

RAZLIKE U AKUTNOJ ŽIVČANO-MIŠIĆNOJ REAKCIJI NA DVA RAZLIČITA VISOKO-INTENZIVNA INTERVALNA TRENINGA

Ambruš, Paula

Master's thesis / Diplomski rad

2021

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:117:088371>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#) / [Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-31**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

KINEZIOLOŠKI FAKULTET

(studij za stjecanje akademskog naziva: magistar kineziologije u edukaciji i kondicijskoj pripremi sportaša)

Paula Ambruš

**RAZLIKE U AKUTNOJ ŽIVČANO-MIŠIĆNOJ
REAKCIJI NA DVA RAZLIČITA VISOKO-
INTENZIVNA INTERVALNA TRENINGA**

diplomski rad

Mentor:

doc. dr. sc. Daniel Bok

Zagreb, rujan, 2021.

Ovim potpisima se potvrđuje da je ovo završena verzija diplomskog rada koja je obranjena pred Povjerenstvom, s unesenim korekcijama koje je Povjerenstvo zahtijevalo na obrani te da je ova tiskana verzija istovjetna elektroničkoj verziji predanoj u Knjižnici.

Mentor:

doc. dr. sc. Daniel Bok

Student:

Paula Ambruš

RAZLIKE U AKUTNOJ ŽIVČANO-MIŠIĆNOJ REAKCIJI NA DVA RAZLIČITA VISOKO-INTENZIVNA INTERVALNA TRENINGA

Sažetak

Cilj rada je utvrditi razlike u akutnoj živčano-mišićnoj reakciji na visoko-intenzivne intervalne treninge programirane pomoću *20m shuttle run testa* (20mSRT) i *30-15 Intermittent fitness testa* (30-15IFT).

U istraživanju je sudjelovalo 15 mladih nogometaša u dobi od $17,8 \pm 0,5$ godina. Napravili su dva terenska testa (20mSRT i 30-15IFT) na temelju kojih su se programirala dva visoko intenzivna intervalna treninga. Za procjenu srčano-dišnog, živčano-mišićnog i subjektivnog odgovora na visoko-intenzivni intervalni trening (VIIT) koristile su se frekvencija srca, koncentracija laktata u krvi (La) i subjektivna procjena opterećenja (SPO) izražena na skali od 1 do 10. Podatci su analizirani u programu Statistica te su bili prikazani kao aritmetička sredina i standardna devijacija, a za analizu razlika između varijabli korištena je univarijantna analiza varijance (ANOVA) za ponovljena mjerenja. Srčano-dišna reakcija te La i SPO bili su značajno veći tijekom i nakon VIIT-a programiranog na temelju 30-15IFT. Sprint na 25m i izvedba ponavljanih sprintova bili su značajno slabiji nakon oba treninga u odnosu na mjerenje prije treninga, ali nije bilo statistički značajnih razlika između grupa nakon treninga. Skok s pripremom je bio značajno bolji nakon oba VIIT-a što je rezultiralo odbacivanjem postavljene hipoteze, ali također nije bilo statistički značajnih razlika između grupa nakon treninga.

Na temelju rezultata može se zaključiti da ne postoji značajna razlika u živčano-mišićnoj reakciji između treninga programiranih pomoću 20mSRT i 30-15IFT.

Ključne riječi: 20m shuttle run test, 30-15 Intermittent fitness test, srčano-dišni odgovor, koncentracija laktata, skok s pripremom, sprint, ponavljani sprintovi

DIFFERENCES IN ACUTE NEUROMUSCULAR RESPONSES ON TWO DIFFERENT HIGH-INTENSITY INTERVAL TRAINING

Abstract

The aim of this research is to determine differences in acute neuromuscular responses on two high-intensity interval training based on *20m shuttle run test (20mSRT)* and *30-15 Intermittent fitness test (30-15IFT)*.

Fifteen young soccer players at the age of $17,8 \pm 0,5$ years participated in this study. They underwent two field tests (20mSRT and 30-15IFT) based on which two high-intensity interval training (HIIT) were programmed. Heart rate, blood lactate concentration (La) and ratings of perceived exertion (RPE) were used for the evaluation of cardiorespiratory, neuromuscular and perceptual responses to HIIT. Results were analyzed in Statistica and were shown as mean and standard deviation. Analysis of variance (ANOVA) for repeated measures was used for assessment of differences in variables. The results showed that cardiorespiratory response, La and RPE were significantly higher during and after HIIT based on 30-15IFT. The 25 m sprint and repeated sprints were significantly lower after both training sessions compared to the values obtained before the sessions. Countermovement jump was significantly higher after both HIIT sessions which resulted with rejection of the hypothesis, but there was no statistically significant differences between groups after the sessions.

Based on these results, it can be concluded there are no statistically significant differences in neuromuscular responses between HIIT sessions programmed using 20mSRT and 30-15IFT.

Key words: 20m shuttle run test, 30-15 Intermittent fitness test, cardiorespiratory responses, blood lactate concentration, countermovement jump, sprint, repeated sprints

Sadržaj

1. Uvod	6
2. Cilj istraživanja	10
3. Hipoteze istraživanja	10
4. Metode istraživanja	10
4.1. Uzorak ispitanika	10
4.2. Eksperimentalni protokol istraživanja	10
4.3. 30-15 Intermittent fitness test (30-15IFT)	11
4.4. 20m Shuttle run test (20mSRT)	11
4.5. Test za procjenu sposobnosti ponavljanih sprintova	12
4.6. Visoko-intenzivni intervalni treninzi	12
4.7. Skok s pripremom (SSP)	12
4.8. Koncentracija laktata u krvi	13
4.9. Metode obrade podataka	13
5. Rezultati	14
6. Rasprava	20
7. Zaključak	24
8. Literatura	25

1. Uvod

U današnje vrijeme velika je pozornost kondicijskih trenera usmjerena na visoko-intenzivni intervalni trening (VIIT). VIIT je poznat kao trenažna metoda koja je jedna od najučinkovitijih za poboljšanje srčano-dišnih i metaboličkih funkcija (Buchheit & Laursen, 2013a). VIIT se sastoji od ponavljajućih kratkih (<45s) ili dugih (2-4min) intervala rada koji se izvode intenzitetima bliskim brzini povezanoj s postizanjem maksimalnog primitka kisika (VO_{2max}) te su prekinuti periodom aktivnog ili pasivnog odmora (Buchheit & Laursen, 2013b). Kako bi se izazvale maksimalne srčano-dišne i metaboličke prilagodbe sportaš bi trebao biti nekoliko minuta u zoni iznad 90% od VO_{2max} ili maksimalne frekvencije srca (FS_{max}) (Buchheit & Laursen, 2013a).

VIIT se dijeli na pet različitih formata ili tipova treninga: VIIT kratkih intervala, VIIT dugih intervala, trening ponavljajućih sprintova, sprint intervalni trening i VIIT baziran na igri, odnosno sportu. Svaki od ovih tipova treninga izaziva drugačiji odgovor koji može biti više aeroban, aneroban (glikolitički) ili živčano-mišićni, ovisno o manipulaciji varijablama, odnosno programiranju treninga (Buchheit & Laursen, 2019).

VIIT kratkih intervala često se koristi u timskim sportovima zbog svoje isprekidane prirode koja oponaša obrasce kretanja u tim sportovima te se može lako prilagoditi dvoranama s ograničenim raspoloživim prostorom (Dupont & Berthoin, 2004). Intervalni trening je karakteriziran interakcijom između više parametara kao što su trajanje i intenzitet intervala rada te trajanje i intenzitet intervala odmora ako se radi o aktivnom odmoru (Dupont & Berthoin, 2004). Studije su pokazale da izvođenje VIIT kratkog formata od 15 sekundi intervala rada pri intenzitetima iznad brzine postizanja maksimalnog primitka kisika (vVO_{2max}) naizmjenično s intervalima odmora od 15 sekundi, sportašu omogućuje da provede nekoliko minuta u zoni iznad 90% maksimalnog primitka kisika (Billat i sur., 2001). Stoga je potrebno ustanoviti koji intenzitet je potreban da bi se izazvale maksimalne srčano-dišne prilagodbe. Za VIIT kratkih intervala koriste se intenziteti iznad vVO_{2max} . Na primjeru VIIT-a kratkih intervala u trajanju od 15 sekundi rada i odmora Dupont i sur. (2002) su prikazali da se na intenzitetu od 120% od maksimalne aerobne brzine (MAB) provelo najviše vremena oko maksimalnog primitka kisika, a poboljšanje maksimalnog primitka kisika često je cilj treninga radi zdravlja i dobre izvedbe na natjecanjima (Dupont & Berthoin, 2004).

Za programiranje VIIT-a često se koriste rezultati dobiveni kroz testiranja terenskim testovima za procjenu aerobne izdržljivosti. Brojni terenski testovi koristili su se za utvrđivanje

MAB i posredno VO_{2max} (Bok & Foster, 2021). Sastoje se od kontinuiranog ili intervalnog pravocrtnog ili povratnog trčanja od linije do linije te testova maksimalne brzine trčanja.

30-15 Intermittent fitness test (30-15IFT) je nedavno razvijen kako bi se dobila završna brzina testa (vIFT) koja je preciznija za propisivanje i programiranje VIIT kratkog formata (Buchheit, 2008). Osim što maksimalno aktivira srčano-dišni sustav, realizacija 30-15IFT-a u velikoj mjeri ovisi i o nekim drugim kondicijskim parametrima koji se manifestiraju pri izvedbi isprekidanog progresivnog testa opterećenja izvedenog kroz povratno trčanje (Buchheit, 2008; 2010). Radi se o eksplozivnosti donjih ekstremiteta manifestirane kod usporavanja i ubrzavanja kao i sposobnosti brzog oporavka manifestirane tijekom 15-sekundnih perioda oporavka (Buchheit, 2008). Te su kondicijske sposobnosti podjednako aktivirane i pri realizaciji VIIT-a kratkog formata i zbog toga je 30-15IFT optimalan test za programiranje takvih treninga (Bok & Foster, 2021). Maksimalna istrčana brzina na testu (vIFT) služi za programiranje VIIT-a kratkog formata koji omogućuje postizanje poželjne razine metaboličkog odgovora. Upravo zato, 30-15IFT je točan alat za individualizaciju VIIT-a kratkog formata jer dopušta programiranje sličnog opterećenja za svakog igrača (Buchheit, 2008).

Programiranje VIIT-a sastoji se od devet varijabli kojima se manipulira: trajanje i intenzitet intervala rada, trajanje i intenzitet intervala odmora, sadržaj intervala rada, broj ponavljanja, broj serija, trajanje i intenzitet odmora između serija, a svaka od njih vjerojatno ima utjecaj na akutni fiziološki odgovor (Buchheit & Laursen, 2013b). Iako su srčano-dišne i metaboličke reakcije na VIIT od primarne važnosti, živčano-mišićna reakcija također predstavlja važnu komponentu fiziološkog odgovora na VIIT. Potrebno ju je uzeti u obzir kod programiranja VIIT-a zbog maksimizacije ishoda treninga, a mjeri se pomoću motoričkih testova kao što su skokovi, sprintovi (Rusko, Nummela & Mero, 1993) i ponavljajući sprintovi (Buchheit & Laursen, 2019). Mnogi tipovi VIIT-a imaju slične srčano-dišne odgovore, a ujedno mogu imati potpuno različite živčano-mišićne odgovore, odnosno vježbe visokog intenziteta i trajanja vode do velikog angažmana živčano-mišićnog i mišićno-koštanog sustava (Buchheit & Laursen, 2013b). To uključuje napetost u mišićima i tetivama, regrutaciju mišićnih vlakana i povezane promjene u živčano-mišićnim performansama. Takvo fiziološko naprezanje treba uzeti u obzir kod sljedećih treninga kako bi se izbjegla pojava pretreniranosti i kroničnog umora te optimizirala prilagodba na trening (Buchheit & Laursen, 2019). Treneri sportaša iz sportova izdržljivosti često koriste VIIT-e u kojima nastoje izazvati što veće živčano-mišićne reakcije kako bi poboljšali mehaničke parametre trčanja kod svojih sportaša i, hipotetski, otpornost na umor donjih ekstremiteta (Bonacci et al., 2009). Živčano-mišićni umor nakon VIIT-a može se

zadržati nekoliko sati ili dan i na taj način imati direktan utjecaj na sljedeći trening te može umanjiti podražaje tog treninga i prilagodbu živčano-mišićnog sustava (Buchheit & Laursen, 2019). Stoga treneri timskih sportova uglavnom preferiraju manji volumen VIIT-a kako bi imali što manju akutnu živčano-mišićnu reakciju. S druge strane, u posljednjoj fazi pripremnog perioda ponekad je ipak potrebno postići veće živčano-mišićno opterećenje u VIIT-u kako bi se imitirali specifični zahtjevi sporta (Buchheit & Laursen, 2013b).

Trenutno ne postoji velik broj istraživanja u kojima je analizirana akutna živčano-mišićna reakcija na VIIT-e.

U istraživanju Buchheit i sur. (2011) testirali su osam mladih trkača na srednje i duge pruge te su gledali živčano-mišićnu reakciju nakon VIIT dugog intervala na način da su prije treninga napravili tri ponavljanja skoka s pripremom (33 ± 3 cm) i tri sprinta na 20 metara ($3,25 \pm 0,17$ s) te utvrdili koncentraciju laktata u krvi ($1,8 \pm 0,6$ mmol/l). Dvije minute i 20 minuta nakon treninga koji se izvodio 5×3 min s odmorom između serija 90 s ponovo su radili skok s pripremom. Uzorak krvi uzimao se 3 minute nakon treninga, a sprintovi su se izvodili 7-8 minuta nakon treninga te ponovo nakon 4 sata. Rezultati skoka s pripremom 2 minute nakon treninga bili su 32 ± 2 cm, a nakon 20 minuta 31 ± 3 cm što nije bilo statistički značajno. Rezultati sprinta su bili bolji 7-8 minuta nakon treninga ($3,23 \pm 0,16$ s), a 4 sata nakon bili su isti kao prije treninga ($3,25 \pm 0,17$ s). Razlika u koncentracija laktata bila je statistički značajna nakon treninga ($5,7 \pm 1,8$ mmol/l). Takve rezultate povezali su sa sposobnosti sportaša izdržljivosti da toleriraju umor zbog njihovog većeg postotka sporih mišićnih vlakana (Vuorimaa i sur., 2006).

Vuorimaa i sur. (2000) su istraživali fiziološke reakcije na dva VIIT-a. Deset srednjoprugaša provodili su VIIT od 14 intervala 60 s/60 s i drugi VIIT koji se sastoji od 7 intervala 120 s/120 s. Prije i poslije treninga provodili su vertikalni skok, ali nije bilo značajnih razlika.

Binnie i sur. (2013a) su radili istraživanje o fiziološkim reakcijama nakon VIIT-a kratkih intervala. Deset ispitanika timskog sporta napravili su 24 sata prije treninga testiranje vertikalnog skoka (58 cm) i test ponavljanih sprintova u kojem su izvodili 8 maksimalnih sprintova svakih 20 sekundi na udaljenosti 20 metara. Varijable za analizu su uključivale najbolji sprint (3,31 s) i postotak opadanja sprinta (3,7%). Također, ispitanici su proveli i test trčanja na 3 km (12:34.2 min). Trening se sastojao od 3 seta u intervalima rada i odmora 2×45 s:90 s, 3×20 s:60 s i 2×15 s:45 s s pauzom između setova 5 minuta. Dvadeset četiri sata nakon

treninga ponovili su test vertikalnog skoka (58 cm), test za procjenu sposobnosti ponovljenih sprintova u kojem su gledali najbolji sprint (3,34 s) i postotak opadanja (4,6%) te prolazno vrijeme trčanja na 3 km (12:41.0 min). Nije bilo značajnih razlika u vertikalnom skoku, najboljem sprintu, postotku opadanja sprinta i prolaznom vremenu trčanja na 3 km.

Također, Binnie i sur. (2013b) su napravili nastavak na prethodno istraživanje u kojem su umjesto VIIT-a kratkih intervala istraživali fiziološke reakcije nakon VIIT-a baziranog na igri. Koristili su se isti testovi, ali također nije bilo statistički značajnih razlika, međutim rezultati vertikalnog skoka su bili bolji nakon treninga kao i sprint na 20 m koji je bio brži. Zanimljivo je da je postotak opadanja sprinta bio veći nakon treninga, ali ukupno vrijeme sprintova je bilo bolje, na temelju čega se može pretpostaviti da je i prosjek sprintova bio manji nego prije treninga.

Vuorimaa i sur. (2006) su proučavali akutne promjene u mišićnoj aktivaciji i snazi nakon tri različita treninga trčanja. Dvadeset dvoje profesionalnih dugoprugaša radili su na traci test do otkaza kako bi im mogli odrediti intenzitet treninga na temelju VO_{2max} . Radili su tri treninga. Prvi je bio trening maksimalnih sprintova, drugi trening se sastojao od kontinuiranog trčanja 40 minuta, a treći je bio intervalni trening koji je također trajao 40 minuta. Intenzitet kontinuiranog trčanja bio je 80% vVO_{2max} , a intenzitet VIIT-a na 100% vVO_{2max} s izmjenom intervala rada i odmora svake 2 minute. Prije i nakon treninga ispitanici su izvodili skok s pripremom te je bio statistički značajno bolji nakon sva tri trčanja. Rezultati su pokazali da ovakvim treninzima dolazi do akutnog poboljšanja vertikalne snage donjih ekstremiteta kod dobro treniranih sportaša izdržljivosti te sugeriraju da povećano korištenje elastične energije kod skoka s pripremom može djelomično objasniti poboljšanje u snazi donjih ekstremiteta.

U današnje vrijeme aerobne sposobnosti u timskim sportovima često se procjenjuju pomoću drugih terenskih testova kao što su 20m shuttle run test (20mSRT) (Léger & Lambert, 1982) i Yo-Yo intermittent recovery test (YoYoIRT) (Bangsbo i sur., 2008). U ekipnim sportovima često se koristi 20mSRT zbog smanjenog prostora testiranja i bolje prognoze VO_{2max} te pretpostavke da je test specifičan ekipnim sportovima zbog velikog broja promjena smjera kretanja. Rezultati istraživanja koje trenutno prolazi recenzentski postupak pokazali su da je intenzitet od 110% od završne brzine na 20mSRT ($v20mSRT$) optimalan za programiranje VIIT-a kratkih intervala (podaci poznati autoru).

Iz tog razloga, u ovom istraživanju provodit će se dva VIIT-a kratkih intervala na temelju terenskih testova 20mSRT i 30-15IFT, jer se u današnje vrijeme najviše koriste zbog

svoje jednostavnosti provedbe, te će se utvrditi razlike u akutnoj živčano-mišićnoj reakciji kako bi treneri i sportaši znali koji VIIT izabrati s obzirom na reakcije koje žele postići treningom.

2. Cilj istraživanja

Utvrđiti razlike u akutnoj živčano-mišićnoj reakciji na visoko-intenzivne intervalne treninge programirane pomoću 20mSRT i 30-15IFT.

3. Hipoteze istraživanja

H1: VIIT programiran na temelju 20mSRT-a rezultirat će statistički značajno većim opadanjem rezultata u skoku s pripremom.

H2: VIIT programiran na temelju 20mSRT-a rezultirat će statistički značajno većim opadanjem rezultata u sprintu na 25 metara.

H3: VIIT programiran na temelju 20mSRT-a rezultirat će statistički značajno većim opadanjem u testu ponavljanih sprintova.

4. Metode istraživanja

4.1. Uzorak ispitanika

Uzorak ispitanika čini 15 mladih sportaša u dobi od $17,8 \pm 0,5$ godina koji su registrirani za nogometni klub Rudeš, a pripadaju kategoriji mlađih juniora. Treniraju nogomet oko 11 godina, a trenutno se natječu na županijskoj razini te treniraju 4-6 puta tjedno. U vrijeme istraživanja ispitanici su završili natjecateljski period te su bili informirani o zahtjevima i riziku istraživanja. Etičko povjerenstvo je izdalo odobrenje za provedbu istraživanja te su svi punoljetni ispitanici potpisali pismeni pristanak, a za maloljetne ispitanike pismeni pristanak potpisali su njihovi roditelji.

4.2. Eksperimentalni protokol istraživanja

Mjerenja su provedena na nogometnom terenu NK Rudeš. Sva mjerenja proveo je isti mjeritelj. Ispitanici su nasumično bili odabrani u dvije skupine. Zbog testiranja vertikalnog skoka koji se nije mogao izvoditi na terenu zbog trave, nego na ravnoj površini, ispitanici su u svim testovima morali koristiti tenisice, a ne kopačke.

Ispitanici su prvo bili testirani s dva terenska testa prema kojima su bili programirani treninzi. Pošto su bili podijeljeni u dvije skupine, prvi dan je jedna skupina izvodila 30-15IFT, a druga 20mSRT. Drugo mjerenje bilo je 48 sati nakon prvog te su tada napravili drugi terenski test, dakle, oni koji su radili 30-15IFT sad rade 20mSRT i obrnuto. Na tim testiranjima zabilježena je brzina zadnje istrčane razine (vIFT i vSRT) prema kojoj će se programirati dva VIIT-a kratkih intervala te je zabilježena maksimalna frekvencija srca (FS_{max}) mjerena Polar H10 trakama prema kojoj će se kasnije pratiti vrijeme koje su proveli u zoni $> 90\%$ od FS_{max} tijekom treninga.

Četiri dana nakon testova, a jedan dan prije prvog VIIT-a izvodili su mjerenje kojim se testirala sposobnost ponavljanih sprintova (SPS). Test su izvodili 24 sata prije prvog VIIT-a da reakcija koju je proizveo test ne utječe na trening i akutnu živčano-mišićnu reakciju na trening.

Nakon toga provodila su se dva VIIT-a u razmaku od 48 sati kako bi bio što manji utjecaj prethodnog VIIT-a. Jedan je programiran na temelju 30-15IFT, a drugi na temelju 20mSRT. Neposredno prije oba treninga i 1-2 minute nakon treninga testirao se skok s pripremom (SSP). Uzorak krvi radi mjerenja koncentracije laktata uzimao se 3 minute nakon oba treninga, a 10 minuta nakon treninga ispitanici su provodili test ponavljanih sprintova.

4.3. 30-15 Intermittent fitness test (30-15IFT)

Test se sastoji od 30 sekundi povratnog trčanja na udaljenosti od 40 metara te nakon toga slijedi pauza od 15 sekundi. Brzina trčanja počinje na 8 km/h, a svakom sljedećom razinom se povećava za 0,5 km/h. Ispitanici trče između dvije linije udaljene 40 metara, a tempo kojim moraju trčati je zadan na temelju zvučnih signala koji su snimljeni. Na svaki zvučni signal ispitanici moraju biti na određenoj liniji koje su nazvane linija A, B i C, odnosno moraju biti u određenim zonama od 3 metra. Test završava kad ispitanik ne može nastaviti test ili kad ne uspije ući u zonu tri puta za redom. Brzina koja je istrčana na zadnjoj potpuno odrađenoj razini zapisuje se kao završna brzina (vIFT) prema kojoj se programira VIIT na temelju 30-15IFT (VIIT IFT) (Buchheit, 2008).

4.4. 20m Shuttle run test (20mSRT)

Za razliku od 30-15IFT ovaj test je kontinuiran. Ispitanici trče od linije do linije koje su udaljene 20 metara. Moraju biti na linijama na zvučni signal koji je snimljen. Frekvencija zvučnog signala se povećava svaku sljedeću razinu, odnosno brzina se svaku razinu poveća za 0,5 km/h, a test počinje na 8,5 km/h. Test je završen kad ispitanik ne može nastaviti test ili

zakasni dva puta na liniju. Brzina koja je zadnja istrčana bilježi se kao završna brzina (vSRT) prema kojoj će se programirati VIIT na temelju 20mSRT (VIIT SRT) (Léger i sur., 1988).

4.5. Test za procjenu sposobnosti ponavljanih sprintova

Ispitanici izvode šest maksimalnih sprintova na udaljenosti od 25 metara sa startom svakih 25 sekundi. Dva para fotočelija (Witty-Microgate, Bolzano, Italija) postavljene su na udaljenosti od 25 metara te mjere vrijeme koje je potrebno da se prijeđe ta udaljenost. Ispitanik na zvučni signal iz visokog starta kreće u sprint s oznaka koje su postavljene 0,5 metra iza fotočelija, a prolazno vrijeme svakog sprinta se zapisuje. Nakon što prođu kroz fotočelije, vraćaju se natrag do istih pa s te strane kreću u novi sprint. Bilježilo se prolazno vrijeme svakog sprinta, a na temelju tih rezultata dobit će se prosjek sprintova, postotak opadanja sprinta (%dec) te najbolje vrijeme sprinta. Postotak opadanja sprinta računa se pomoću formule: %dec = ((prosjek sprintova/najbolji sprint) × 100) – 100 (Buchheit & Laursen, 2019).

4.6. Visoko-intenzivni intervalni treninzi

Oba VIIT-a trajala su 10 minuta, a intervali rada i odmora trajali su 15 sekundi što znači da je ukupno bilo 20 intervala rada i odmora. Intenzitet intervala odmora je pasivan, a intenzitet intervala rada je izračunat na temelju završne brzine testova 30-15IFT i 20mSRT. Intenzitet na temelju 30-15IFT je 95% vIFT, a intenzitet na temelju 20mSRT je 110% vSRT. Udaljenost na kojoj se provodi VIIT IFT je 40 metara, a VIIT SRT na 20 metara. Zbog toga će biti veći broj promjena smjera kretanja tijekom VIIT SRT, odnosno izračunom je dobiveno da će u VIIT IFT biti jedna promjena smjera, a u VIIT SRT će biti dvije promjene smjera kretanja. Buchheit (2008) je odredio da se za svaki okret oduzme 0,7 sekundi tako da je to potrebno uvrstiti u formulu kod izračuna distance koju ispitanici trebaju trčati u jednom intervalu. Formula za VIIT IFT: $\text{distanca} = (95\% \text{ vIFT} / 3,6) \times 14,3 \text{ s}$. Formula za VIIT SRT: $\text{distanca} = (110\% \text{ vSRT} / 3,6) \times 13,6 \text{ s}$. Ispitanici su imali senzor brzine otkucaja srca H10 (Polar Electro, Kempele, Finska) kojim se mjerila frekvencija srca tijekom treninga. Bilježila se vršna frekvencija srca ($FS_{\text{vršna}}$), prosječna frekvencija srca (FS_{pro}) i vrijeme provedeno u zoni > 90% od FS_{max} koja je dobivena u terenskim testovima. Subjektivna procjena opterećenja (SPO) prema Borgovoj skali 1-10 (Foster, 2001) bilježila se nakon treninga.

4.7. Skok s pripremom (SSP)

Ispitanici su izvodili skok s pripremom (SSP) neposredno prije treninga te 1-2 minute nakon oba VIIT-a. Za mjerenje visine skoka koristio se OptoJump (Witty-Microgate, Bolzano, Italija). Pokret se izvodi iz uspravne pozicije, zatim slijedi spuštanje do polučučnja te nakon toga odraz,

a ruke su cijelo vrijeme na kukovima. Ispitanici su izvodili tri skoka s 30 sekundi razmaka između njih, a najbolji skok koristio se za daljnju analizu.

4.8. Koncentracija laktata u krvi

Uzorak krvi uzimao se iz četvrtog prsta na ruci 3-5 minute nakon završetka treninga. Koncentracija laktata mjerena je pomoću laktatomjera (Lactate scout 4-EKF diagnostics, Cardiff, UK).

4.9. Metode obrade podataka

Svi podaci prikazani su kao aritmetička sredina i standardna devijacija. Normalnost distribucije varijabli testirana je pomoću Kolmogorov-Smirnov testa. Za analizu razlika između inicijalnog i finalnog mjerenja koristila se univarijantna analiza varijance (ANOVA) za ponovljena mjerenja. Također, koristila se 2 x 2 ANOVA kako bi se mogla vidjeti značajna razlika između grupa nakon tretmana (treninga). Razina statističke značajnosti bila je postavljena na $p < 0,05$.

5. Rezultati

Završne brzine terenskih testova 30-15IFT i 20mSRT prema kojima se programiraju VIIT prikazani su u Tablici 1 zajedno s maksimalnim frekvencijama srca postignutim na testovima.

Tablica 1. Deskriptivni pokazatelji terenskih testova

Testovi	AS \pm SD	
	v (km/h)	FS _{max} (o/min)
30-15IFT	20,07 \pm 0,86	196,27 \pm 6,50
20mSRT	14,10 \pm 0,54	195,33 \pm 7,87

Legenda: 30-15IFT = 30-15 Intermittent fitness test; 20mSRT = 20m shuttle run test; v = završna brzina na testovima; FS_{max} = maksimalna zabilježena frekvencija na testovima

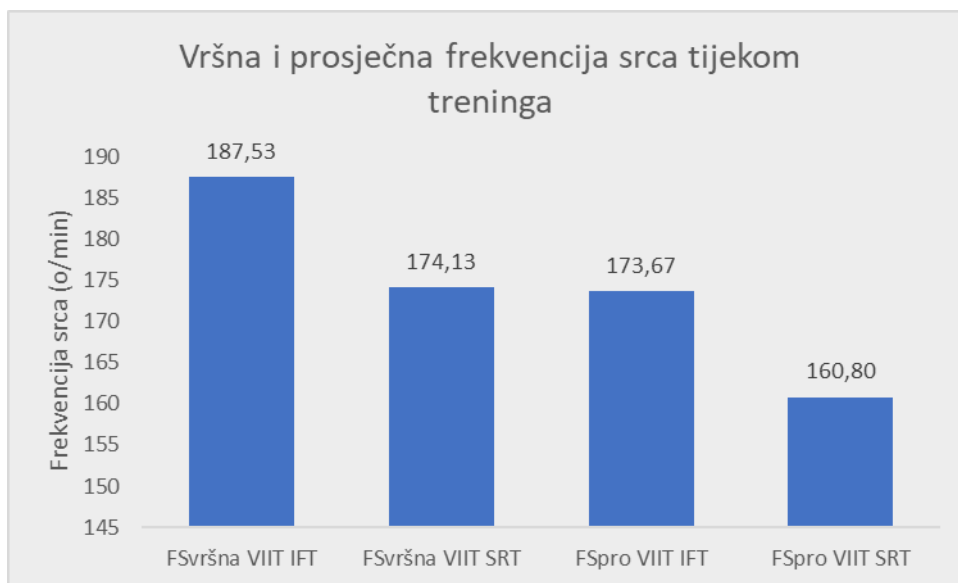
U Tablici 2 prikazane su vrijednosti srčano-dišnih i metaboličkih reakcija te subjektivna procjena opterećenja. Rezultati svih varijabli bili su veći kod VIIT-a programiranog na temelju rezultata u testu 30-15IFT te su razlike statistički značajne u odnosu na VIIT programiranog na temelju 20mSRT.

Tablica 2. Deskriptivni pokazatelji srčano-dišnih reakcija prikupljeni tijekom VIIT-a te subjektivna procjena opterećenja i La prikupljeni nakon VIIT IFT i VIIT SRT

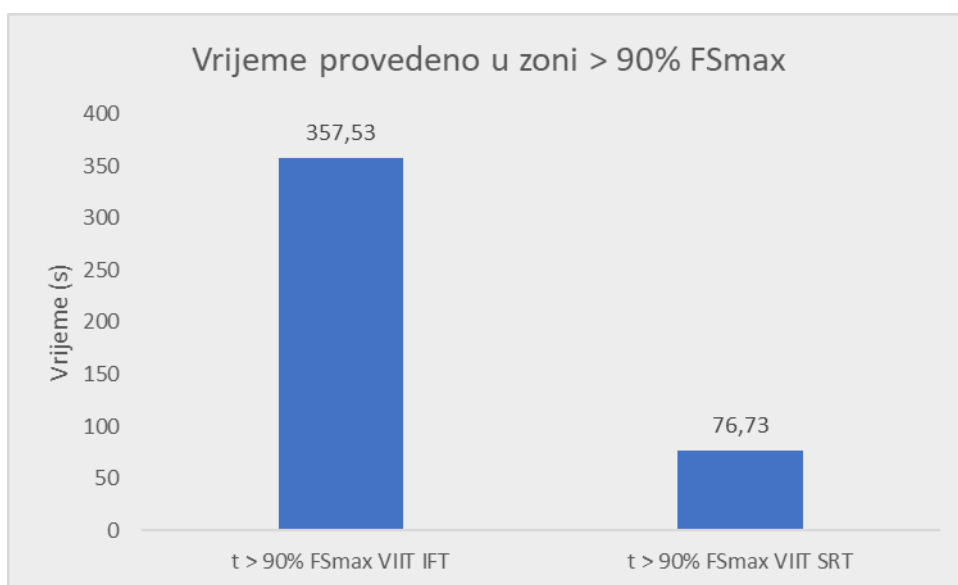
	AS \pm SD				
	FS _{vršna} (o/min)	FS _{pro} (o/min)	SPO (1-10)	La (mmol/l)	t >90% FS _{max} (s)
VIIT IFT	187,53 \pm 7,88*	173,67 \pm 5,98*	9,47 \pm 0,64*	7,99 \pm 2,08*	357,53 \pm 76,01*
VIIT SRT	174,13 \pm 6,42	160,80 \pm 5,82	6,67 \pm 0,72	2,21 \pm 1,82	76,73 \pm 147,39

Legenda: VIIT IFT = VIIT programiran na temelju 30-15IFT; VIIT SRT = VIIT programiran na temelju 20mSRT; FS_{vršna} = vršna frekvencija srca, FS_{pro} = prosječna frekvencija srca; SPO = subjektivna procjena opterećenja; La = koncentracija laktata u krvi; t >90%FS_{max} = vrijeme provedeno u zoni > 90% od FS_{max}

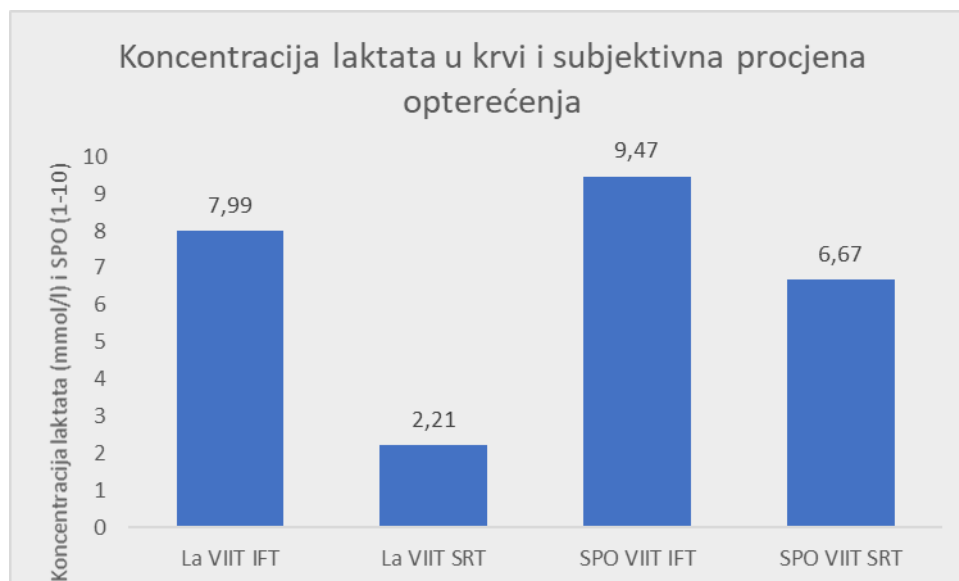
*= statistički značajna razlika između VIIT-a programiranog na temelju 30-15IFT i VIIT-a na temelju 20mSRT



Slika 1. Grafički prikaz vršne i prosječne frekvencije srca tijekom treninga



Slika 2. Grafički prikaz vremena provedenog u zoni > 90% FS_{max} tijekom oba treninga



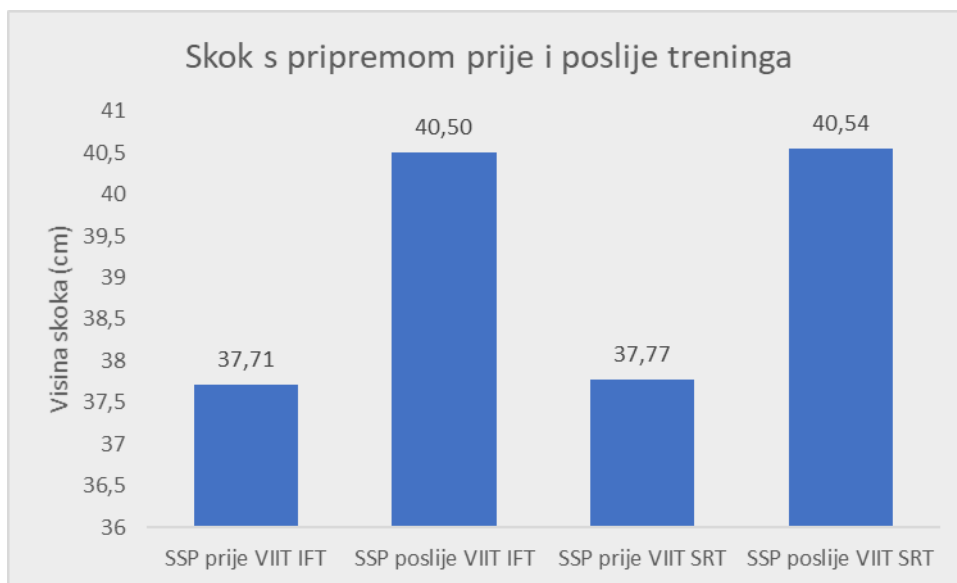
Slika 3. Grafički prikaz La u krvi i SPO nakon oba VIIT-a

U Tablici 3 prikazani su rezultati skoka s pripremom i sprinta na 25 m prije i poslije treninga. Ispitanici su nakon oba treninga imali bolje rezultate skoka s pripremom, nego neposredno prije treninga te su razlike statistički značajne. Također, prikazani su rezultati najboljeg sprinta na 25 m prije i poslije treninga, a bili su značajno sporiji nakon oba VIIT-a.

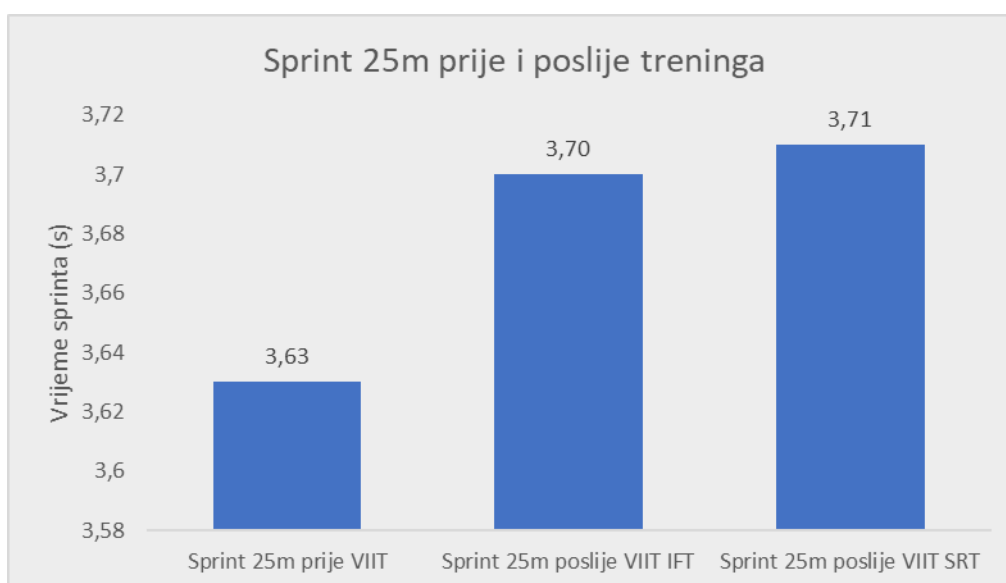
Tablica 3. Deskriptivni pokazatelji skoka s pripremom te sprinta na 25m prije i poslije VIIT IFT i VIIT SRT

	AS±SD			
	SSP prije VIIT (cm)	SSP poslije VIIT (cm)	Sprint 25m prije VIIT (s)	Sprint 25m poslije VIIT (s)
VIIT IFT	37,71 ± 3,23	40,50 ± 4,66*	3,63 ± 0,11	3,70 ± 0,06*
VIIT SRT	37,77 ± 3,84	40,54 ± 3,92*	3,63 ± 0,11	3,71 ± 0,09*

Legenda: VIIT IFT = VIIT programiran na temelju 30-15IFT; VIIT SRT = VIIT programiran na temelju 20mSRT; SSP prije VIIT = skok s pripremom prije VIIT-a; SSP poslije VIIT = skok s pripremom poslije VIIT-a; *= statistički značajna razlika između skokova s pripremom prije i poslije VIIT-a te između sprinta na 25m prije i poslije VIIT-a



Slika 4. Grafički prikaz skoka s pripremom prije i poslije oba VIIT-a



Slika 5. Grafički prikaz sprinta na 25m prije i poslije oba VIIT-a

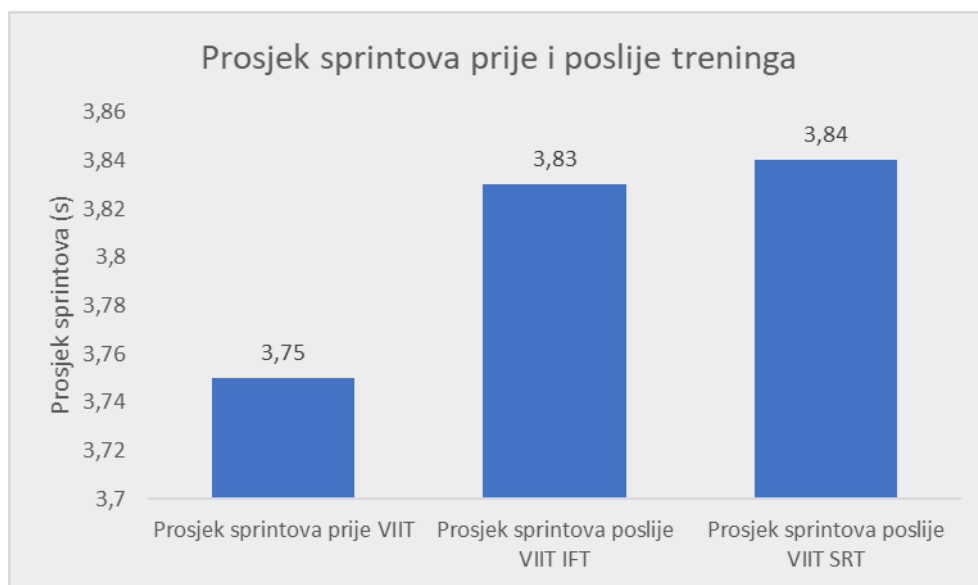
U Tablici 4 prikazani su rezultati prosjeka sprintova i postotka opadanja sprinta prije i poslije VIIT-a. Prosjek sprintova bio je veći nakon oba VIIT-a u odnosu na prije treninga, a razlike su statistički značajne. Postotak opadanja sprinta najveći je nakon VIIT SRT, međutim razlike između aritmetičkih sredina prije i poslije oba treninga nisu značajne.

Tablica 4. Deskriptivni pokazatelji prosjeka sprintova i postotka opadanja sprinta u testu za procjenu sposobnosti ponavljanih sprintova

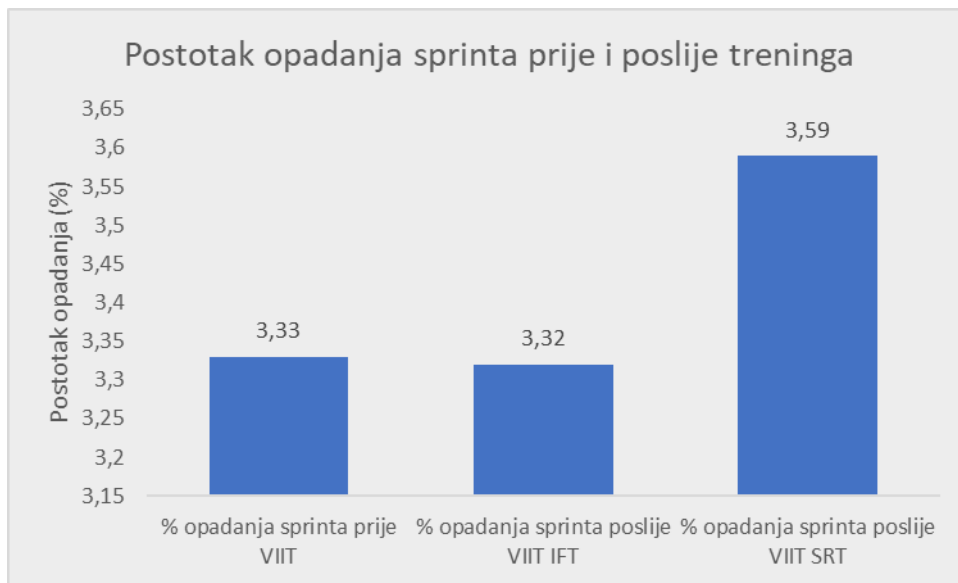
	AS±SD			
	Prosjeak sprintova prije VIIT	% opadanja sprinta prije VIIT	Prosjeak sprintova poslije VIIT	% opadanja sprinta poslije VIIT
VIIT IFT	3,75 ± 0,15	3,33 ± 1,35	3,83 ± 0,08*	3,32 ± 1,20
VIIT SRT	3,75 ± 0,15	3,33 ± 1,35	3,84 ± 0,11*	3,59 ± 1,54

Legenda: VIIT IFT = VIIT programiran na temelju 30-15IFT; VIIT SRT = VIIT programiran na temelju 20mSRT; % opadanja sprinta = postotak opadanja sprinta

*= statistički značajna razlika između rezultata prije i poslije VIIT-a



Slika 6. Grafički prikaz prosjeka sprintova prije i poslije oba VIIT-a



Slika 7. Grafički prikaz postotka opadanja sprinta prije i poslije oba VIIT-a

6. Rasprava

Cilj ovog istraživanja bio je utvrditi razlike u akutnoj živčano-mišićnoj reakciji na visoko-intenzivne intervalne treninge programirane pomoću 20m shuttle run testa i 30-15 Intermittent fitness testa.

Prema dobivenim rezultatima može se zaključiti da osim razlika u srčano-dišnim i metaboličkim reakcijama ne postoji značajna razlika u živčano-mišićnoj reakciji između treninga programiranih pomoću 20mSRT i 30-15IFT.

Temelj za postavljanje hipoteze bile su spoznaje o dodatnoj potrošnji energije kod promjena smjera kretanja za 180° zbog većeg broja akceleracija i deceleracija. Buchheit & Laursen (2019) u svojoj knjizi prikazuju da su dodatni energetske zahtjevi aerobnog i anaerobnog sustava veći za 5% - 6% po svakoj promjeni smjera kretanja tijekom VIIT-a kratkih intervala u usporedbi s pravocrtnim trčanjem. Kako bi kompenzirali tu dodatnu energetske potrošnju, napravili su tablicu prema kojoj se može izračunati udaljenost koja se mora pretrčati s obzirom na broj promjena smjera kretanja. Za svaku promjenu smjera oduzima se 2% - 3% od ukupne udaljenosti. Provodila su se dva VIIT-a kratkih intervala, onaj koji se provodio na temelju 30-15IFT imao je jednu promjenu smjera, a onaj koji se provodio na temelju 20mSRT, imao je dvije promjene smjera kretanja. Prema tome, VIIT programiran na temelju 20mSRT imao je duplo više promjena smjera kretanja.

U današnje vrijeme VIIT je jedan od najučinkovitijih načina za poboljšanje kardiorespiratornih i metaboličkih funkcija (Buchheit & Laursen, 2013a). Vjeruje se da bi za optimalan podražaj za kardiorespiratorne prilagodbe sportaši trebali provesti nekoliko minuta u crvenoj zoni $> 90\% \text{VO}_{2\text{max}}$ (Billat, 2001; Laursen i sur., 2002; Midgley, Mcnaughton, Wilkinson, 2006). Na temelju terenskih testova 30-15IFT i 20mSRT dobili smo potrebne vrijednosti maksimalne frekvencije srca svakog ispitanika na temelju kojih se tijekom treninga moglo pratiti vrijeme provedeno u zoni iznad 90% od FS_{max} . Iz prikazanih rezultata u Tablici 2 vidljivo je da su $\text{FS}_{\text{vršna}}$ i FS_{pro} bile značajno veće tijekom VIIT IFT kao i vrijeme provedeno u zoni $> 90\% \text{FS}_{\text{max}}$. Svi ispitanici su bili nekoliko minuta u zoni $> 90\% \text{FS}_{\text{max}}$ tijekom VIIT IFT, dok to nije bio slučaj tijekom VIIT-a na temelju 20mSRT u kojem su rezultati bili varijabilni. Neki ispitanici nisu ni ušli u zonu, a neki su bili nekoliko minuta. O tome govori Buchheit (2008) u radu u kojem je prikazao da je varijabilnost srčano-dišnih reakcija na VIIT kratkih intervala veća kod VIIT-a na temelju 20mSRT (10,6%), nego kod VIIT-a na temelju 30-15IFT (2,9%). Ovakvi rezultati mogu se objasniti razlikama u intenzitetima intervala rada, a

posljedično i s udaljenosti koju su morali pretrčati u zadanom vremenu. Odnosno, razlike su nastale zbog toga što veći broj promjena smjera kretanja nije nadomjestio manju brzinu trčanja u dovoljnoj mjeri. Intenzitet, odnosno brzina kojom su trčali bila je veća u VIIT IFT-u i očito je bilo zahtjevnije za ispitanike što je rezultiralo većom vršnom i prosječnom frekvencijom srca. Također, Billat i sur. (2001) su prikazali da je intervalni trening 15s/15s s većim intenzitetom rezultirao dužim vremenom provedenim u zoni, a Buchheit & Laursen (2013b) su došli do zaključka da veći intenziteti dovode do većeg laktatnog odgovora.

Koncentracija laktata u krvi ovisi o mnogo ograničenja, uključujući različite individualne odgovore (Buchheit & Laursen, 2013b). Uzorak krvi se uzimao nakon oba VIIT-a te uspoređujući rezultate statistički značajno veća koncentracija laktata bila je nakon VIIT-a na temelju 30-15IFT što objašnjava gore navedeno da veći intenziteti dovode do veće koncentracije laktata. S druge strane, VIIT na temelju 20mSRT sastojao se od dvostruko više promjena smjera kretanja, a uvođenje promjena smjera kretanja u VIIT pokazalo se da povećava koncentraciju laktata u krvi (Dellal i sur., 2009). Time su povećani mehanički zahtjevi zbog ponavljanja akceleracija i deceleracija kod promjena smjera kretanja (Osgnach i sur., 2010). U ovom istraživanju za izračun udaljenosti kod oba VIIT-a uključilo se vrijeme potrebno za okret te se time smanjio intenzitet kojim su ispitanici trebali trčati. Može se zaključiti da je na veću koncentraciju laktata više djelovao intenzitet trčanja, a posljedično veća frekvencija srca i više vremena provedeno u zoni $> 90\% FS_{max}$, nego broj promjena smjera kretanja.

Svaki pokret zahtjeva komunikaciju između mozga i mišića, a to omogućuje živčano-mišićni sustav. Kad se govori o živčano-mišićnom opterećenju povezanom s VIIT-om, misli se na razne fizičke reakcije kao što je napetost mišića i tetiva, a visoki intenzitet, promjene smjera kretanja i veliki volumen treninga vodi do velikog angažmana živčano-mišićnog i mišićno-koštanog sustava (Buchheit & Laursen, 2019). Živčano-mišićni umor nakon VIIT-a potencijalno se može prenijeti na sljedeći trening te je iz tog razloga važno razumijeti kako manipulirati varijablama VIIT-a kako bi regulirali živčano-mišićno opterećenje tijekom VIIT-a radi maksimizacije trenažnih podražaja i smanjenja rizika od ozljede (Buchheit & Laursen, 2013b). Živčano-mišićna reakcija na trening procjenjuje se pomoću motoričkih testova kao što su skokovi i sprintovi. Visina skoka odražava učinkovitost mišićne aktivacije i kontraktilnih svojstava (Rusko, Nummela & Mero, 1993), a brzina sprinta može biti manje precizna mjera živčano-mišićnog umora zbog raznih faktora kao što su unutar-mišićna i međumišićna koordinacija, motorička kontrola i parametri koraka (Buchheit, Spencer & Ahmaidi, 2010).

Pretpostavka vezana za skok s pripremom bila je da će visina skoka biti lošija nakon treninga, odnosno da će doći do opadanja visine skoka zbog živčano-mišićnog opterećenja koje je trening proizveo. Međutim, rezultati vertikalnog skoka svih ispitanika bili su statistički značajno bolji nakon oba VIIT-a. Slične rezultate dobili su Binnie i sur. (2013a) koji su uspoređivali živčano-mišićne reakcije sportaša timskih sportova na VIIT kratkih intervala. Ispitanici su 24 sata nakon treninga na travi imali bolje rezultate vertikalnog skoka, ali u tom slučaju se ne može govoriti o akutnoj reakciji pošto je prošlo 24 sata nakon treninga. Bolje rezultate vertikalnog skoka nakon VIIT-a imali su i Vuorimaa i sur. (2006) kao i Buchheit i sur. (2009) koji su radili istraživanje na mladim rukometašima. Dobiveni rezultati prikazali su da je vertikalni skok bio bolji nakon VIIT-a kratkih intervala te su to pripisali mogućoj postaktivacijskoj potencijaciji. S druge strane, Buchheit i suradnici (2011) u istraživanju na sportašima izdržljivosti nisu imali značajne razlike nakon VIIT-a, kao i Vuorimaa i sur. (2000), te su pretpostavili da je to zbog većeg postotka sporih mišićnih vlakana kod sportaša izdržljivosti, ali i zbog činjenice da su treninzi bili provedeni nižim intenzitetom jer se radilo o VIIT-u dugog formata. Na temelju ovog istraživanja u kojem su sudjelovali nogometaši mogu zaključiti da su rezultati vertikalnog skoka potvrdili učinak postaktivacijske potencijacije (PAP) (Guerra i sur., 2020).

Rezultati najboljeg sprinta na 25 m mjeren prije treninga u testu za procjenu sposobnosti ponavljanih sprintova i nakon oba treninga prikazuju da je sprint bio statistički značajno sporiji nakon oba VIIT-a. Slične rezultate dobili su Binnie i sur. (2013a) koji su radili test ponavljajućih sprintova 8×20 metara svakih 20 sekundi. Dan nakon VIIT-a kratkih intervala najbolji sprint je bio sporiji od početnog, ali ne značajno. To se može pripisati vremenskom periodu od 24 sata za koje su pretpostavili da je bilo dovoljno za odmor te se u ovom slučaju ne može govoriti o akutnoj reakciji. Međutim, Buchheit i sur. (2011) su radili VIIT dugih intervala i rezultati su bili bolji 2 minute nakon VIIT-a, a 4 sata nakon su bili isti kao i početni. Pretpostavlja se da je u ovom slučaju postaktivacijska potencijacija (Guerra i sur., 2020) imala utjecaj na rezultate te se također radi o VIIT-u dugih intervala koji nije imao promjena smjera jer su trčali na pokretnoj traci. Usprkos većem broju promjena smjera kretanja u ovom istraživanju nije došlo do značajnijeg opadanja u sprintu primjenom 20mSRT za programiranje. Dakle, nema razlika u živčano-mišićnim reakcijama između dva VIIT-a na temelju 30-15IFT i 20mSRT.

Prosjek sprintova u testu za procjenu sposobnosti ponavljanih sprintova bio je statistički značajno veći nakon oba VIIT-a uspoređujući s početnim testiranjem. Binnie i sur. (2013a) nisu

prikazali prosjek sprintova, nego su gledali ukupno vrijeme potrebno za svih 8 sprintova. Ukupno vrijeme je bilo značajno sporije nakon VIIT-a, a samim time pretpostavlja se da je i prosjek sprintova bio veći, odnosno sporiji. Na temelju ovih rezultata također se može reći da su oba VIIT-a uzrokovala velik živčano-mišićni umor, a razlike između treninga nisu statistički značajne.

Iz rezultata prikazanih aritmetičkom sredinom, postotak opadanja sprinta bio je veći nakon VIIT-a na temelju 20mSRT u usporedbi s rezultatima nakon VIIT IFT što potvrđuje postavljenu hipotezu. Iako je prosjek sprintova bio veći, odnosno ispitanici su bili nešto sporiji, postotak opadanja sprinta nije bio značajan što znači da su uspijevali zadržati sličnu brzinu kroz svih 6 ponavljanja. Takve rezultate dobio je i Binnie i sur. (2013a) u čijem su istraživanju ispitanici imali veći postotak opadanja sprinta nakon treninga, ali razlika u rezultatima nije bila značajna. Jedan od razloga za ovakve rezultate mogu biti razni faktori koji utječu na brzinu sprinta kao što su unutar-mišićna i međumišićna koordinacija, motorička kontrola i parametri koraka (Buchheit, Spencer & Ahmaidi, 2010).

Dakle, srčano-dišni odgovor na VIIT programiran na temelju 20mSRT bio je značajno manji, a živčano-mišićna reakcija bila je ista kao i nakon VIIT-a programiranog na temelju 30-15IFT. Trening na temelju 20mSRT ima manji potencijal za unapređenje VO_{2max} , a jednako opterećuje živčano-mišićni sustav kao i trening programiran na temelju 30-15IFT.

7. Zaključak

Na temelju rezultata u ovom istraživanju može se zaključiti da ne postoji značajna razlika u živčano-mišićnoj reakciji između treninga programiranih pomoću 20mSRT i 30-15IFT.

Srčano-dišna reakcija bila je značajno veća tijekom VIIT-a programiranog na temelju 30-15IFT, kao i koncentracija laktata u krvi te subjektivna procjena opterećenja nakon treninga.

Razlike živčano-mišićnih reakcija testirane pomoću vertikalnog skoka s pripremom, sprinta na 25m i testa za procjenu sposobnosti ponavljanih sprintova bile su statistički značajne uspoređujući rezultate prije i poslije VIIT 30-15IFT i VIIT 20mSRT, ali između dobivenih rezultata poslije VIIT 30-15IFT i VIIT 20mSRT, razlike nisu značajne.

Sprint na 25m i izvedba ponavljanih sprintova bili su statistički značajno slabiji nakon oba treninga u odnosu na mjerenje prije treninga, ali nije bilo statistički značajnih razlika između grupa nakon treninga. Skok s pripremom je bio značajno bolji nakon oba VIIT-a što je rezultiralo odbacivanjem postavljene hipoteze, ali također nije bilo statistički značajnih razlika između grupa nakon treninga.

Rezultati u ovom istraživanju mogu pomoći trenerima i sportašima kod izbora VIIT-a kratkih intervala s obzirom kakvu reakciju žele postići. VIIT-om na temelju 30-15IFT i 20mSRT može se postići jednaka živčano-mišićna reakcija. Međutim, VIIT na temelju 30-15 rezultira većom koncentracijom laktata u krvi te se zbog toga može reći da je VIIT na temelju 20mSRT bolji izbor za postizanje živčano-mišićne reakcije.

8. Literatura

- Bangsbo, J., Iaia, F., & Krstrup, P. (2008). The Yo-Yo Intermittent Recovery Test: a useful tool for evaluation of physical performance in intermittent sports. *Sports Medicine*, 38, 37–51. <https://doi.org/10.2165/00007256-200838010-00004>
- Billat, V. (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, 13–31. <https://doi.org/10.2165/00007256-200131010-00002>
- Billat, V. L., Slawinski, J., Bocquet, V., Chassaing, P., Demarle, A., & Koralsztein, J. P. (2001). Very short (15s - 15s) interval-training around the critical velocity allows middle-aged runners to maintain $\dot{V}O_2$ max for 14 minutes. *International Journal of Sports Medicine*, 22(3), 201–208. <https://doi.org/10.1055/s-2001-16389>
- Binnie, M. J., Dawson, B., Pinnington, H., Landers, G., & Peeling, P. (2013a). Effect of training surface on acute physiological responses after interval training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(4), 1047–1056. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182651fab>
- Binnie, M. J., Dawson, B., Pinnington, H., Landers, G., & Peeling, P. (2013b). Part 2: Effect of training surface on acute physiological responses after sport-specific training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(4), 1057–1066. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182651d63>
- Bok, D., & Foster, C. (2021). Applicability of field aerobic fitness test in soccer: Which one to choose? *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 6(3), 69. <https://doi.org/10.3390/jfmk6030069>
- Bonacci, J., Chapman, A., Blanch, P., & Vicenzino, B. (2009). Neuromuscular adaptations to training, injury and passive interventions: implications for running economy. *Sports Medicine*, 39(11), 903–921. <https://doi.org/10.2165/11317850-000000000-00000>
- Buchheit, M. (2008). The 30-15 Intermittent Fitness Test: Accuracy for Individualizing Interval Training of Young Intermittent Sport Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(2), 365-374. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181635b2e>
- Buchheit, M. (2010). The 30-15 Intermittent Fitness Test: 10 year review. *Myorobie Journal*, 1, 1-9.

- Buchheit, M., Lepretre, P. M., Behaegel, A. L., Millet, G. P., Cuvelier, G., & Ahmaidi, S. (2009). Cardiorespiratory responses during running and sport-specific exercises in handball players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *12*(3), 399–405. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2007.11.007>
- Buchheit, M., Spencer, M., & Ahmaidi, S. (2010). Reliability, usefulness and validity of repeated sprint and jump ability test. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *4*, 3-17. <https://doi.org/10.1123/ijsp.5.1.3>
- Buchheit, M., Kuitunen, S., Voss, Sven C., Williams, Benjamin K., Mendez-Villanueva, Alberto., & Bourdon, Pitre C. (2011). Physiological strain associated with high-intensity hypoxic interval in highly trained young runners. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *26*(1), 94-105. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182184fcb>
- Buchheit, M. & Laursen, P. B. (2013a). High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: Cardiopulmonary emphasis. *Sports Medicine*, *43*(5), 313–338. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0029-x>
- Buchheit, M. & Laursen, P. B. (2013b). High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part II: Anaerobic energy, neuromuscular load and practical applications. *Sports Medicine*, *43*(10), 927–954. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0066-5>
- Buchheit, M., & Laursen, P. B. (2019). *Science and application of high-intensity interval training: Solutions to the programming puzzle*. Champaign, IL: Human Kinetics
- Dellal, A., Keller, D., Carling, C., Chaouachi, A., Wong, D. P., & Chamari, K. (2009). Physiologic effects of Directional changes in intermittent exercise in soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *24*, 3219-3226. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181b94a63>
- Dupont, G., Blondel, N., Lensel, G., & Berthoin, S. (2002). Critical velocity and time spent at high level of VO₂ for short intermittent runs at supramaximal velocities. *Can. J. Appl. Physiol.*, *27*(2), 103-115.
- Dupont, G., & Berthoin, S. (2004). Time Spent at a High Percentage of V02max for Short Intermittent Runs : Active Versus Passive Recovery. *Can. J. Appl. Physiol.*, *29*, 3-16.
- Guerra, M. A., Caldas, L. C., Souza, H. L., Tallis, J., Duncan, M. J., & Guimaraes-Ferreira, L.

- (2020). The effects of physical fitness on postactivation potentiation in professional soccer athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000003711>
- Léger, L. A., & Lambert, J. (1982). A maximal multistage 20-m shuttle run test to predict VO₂ max. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 49(1), 1–12. <https://doi.org/10.1007/BF00428958>
- Laursen, P., Kitic C., Peake, J. M., Coombes, J. S., & Jenkins, D.G. (2002) Interval training program optimization in highly trained endurance cyclists. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 34(11), 1801-1807. <https://doi.org/10.1097/00005768-200211000-00017>
- Midgley, A. W., McNaughton, L. R., & Wilkinson, M. (2006). Is there an optimal training intensity for enhancing the maximal oxygen uptake of distance runners? Empirical research findings, current opinions, physiological rationale and practical recommendations. *Sport Medicine*, 36, 117-132. <https://doi.org/10.2165/00007256-200636021-00003>
- Osgnach, C., Poser, S., Bernardini, R., Rinaldo, R., & Di Pramper, P. E. (2010). Energy cost and metabolic power in elite soccer: A new match analysis approach. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 42(1), 170-178. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181ae5cfd>
- Rusko, H., Nummela, A., & Mero, A. (1993). A new method for the evaluation of anaerobic running power in athletes. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 66(2), 97-101. <https://doi.org/10.1007/BF01427048>
- Vuorimaa, T., Vasankari, T., & Rusko, H. (2000). Comparison of Physiological Strain and Muscular Performance of Athletes During Two Intermittent Running Exercises at the Velocity Associated with $\dot{V} O_{2max}$. *International Journal of Sports Medicine*, 21, 96–101. <https://doi.org/10.1055/s-2000-8867>
- Vuorimaa, T., Virlander, R., Kurkilahti, P., Vasankari, T., & Häkkinen, K. (2006). Acute changes in muscle activation and leg extension performance after different running exercises in elite long distance runners. *European Journal of Applied Physiology*, 96, 282–291. <https://doi.org/10.1007/s00421-005-0054-z>