaptive changes in work capacity, skeletal muscle capillarization and enzyme levels during training and detraining. *Acta physiologica Scandinavica*, 113(1), 9–16.
- Kram, R., & Taylor, C. R. (1990). Energetics of running: a new perspective. *Nature*, 346(6281), 265–267.
- Krstrup, P., Helsen, W., Randers, M. B., Christensen, J. F., MacDonald, C., Rebelo, A. N., & Bangsbo, J. (2009). Activity profile and physical demands of football referees and assistant referees in international games. *Journal of sports sciences*, 27(11), 1167–1176.
- Krstrup, P., Mohr, M., & Bangsbo, J. (2002). Activity profile and physiological demands of top-class soccer assistant refereeing in relation to training status. *Journal of sports sciences*, 20(11), 861–871.
- Krstrup, P., Randers, M., Horton, J., Brito, J., & Rebelo, A. N. (2012). Ecological validity of the Yo-Yo SFIE2 test. *International journal of sports medicine*, 33(06), 432–438.
- Kuntze, G. (2008). *A biomechanical and physiological investigation of „atypical“ gaits used in badminton* [Doktorski rad, Loughborough University].
- Kuntze, G., Sellers, W. I., & Mansfield, N. (2009). Bilateral ground reaction forces and joint moments for lateral sidestepping and crossover stepping tasks. *Journal of sports science & medicine*, 8(1), 1–8.
- Lacquaniti, F., Ivanenko, Y. P., & Zago, M. (2012). Patterned control of human locomotion. *The journal of physiology*, 590(10), 2189–2199.

- Lambert, M. I., & Borresen, J. (2010). Measuring training load in sports. *International journal of sports physiology and performance*, 5(3), 406–411.
- Lansley, K. E., Winyard, P. G., Fulford, J., Vanhatalo, A., Bailey, S. J., Blackwell, J. R., DiMenna, F. J., Gilchrist, M., Benjamin, N., & Jones, A. M. (2011). Dietary nitrate supplementation reduces the O<sub>2</sub> cost of walking and running: A placebo-controlled study. *Journal of applied physiology*, 110(3), 591–600.
- Laursen, P. B. (2010). Training for intense exercise performance: high-intensity or high-volume training? *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 20 Suppl 2(SUPPL. 2), 1–10.
- Laursen, P. B., & Buchheit, M. (2019). Science and application of high-intensity interval training: solutions to the programming puzzle. U P. Laursen & M. Buchheit (Ur.). Human Kinetics.
- Laursen, P. B., & Jenkins, D. G. (2002). The scientific basis for high-intensity interval training: optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes. *Sports medicine*, 32(1), 53–73.
- Lukaski, H. C. (2017). *Body composition : health and performance in exercise and sport*. Taylor & Francis Inc.
- MacInnis, M. J., & Gibala, M. J. (2017). Physiological adaptations to interval training and the role of exercise intensity. *The journal of physiology*, 595(9), 2915–2930.
- Magalhães, T., Ribeiro, F., Pinheiro, A., & Oliveira, J. (2010). Warming-up before sporting activity improves knee position sense. *Physical therapy in sport*, 11(3), 86–90.
- Mann, T., Lamberts, R. P., & Lambert, M. I. (2013). Methods of prescribing relative exercise intensity: Physiological and practical considerations. *Sports medicine*, 43(7), 613–625.
- Mann, T. N., Lamberts, R. P., & Lambert, M. I. (2014). High responders and low responders: Factors associated with individual variation in response to standardized training. *Sports Medicine*, 44(8), 1113–1124.

- Margaria, R., Cerretelli, P., Aghemo, P., & Sassi, G. (1963). Energy cost of running. *Journal of applied physiology*, *18*(2), 367–370.
- Masumoto, K., Galor, K., Craig-Jones, A., & Mercer, J. A. (2019). Metabolic costs during backward running with body weight support. *International journal of sports medicine*, *40*(4), 269–275.
- Matthew, D., & Delextrat, A. (2009). Heart rate, blood lactate concentration, and time-motion analysis of female basketball players during competition. *Journal of sports sciences*, *27*(8), 813–821.
- Maus, H. M., Revzen, S., Guckenheimer, J., Ludwig, C., Reger, J., & Seyfarth, A. (2015). Constructing predictive models of human running. *Journal of the royal society interface*, *12*(103).
- Mayo, J., Lyons, B., Honea, K., Alvarez, J., & Byrum, R. (2004). Comparison of forward-, backward-, and lateral-motion exercise at self-selected intensities. *Journal of sport rehabilitation*, *13*(1), 67–74.
- McKay, A. K. A., Stellingwerff, T., Smith, E. S., Martin, D. T., Mujika, I., Goosey-Tolfrey, V. L., Sheppard, J., & Burke, L. M. (2022). Defining training and performance caliber: a participant classification framework. *International journal of sports physiology and performance*, *17*(2), 317–331.
- McLaren, S. J., Smith, A., Spears, I. R., & Weston, M. (2017). A detailed quantification of differential ratings of perceived exertion during team-sport training. *Journal of science and medicine in sport*, *20*(3), 290–295.
- Mendez-Villanueva, A., Buchheit, M., Simpson, B., & Bourdon, P. C. (2013). Match play intensity distribution in youth soccer. *International journal of sports medicine*, *34*(2), 101–110.
- Meyer, T., Lucía, A., Earnest, C. P., & Kindermann, W. (2005). A conceptual framework for performance diagnosis and training prescription from submaximal gas exchange parameters - Theory and application. *International journal of sports medicine, supplement*, *26*(1).

- Michalsik, L., Aagaard, P., & Madsen, K. (2012). Locomotion characteristics and match-induced impairments in physical performance in male elite team handball players. *International journal of sports medicine*, 34(07), 590–599.
- Minetti, A. E. (1998). The biomechanics of skipping gaits: A third locomotion paradigm? *Proceedings of the royal society: biological sciences*, 265(1402), 1227–1235.
- Mohr, M., Krstrup, P., & Bangsbo, J. (2003). Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *Journal of sports sciences*, 21(7), 519–528.
- Mujika, I. (2017). Quantification of training and competition loads in endurance sports: Methods and applications. U *International journal of sports physiology and performance* (Sv. 12, str. 9–17). Human Kinetics.
- Murias, J. M., Kowalchuk, J. M., & Paterson, D. H. (2011). Speeding of VO<sub>2</sub> kinetics in response to endurance-training in older and young women. *European journal of applied physiology*, 111(2), 235–243.
- Nicholas, C. W. (1997). Anthropometric and physiological characteristics of rugby union football players. *Sports medicine*, 23(6), 375–396.
- Nieman, D. C., Austin, M. D., Dew, D., & Utter, A. C. (2013). Validity of COSMED's quark CPET mixing chamber system in evaluating energy metabolism during aerobic exercise in healthy male adults. *Research in Sports Medicine*, 21(2), 136–145.
- Novacheck, T. F. (1998). The biomechanics of running. *Gait & Posture*, 7(1), 77–95.
- Olsen, O.-E., Myklebust, G., Engebretsen, L., Holme, I., & Bahr, R. (2005). Exercises to prevent lower limb injuries in youth sports: cluster randomised controlled trial. *BMJ (Clinical research ed.)*, 330(7489), 449.
- Ordway, J. D., Laubach, L. L., Vanderburgh, P. M., & Jackson, K. J. (2016). The effects of backwards running training on forward running economy in trained males. *Journal of strength and conditioning research*, 30(3), 763–767.

- Oxendale, C. L., Highton, J., & Twist, C. (2017). Energy expenditure, metabolic power and high speed activity during linear and multi-directional running. *Journal of science and medicine in sport*, 20(10), 957–961.
- Paes, M. R., & Fernandez, R. (2016). Evaluation of energy expenditure in forward and backward movements performed by soccer referees. *Brazilian journal of medical and biological research*, 49(5), e5061.
- Petrakis, D., Bassa, E., Papavasileiou, A., Xenofondos, A., & Patikas, D. A. (2020). Backward running: acute effects on sprint performance in preadolescent boys. *Sports*, 8(4), 55.
- Pettitt, R. W., Clark, I. E., Ebner, S. M., Sedgeman, D. T., & Murray, S. R. (2013). Gas exchange threshold and  $VO_{2max}$  testing for athletes: An update. *Journal of strength and conditioning research*, 27(2), 549–555.
- Poole, D. C., & Jones, A. M. (2012). Oxygen uptake kinetics. *Comprehensive Physiology*, 2(2), 933–996.
- Póvoas, S. C. A., Ascensao, A. A. M. R., Magalhães, J., Seabra, A. F. T., Krustup, P., Soares, J. M. C., & Rebelo, A. N. (2014). Physiological demands of elite team handball with special reference to playing position. *Journal of strength and conditioning research*, 28(2), 430–442.
- Póvoas, S. C. A., Castagna, C., Resende, C., Coelho, E. F., Silva, P., Santos, R., Seabra, A., Tamames, J., Lopes, M., Randers, M. B., & Krustup, P. (2017). Physical and physiological demands of recreational team handball for adult untrained men. *BioMed Research International*, 2017, 6204603.
- Póvoas, S. C. A., Seabra, A. F. T., Ascensao, A. A. M. R., Magalhães, J., Soares, J. M. C., & Rebelo, A. N. (2012). Physical and physiological demands of elite team handball. *Journal of strength and conditioning research*, 26(12), 3365–3375.
- Powers, S. K., & Howley, E. T. (2018). *Exercise Physiology: theory and application to fitness and performances* (10. izd.). McGraw-Hill Education.



- Rasica, L., Porcelli, S., Minetti, A. E., & Pavei, G. (2020). Biomechanical and metabolic aspects of backward (and forward) running on uphill gradients: another clue towards an almost inelastic rebound. *European journal of applied physiology*, *120*(11), 2507–2515.
- Reilly, T., & Bowen, T. (1984). Exertional costs of changes in directional modes of running. *Perceptual and motor skills*, *58*(1), 149–150.
- Reuter, B., & Dawes, J. (2016). Program design and technique for aerobic endurance training. U G. G. Haff & N. T. Triplett (Ur.), *essentials of strength and conditioning* (4. izd, str. 559–581). Human Kinetics.
- Roos, P. E., Barton, N., & van Deursen, R. W. M. (2012). Patellofemoral joint compression forces in backward and forward running. *Journal of biomechanics*, *45*(9), 1656–1660.
- Rössler, R., Donath, L., Bizzini, M., & Faude, O. (2016). A new injury prevention programme for children's football – FIFA 11+ Kids – can improve motor performance: a cluster-randomised controlled trial. *Journal of sports sciences*, *34*(6), 549–556.
- Rossow, L., Yan, H., Fahs, C. A., Ranadive, S. M., Agiovlasitis, S., Wilund, K. R., Baynard, T., & Fernhall, B. (2010). Postexercise hypotension in an endurance-trained population of men and women following high-intensity interval and steady-state cycling. *American journal of hypertension*, *23*(4), 358–367.
- Saltin, B. (1985). Hemodynamic adaptations to exercise. *The american journal of cardiology*, *55*(10), 42–47.
- Saunders, P. U., Pyne, D. B., Telford, R. D., & Hawley, J. A. (2004). Factors affecting running economy in trained distance runners. *Sports medicine*, *34*(7), 465–485.
- Schmidt-Nielsen, K. (1972). Locomotion: energy cost of swimming, flying, and running. *Science*, *177*(4045), 222–228.
- Seiler, S., & Tønnessen, E. (2009). Intervals, thresholds, and long slow distance: the role of intensity and duration in endurance training. *Sports science*, *13*(13), 32–53.

- Šentija, D., & Marković, G. (2009). The relationship between gait transition speed and the aerobic thresholds for walking and running. *International journal of sports medicine*, 30(11), 795–801.
- Šentija, D., Vučetić, V., & Marković, G. (2007). Validity of the modified conconi running test. *International journal of sports medicine*, 28(12), 1006–1011.
- Siri, W. E. (1961). Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods. *Nutrition*, 9(5), 480-91
- Soligard, T., Myklebust, G., Steffen, K., Holme, I., Silvers, H., Bizzini, M., Junge, A., Dvorak, J., Bahr, R., & Andersen, T. E. (2008). Comprehensive warm-up programme to prevent injuries in young female footballers: cluster randomised controlled trial. *BMJ*, 337, a2469.
- Sterzing, T., Frommhold, C., & Rosenbaum, D. (2016). In-shoe plantar pressure distribution and lower extremity muscle activity patterns of backward compared to forward running on a treadmill. *Gait and posture*, 46, 135–141.
- Stojanovic, E., Stojiljkovic, N., Scanlan, A. T., Dalbo, V. J., Berkelmans, D. M., & Milanovic, Z. (2018). The activity demands and physiological responses encountered during basketball match-play: a systematic review. *Sports medicine*, 48(1), 111–135.
- Taylor, H. L., Buskirk, E., & Henschel, A. (1955). Maximal oxygen intake as an objective measure of cardio-respiratory performance. *Journal of applied physiology*, 8(1), 73–80.
- Taylor, J. B., Wright, A. A., Dischiavi, S. L., Townsend, M. A., & Marmon, A. R. (2017). Activity demands during multi-directional team sports: a systematic review. *Sports medicine*, 47(12), 2533–2551.
- Terblanche, E., Page, C., Kroff, J., & Venter, R. E. (2005). The effect of backward locomotion training on the body composition and cardiorespiratory fitness of young women. *International journal of sports medicine*, 26(3), 214–219.

- Terblanche, E., & Venter, R. E. (2009). The effect of backward training on the speed, agility and power of netball players. *South african journal for research in sport, physical education and recreation*, 31(2), 135–145.
- Thompson, W. R., Gordon, N. F., & Pescatello, L. S. (Ur.). (2010). *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription* (8. izd.). Wolters Kluwer.
- Thorstensson, A. (1986). How is the normal locomotor program modified to produce backward walking? *Experimental brain research*, 61(3), 664–668.
- Timmons, J. A., Gustafsson, T., Sundberg, C. J., Jansson, E., & Greenhaff, P. L. (1998). Muscle acetyl group availability is a major determinant of oxygen deficit in humans during submaximal exercise. *American journal of physiology - endocrinology and metabolism*, 274(2 37-2).
- Ufland, P., Ahmaidi, S., & Buchheit, M. (2013). Repeated-sprint performance, locomotor profile and muscle oxygen uptake recovery: Effect of training background. *International journal of sports medicine*, 34(10), 924–930.
- Uthoff, A., Oliver, J., Cronin, J., Harrison, C., & Winwood, P. (2018). A new direction to athletic performance: understanding the acute and longitudinal responses to backward running. *Sports medicine*, 48(5), 1083–1096.
- Uthoff, A., Oliver, J., Cronin, J., Harrison, C., & Winwood, P. (2020). Sprint-specific training in youth: backward running vs. Forward running training on speed and power measures in adolescent male athletes. *Journal of strength and conditioning research*, 34(4), 1113–1122.
- Uthoff, A., Oliver, J., Cronin, J., Winwood, P., & Harrison, C. (2018). Prescribing target running intensities for high-school athletes: Can forward and backward running performance be autoregulated? *Sports*, 6(3).
- Uthoff, A., Zois, J., van den Tillaar, R., & Nagahara, R. (2021). Acceleration mechanics during forward and backward running: A comparison of step kinematics and kinetics over the first 20 m. *Journal of sports sciences*, 39(16), 1816–1821.

- Vučetić, V., Gulin, J., & Dajaković, S. (2021). Analysis of metabolic demands in sideways running. U S. Šalaj & D. Škegro (Ur.), *9th International scientific conference on kinesiology* (str. 335–338). University of Zagreb Faculty of Kinesiology.
- Wasserman, K., Hansen, J. E., Sue, D. Y., Stringer, W. W., Sietsema, K. E., Sun, X.-G., & Whipp, B. J. (2011). *Principles of exercise testing and interpretation: including pathophysiology and clinical applications* (5. izd.). Wolters Kluwer Health
- Weiner, J. S., & Lourie, J. A. (1969). *Human biology: a guide to field methods*. Blackwell Scientific, Oxford.
- Wells, C. L., & Pate, R. R. (1995). Training for performance of prolonged exercise. U D. L. Lamb & R. Murray (Ur.), *Perspectives in exercise science and sports medicine* (str. 357–388). Benchmark Press.
- Weyand, P. G., Sandell, R. F., Prime, D. N. L., & Bundle, M. W. (2010). The biological limits to running speed are imposed from the ground up. *Journal of applied physiology*, *108*(4), 950–961.
- Whipp, B. J., & Wasserman, K. (1972). Oxygen uptake kinetics for various intensities of constant-load work. *Journal of applied physiology*, *33*(3), 351–356.
- Whitall, J. (1989). A developmental study of the interlimb coordination in running and galloping. *Journal of motor behavior*, *21*(4), 409–428.
- Williford, H. N., Olson, M. S., Gauger, S., Duey, W. J., & Blessing, D. L. (1998). Cardiovascular and metabolic costs of forward, backward, and lateral motion. *Medicine and science in sports and exercise*, *30*(9), 1419–1423.
- Wright, S., & Weyand, P. G. (2001). The application of ground force explains the energetic cost of running backward and forward. *The journal of experimental biology*, *204*(Pt 10), 1805–1815.
- Yamashita, D. (2014). *The mechanics of human sideways locomotion* [Doktorski rad, Kyoto University].

- Yamashita, D., Fujii, K., Yoshioka, S., Isaka, T., & Kouzaki, M. (2017). Asymmetric interlimb role-sharing in mechanical power during human sideways locomotion. *Journal of biomechanics*, *57*, 79–86.
- Yamashita, D., Shinya, M., Fujii, K., Oda, S., & Kouzaki, M. (2013). Walk-, run- and gallop-like gait patterns in human sideways locomotion. *Journal of electromyography and kinesiology*, *23*(6), 1480–1484.
- Zois, J., Bishop, D., & Aughey, R. (2015). High-intensity warm-ups: effects during subsequent intermittent exercise. *International journal of sports physiology and performance*, *10*(4), 498–503.

## 9. ŽIVOTOPIS AUTORA

Jere Gulin je rođen u Šibeniku 12.7.1992., po nacionalnosti Hrvat, hrvatski državljanin. Otac je dvije djevojčice. Po struci je magistar kineziologije, kineziterapeut. Deset godina se bavio veslanjem te je bio član reprezentacije Hrvatske.

Tijekom studija radi kao trener-volonter veslačke sekcije Fakulteta elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu. U periodu od 2014. do 2017. radi u programu „Mali sportaši“, univerzalnoj sportskoj školi „Mladost“, gimnastičkom klubu „Trešnjevka“ kao trener. Od 2016. godine sudjeluje u provedbi i organizaciji mjerenja te analiza svih elemenata antropološkog statusa vrhunskih i amaterskih sportaša u Sportsko dijagnostičkom centru Kineziološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Nakon diplomiranja na Kineziološkom fakultetu u Zagrebu, upisuje poslijediplomski doktorski studij kineziologije. Od 2017. godine sudjeluje izvođenju nastave na integriranom preddiplomskom sveučilišnom studiju kineziologije (Sistematska kineziologija, Metodologija kinezioloških istraživanja, Systematic kinesiology, Methodology of kinesiological research, Antropološka analiza u kondicijskoj pripremi sportaša, Kineziološka orijentacija i selekcija, Kinesiological orientation and selection, Evaluacija kinezioloških tretmana), preddiplomskom stručnom studiju izobrazbe trenera (Osnove kineziologije, Dijagnostika kondicijske pripremljenosti, Metodika kondicijske pripremljenosti III, Kineziološka orijentacija i selekcija), te specijalističkom diplomskom studiju izobrazbe trenera (Sportska dijagnostika) na Kineziološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Izborom u naslovno nastavno zvanje predavača na predmetu Sistematska kineziologija, od ak. godine 2019./20. sudjeluje u provedbi nastave predavanja te pismenih i usmenih ispita na prethodno navedenim kolegijima.

Od 2017. sudjeluje u izvođenju nastave na Hrvatskoj Olimpijskoj Akademiji kao predavač na nastavnim cjelinama Osnove kineziološke statistike i Osnove teorije treninga.

Od rujna 2022. godine, zaposlen je na radnom mjestu asistent na Kineziološkom fakultetu, Sveučilišta u Zagrebu na kolegiju Sistematska kineziologija.

## Popis znanstvenih i stručnih radova

- Bok, D.; **Gulin, J.**; Škegro, D.; Šalaj, S. i Foster, C. (2023) Comparison of anaerobic speed reserve and maximal aerobic speed methods to prescribe short format high-intensity interval training, *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 00; 1-10
- Bok, D.; **Gulin, J.** i Gregov, C. (2023) Accuracy of the 20-m shuttle run test for individualizing exercise intensity of high- intensity interval training, *Kinesiology*, 55(1); 3-12
- Vučetić, V., **Gulin, J.** i Dajaković, S. (2021) Analysis of metabolic demands in sideways running. U: Šalaj, S. i Škegro, D. (ur.) Proceedings book of the 9th international scientific conference on kinesiology. Opatija, Hrvatska, str. 335-338.
- Bok, D., **Gulin, J.** i Škegro, D. (2021) Validity of the 30-15 intermittent fitness test for measuring maximal oxygen uptake in physically active individuals. U: Šalaj, S. i Škegro, D. (ur.) Proceedings book of the 9th international scientific conference on kinesiology. Opatija, Hrvatska, str. 294-299.
- Gulin, J.**, Vučetić, V., Dajaković, S., Sporiš, G., Krespi, M. i Clark, C. (2020) The effects of rowing ergometer design on metabolic paramters during an incremental maximal test. *Acta kinesiologicala*, 14(1), 105-108.
- Sabol, F., Mikulić, I., **Gulin, J.** i Mikulić, P. (2020) Akutni utjecaj tri doze kofeina na jakost kod dvije skupine vježbača iskusnih u treningu s otporom. U: Milanović, L., Wertheimer, L. i Jukić, I. (ur.) Kondicijska priprema sportaša 2020.: zbornik radova. Zagreb, Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu; Udruga kondicijskih trenera Hrvatske, str. 67-70.
- Čupić, L., Vučetić, V., **Gulin, J.**, Dajaković, S. i Mikulić, I. (2019) Analiza razlika između olimpijskih borilačkih sportova u morfološkim karakteristikama. U: Milanović, L., Wertheimer, V. i Jukić, I. (ur.) Kondicijska priprema sportaša. Zagreb, Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Udruga kondicijskih trenera Hrvatske, str. 138-144.
- Vučetić, V., **Gulin, J.**, Čupić, L. i Dajaković, S. (2019) Morphological differences between kickboxing and olympic combat sports. U: Bjelica, D., Popovic, S. i Akpinar, S. (ur.)

Sport, Physical Activity and Health: Contemporary Perspectives. Dubrovnik, Montenegrin Sports Academy i University of Montenegro, str. 75-75.

Mikulić, I., Galić, M., Dajaković, S. i **Gulin, J.** (2019) Differences in parameters of functional and motor capacities in football players of different age category and position. U: 5th International Scientific Conference on Exercise and Quality of Life. Novi Sad, Srbija, 11.-13.04.2019.

**Gulin, J.**, Vučetić, V. i Dajaković, S. (2019) Report of individual changes in anthropological status after finishing Croatian long-distance trail. U: 5th International Scientific Conference on Exercise and Quality of Life. Novi Sad, Srbija, 11.-13.4.2019.

Sporiš, G., Stojiljković, N., Vučetić, V. i **Gulin, J.** (2019) Tjelesna aktivnost i mozak. U: Mach, Z. (ur.) 14. Kongres osoba sa šećernom bolešću Hrvatske. Zagreb, HSDU, str. 10-10.

Dajaković, S., Vučetić, V. i **Gulin, J.** (2018) Differences in time spent in the anaerobic zone between incremental treadmill test and incremental kettlebell swinging test. U: Škegro, D., Belčić, I., Sporiš, G. i Krističević, T. (ur.) World Congress of Performance Analysis in Sport XII: proceedings. Zagreb, Faculty of Kinesiology, str. 372-376.

Dajaković, S., Vučetić, V. i **Gulin, J.** (2018) Razlike u vrijednostima izmjerene i algoritmima procijenjene maksimalne frekvencije srca u progresivnom testu opterećenja s ruskim zvonom. U: Milanović, L., Wertheimer, V. i Jukić, I. (ur.) Kondicijska priprema sportaša 2018. Zagreb, Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Udruga kondicijskih trenera Hrvatske, str. 112-115.

**Gulin, J.**, Vučetić, V. i Dajaković, S. (2018) Relacija maksimalnog dostignutog opterećenja sa ventilacijskim i metaboličkim parametrima u progresivnom testu opterećenja na veslačkom ergometru. U: Milanović, L., Wertheimer, V. i Jukić, I. (ur.) Kondicijska priprema sportaša 2018. Zagreb, Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Udruga kondicijskih trenera Hrvatske, str. 123-127.

**Gulin, J.**, Vučetić, V., Dajaković, S., Sporiš, G. i Štefan, L. (2018) Can anaerobic energetic capacity be estimated from a primarily aerobic energetic capacity test protocol?. U: Škegro, D., Belčić, I., Sporiš, G. i Krističević, T. (ur.) World Congress of Performance Analysis of Sport XII: Proceedings. Zagreb, Faculty of Kinesiology, str. 418-418.



Vučetić, V., **Gulin, J.**, Tvrtković, T. i Sukreški, M. (2017) Effects of RunningMax® gel in skin temperature values and training recovery. U: Zvonař, M. (ur.) 11th International conference on kinanthropology. Brno, Masaryk University, Brno, str. 47-47.

**Gulin, J.** i Vućetić, V. (2017) Postoje li razlike u morfološkim parametrima između veslača rimen i skul disciplina?. U: Jukić, I., Milanović, L. i Wertheimer, V. (ur.) Kondicijska priprema sportaša 2017. Zagreb, Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Udruga kondicijskih trenera Hrvatske, str. 104-109.

Dajaković, S., Vućetić, V. i **Gulin, J.** (2017) Postupak mjerenja i procjene  $VO_{2max}$  pomoću progresivnog testa opterećenja s ruskim zvonom. *Kondicijski trening*; 12 (2), 23-26.