



Sveučilište u Zagrebu

KINEZIOLOŠKI FAKULTET

Kristijan Mitrečić

**AKUTNI UTJECAJI POTENCIJACIJSKIH
PODRAŽAJA S ELASTIČNIM UŽETOM NA
IZVEDBE SPRINTA, TRČANJA U SLALOMU
I UDARCA PO LOPTI U NOGOMETAŠA**

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2024.



University of Zagreb

FACULTY OF KINESIOLOGY

Kristijan Mitrečić

**ACUTE EFFECTS OF PRECONDITIONING
ACTIVITIES WITH ELASTIC ROPE ON
SPRINT, SLALOM AND KICKING
PERFORMANCE IN SOCCER PLAYERS**

DOCTORAL THESIS

Zagreb, 2024



Sveučilište u Zagrebu

KINEZIOLOŠKI FAKULTET

Kristijan Mitrečić

**AKUTNI UTJECAJI POTENCIJACIJSKIH
PODRAŽAJA S ELASTIČNIM UŽETOM NA
IZVEDBE SPRINTA, TRČANJA U SLALOMU
I UDARCA PO LOPTI U NOGOMETAŠA**

DOKTORSKI RAD

Mentor: izv. prof. dr. sc. Vlatko Vučetić

Zagreb, 2024.



University of Zagreb

FACULTY OF KINESIOLOGY

Kristijan Mitrečić

**ACUTE EFFECTS OF PRECONDITIONING
ACTIVITIES WITH ELASTIC ROPE ON
SPRINT, SLALOM AND KICKING
PERFORMANCE IN SOCCER PLAYERS**

DOCTORAL THESIS

Supervisor: Asst. Prof. Vlatko Vučetić, PhD

Zagreb, 2024

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 citiranim bazama podataka (WOS, CC i sl.). Do sada je bio mentor u više od 50 diplomskih radova, te mentor ili komentor u četiri disertacije.

Znanstvena i nastavna djelatnost izv. prof. 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, izv. prof. dr. sc. Vlatko Vučetić je najponosniji na svoju kćer mezimicu, Vitu.

ZAHVALA

Želim izraziti iskrenu zahvalnost svima koji su mi pomogli u ovom projektu. Bez vaše podrške, ova doktorska disertacija ne bi bila moguća.

Prvenstveno, zahvaljujem svom mentoru, izv. prof. dr. sc. Vlatku Vučetiću, na vodstvu, znanju i inspiraciji. Njegov entuzijazam i energija pomogli su mi da razvijem svoje ideje i razumijem kompleksnost ovog istraživanja.

Također bih se želio zahvaliti i svim članovima povjerenstva za ocjenu doktorskog rada, izv. prof. dr. sc. Danielu Boku, izv. prof. dr. sc. Luki Milanoviću te doc. dr. sc. Alešu Dolenecu, 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 njihovoj neumornoj podršci i razumijevanju, uspio sam održati motivaciju tijekom izazovnih trenutaka i ostvariti svoje ciljeve.

Konačno, zahvaljujem se svim sudionicima istraživanja na njihovom doprinosu i suradnji tijekom ovog projekta.

SAŽETAK

Cilj: Brojni potencijacijski podražaji korišteni su u istraživanjima postaktivacijske potencijacije. Do sada za potencijacijski podražaj još nije korišteno elastični otpor u horizontalnom smjeru. Primarni je cilj kod nogometaša utvrditi ukupni akutni učinak sprinta sa elastičnim užetom na izvedbe sprinta, trčanja u slalomu i udarca po lopti te specifični akutni učinak s obzirom na dominantnosti horizontalnog mehaničkog profila. Sekundarni je cilj utvrditi razlike u izvedbama sprinta, slaloma i udarca prema dominantnosti u horizontalnome mehaničkom profilu.

Metode: U istraživanju je sudjelovalo 118 zdravih nogometaša iz sedam klubova Treće hrvatske nogometne lige. Uključujući kriteriji za sudjelovanje u istraživanju bili su: (i) muški spol, stariji od 18 godina, (ii) minimalno 5 godina iskustva u nogometom treningu i natjecanju (iii) te da nisu pretrpjeli ozljedu donjih ekstremiteta u posljednjih 6 mjeseci. Svi ispitanici su proveli dva protokola zagrijavanja nakon kojih su izvodili testove. Protokoli zagrijavanja su se razlikovali samo u svom zadnjem dijelu. Na kraju jednog protokola se izvodio sprint 30 m, a na kraju drugoga sprint sa elastičnim užetom na maksimalnoj udaljenosti od hvatišta na kojoj ispitanik može napraviti jednak broj koraka kao i pri sprintu 30 m, a da ga uže ne povuče u nazad. Ispitanici su prije zagrijavanja ispunili upitnik za određivanje razine umora/oporavka. Sva istraživanja su provedena na prirodnoj travi na domicilnim terenima klubova koji su sudjelovali u istraživanju.

Rezultati: Na ukupnom uzorku nogometaša ($n=118$) utvrđeno je pogoršanje izvedbe sprinta sa potencijacijskim podražajem između 0 i 5 metara ($p<0,001$; $d=0,23$; 1,36%), 20 i 25 metara ($p=0,002$; $d=0,14$; 0,67%) i 25 i 30 metara ($p<0,001$; $d=0,35$; 1,69%) te poboljšanje izvedbe slalom trčanja ($p<0,001$; $d=0,38$; 1,51%). Također, utvrđen je i pad horizontalnih mehaničkih parametara F_0 ($p=0,002$; $d=0,17$; 2,00%), $P_{\max}$ ($p<0,001$; $d=0,20$; 2,31%) i $RF_{\max}$ ($p=0,002$; $d=0,19$; 1,11%). Dvosmjernom mješovitom ANOVOM utvrđena je razlika u interakciji između protokola i grupa u sprintu između 0 i 5 metara ($p=0,002$; $\eta_p^2=0,27$; $F=11,67$), 5 i 10 metara ($p=0,004$; $\eta_p^2=0,24$; $F=9,84$), 15 i 20 metara ($p=0,010$; $\eta_p^2=0,19$; $F=7,55$), 20 i 25 metara ($p=0,027$; $\eta_p^2=0,14$; $F=5,40$) i 25 i 30 metara ($p=0,014$; $\eta_p^2=0,18$; $F=6,79$) te u brzini lopte kod udarca ($p=0,049$; $\eta_p^2=0,51$; $F=4,19$). Usporedbom parova kod grupe nogometaša dominantnih u teorijskoj maksimalnoj sili utvrđeno je pogoršanje izvedbe u sprintu između 0 i 5 metara ($p=0,001$; $d=1,16$; 4,5%) i poboljšanje izvedbe između 5 i 10

metara za ($p=0,017$; $d=0,28$; 1,26%). Pобољшanje je utvrđeno i u izvedbi slalom trčanja ($p=0,007$; $d=0,59$; 2,25%) kao i kod udarca ($p=0,025$; $d=0,46$; 2,88%). U horizontalnim mehaničkim parametrima utvrđen je pad F_0 ($p=0,001$; $d=0,94$; 7,43%), $P_{\max}$ ($p<0,001$; $d=0,70$; 6,37%) i $RF_{\max}$ ($p=0,001$; $d=1,00$; 3,59%) te povećanje V_0 ($p=0,001$; $d=0,33$; 1,82%), D_{RF} ($p=0,002$; $d=0,89$; 9,30%) i $V_{\max}$ ($p=0,020$; $d=0,29$; 1,54%). Usporedbom parova kod grupe nogometaša dominantnih u teorijskoj maksimalnoj brzini utvrđeno je pogoršanje izvedbe u sprintu između 15 i 20 metara ($p=0,035$; $d=0,67$; 1,70%), 20 i 25 metara ($p=0,022$; $d=0,69$; 2,31%) i 25 i 30 metara ($p=0,001$; $d=0,98$; 3,37%), dok je kod slalom trčanja utvrđeno poboljšanje izvedbe ($p=0,036$; $d=0,28$; 1,04%). U horizontalnim mehaničkim parametrima utvrđen je pad V_0 ($p=0,002$; $d=0,69$; 2,59%), D_{RF} ($p=0,020$; $d=0,36$; 5, 50%) i $V_{\max}$ ($p=0,002$; $d=0,73$; 2,44%). Grupa dominantna u maksimalnoj teorijskoj sili je u sprintu brža na prvim 5 metara u oba protokola. U kontrolnom protokolu za 10,5% ($p<0,001$; $d=2,25$), a u potencijacijskom protokolu za 5,85% ($p=0,004$; $d=0,96$). Grupa dominantna u brzini je brža u svim preostalim dionicama po 5 metara u oba protokola. U kontrolnom protokolu od 5,11% do 6,31% ($p<0,001$; $d=1,26$ do 1,70), a u potencijacijskom protokolu od 2,6% do 4,11% ($p=0,023$ do $<0,001$; $d=0,78$ do 1,28). U izvedbi slalom testa grupa dominantna u sili je brža u potencijacijskom protokolu za 2,72% ($p=0,025$; $d=0,69$). Kod udarca grupa dominantna u brzini ima veću brzinu lopte u kontrolnom protokolu za 3,87% ($p=0,042$; $d=0,59$).

Zaključak: Ovo istraživanje je pokazalo da je potencijacijski podražaj sprint sa horizontalnim elastičnim otporom značajno akutno poboljšava izvedbu trčanja u slalomu kod svih nogometaša, ali i specifično po grupama. To ukazuje da je potencijacijski podražaj vjerojatno poboljšao neuromuskularnu učinkovitost i reaktivnu sposobnost mišića. Potencijacijskim podražajem se značajno povećala maksimalna brzina lopte kod udarca i horizontalni mehanički parametri V_0 , D_{RF} i $V_{\max}$ samo kod nogometaša dominantnih u sili. To ukazuje na poboljšanu regrutaciju mišićnih vlakana i sinkronizaciju motoričkih jedinica nakon intenzivnog opterećenja. Potencijacijskim podražajem u prosjeku kod svih nogometaša dolazi do pogoršanja izvedbe na prvim 5 m i na zadnje dvije dionice po 5 m sprinta na 30 m, a kod dominantnih u sili samo prvih 5 m, dok kod dominantnih u brzini samo na zadnje tri dionice po 5 m. U prosjeku kod svih nogometaša potencijacijskim podražajem dolazi do pada F_0 , $P_{\max}$ i $RF_{\max}$, još veći pad navedenih parametara prisutan je kod grupe dominantne u sili, dok je kod grupe dominantne u brzini utvrđen pad V_0 , D_{RF} i $V_{\max}$ parametara. Pad performansi

upućuje na zamor i neuromuskularnu inhibiciju, s većim utjecajem na početak sprinta kod dominantnih u sili te na kraj sprinta kod dominantnih u brzini.

Ključne riječi: postaktivacijska potencijacija, elastično uže, horizontalni mehanički profil, sprint, trčanje u slalomu, nogometni udarac

ABSTRACT

Objective: Lots of preconditioning activity have been used in studies of postactivation potentiation. So far, for the conditioning activity no one used an elastic resistance in the horizontal direction. The primary goal in soccer players is to determine the overall acute effect of sprinting with an elastic rope on the performance of sprinting, slalom running and kicking the ball, as well as the specific acute effect regarding the dominance of the horizontal mechanical profile. The secondary objective was to determine the differences in sprint, slalom and shot performance according to dominance in the horizontal mechanical profile.

Methods: 118 healthy soccer players from seven clubs of the Third Division Croatian Soccer League participated in the research. Inclusion criteria for participation in the study were: (i) male, older than 18 years, (ii) minimum 5 years of experience in soccer training and competition (iii) not having suffered an injury to the lower extremities in the last 6 months. All subjects performed two warm-up protocols, after which they performed tests. The warm-up protocols differed only in their last part. At the end of one protocol, a 30 m sprint was performed, and at the end of the second protocol was performed a sprint with an elastic rope at the maximum distance from the grip where the subject can take the same number of steps as during a 30 m sprint, without the rope pulling him back. Before the warm-up, the subjects filled out a questionnaire to determine the level of fatigue/recovery. All research were performed on natural grass at the home fields of the clubs that participated in the research.

Results: In the total sample of soccer players ($n=118$), a worsening in sprint performance with a potentiation stimulus between 0 and 5 meters ($p<0.001$; $d=0.23$; 1.36%), 20 and 25 meters ($p=0.002$; $d=0.14$; 0.67%) and 25 and 30 meters ($p<0.001$; $d=0.35$; 1.69%) and improvement in slalom running ($p<0.001$; $d=0.38$; 1.51%). Also, a decrease in the horizontal mechanical parameters F_0 ($p=0.002$; $d=0.17$; 2.00%), $P_{\max}$ ($p<0.001$; $d=0.20$; 2.31%) and $RF_{\max}$ was determined ($p=0.002$; $d=0.19$; 1.11%). Two-way mixed ANOVA revealed a difference in the interaction between protocol and groups in the sprint between 0 and 5 meters ($p=0.002$; $\eta_p^2=0.27$; $F=11.67$), 5 and 10 meters ($p=0.004$; $\eta_p^2=0.24$; $F=9.84$), 15 and 20 meters ($p=0.010$; $\eta_p^2=0.19$; $F=7.55$), 20 and 25 meters ($p=0.027$; $\eta_p^2=0.14$; $F=5.40$) and 25 and 30 meters ($p=0.014$; $\eta_p^2=0.18$; $F=6.79$) and in the speed of the ball at soccer kick ($p=0.049$; $\eta_p^2=0.51$; $F=4.19$). A pairwise comparison of a group of soccer players dominant in theoretical maximum force revealed a worsening of performance in the sprint between 0 and 5

meters ($p=0.001$; $d=1.16$; 4.5%) and improvement in performance between 5 and 10 meters by ($p=0.017$; $d=0.28$; 1.26%). Improvement was also found in the performance of slalom running ($p=0.007$; $d=0.59$; 2.25%) as well as in the soccer kick ($p=0.025$; $d=0.46$; 2.88%). A decrease in F_0 ($p=0.001$; $d=0.94$; 7.43%), $P_{\max}$ ($p<0.001$; $d=0.70$; 6.37%) and $RF_{\max}$ ($p=0.001$; $d=1.00$; 3.59%) was found in the horizontal mechanical parameters, but increase in V_0 ($p=0.001$; $d=0.33$; 1.82%), D_{RF} ($p=0.002$; $d=0.89$; 9.30%) and $V_{\max}$ ($p=0.020$; $d=0.29$; 1.54%). By comparing pairs in the group of soccer players dominant in theoretical maximum velocity it was determined that the sprint performance worsening between 15 and 20 meters ($p=0.035$; $d=0.67$; 1.70%), 20 and 25 meters ($p=0.022$; $d=0.69$; 2.31%) and 25 and 30 meters ($p=0.001$; $d=0.98$; 3.37%), while an improvement in performance was found in slalom running ($p=0.036$; $d=0.28$; 1.04%). In horizontal mechanical parameters, a decrease in V_0 ($p=0.002$; $d=0.69$; 2.59%), D_{RF} ($p=0.020$; $d=0.36$; 5.50%) and $V_{\max}$ ($p=0.002$; $d=0.73$; 2.44%). The group dominant in maximum theoretical force is faster in the sprint in the first 5 meters in both protocols. In the control protocol by 10.5% ($p<0.001$; $d=2.25$), and in the potentiation protocol by 5.85% ($p=0.004$; $d=0.96$). The group dominant in velocity is faster in all remaining sections of 5 meters in both protocols. In the control protocol from 5.11% to 6.31% ($p<0.001$; $d=1.26$ to 1.70), and in the potentiation protocol from 2.6% to 4.11% ($p=0.023$ to <0.001 ; $d=0.78$ to 1.28). In the performance of the slalom test, the force dominant group was faster in the potentiation protocol by 2.72% ($p=0.025$; $d=0.69$). In a soccer kick, the group dominant in velocity has a higher ball speed in the control protocol by 3.87% ($p=0.042$; $d=0.59$).

Conclusion: This research has shown that the potentiation stimulus sprint with horizontal elastic resistance significantly acutely improves the performance of running in slalom in all soccer players, but also specifically by groups. This indicates that the potentiation stimulus probably improved neuromuscular efficiency and muscle reactivity. The potentiation stimulus significantly increased the maximum speed of the ball at soccer kick and the horizontal mechanical parameters V_0 , D_{RF} and $V_{\max}$ only in force dominant group. This indicates improved recruitment of muscle fibers and synchronization of motor units after intense preconditioning activity. The potentiation stimulus causes, on average, a deterioration in the performance of all soccer players in the first 5 m and in the last two sections of a 5 m sprint on 30 m, and in those dominant in force only in the first 5 m, while in those dominant in velocity only in the last three sections of 5 m. On average, in all soccer players, the

potentiation stimulus causes a drop in F_0 , $P_{\max}$ and $RF_{\max}$, an even greater drop in the mentioned parameters is present in the force dominant group, while in the velocity dominant group, a drop in V_0 , D_{RF} and $V_{\max}$ parameters was found. The drop in performance points to fatigue and neuromuscular inhibition, with a greater impact on the beginning of the sprint in those dominant in force and at the end of the sprint in those dominant in velocity.

Key words: postactivation potentiation, elastic rope, horizontal mechanical profile, sprint, slalom run, soccer kick

SADRŽAJ

1. UVOD U PROBLEM.....	1
1.1. Relevantnost sprinta, slalom trčanja i udarca u nogometu	1
1.2. Mehanizam akutnih utjecaja	2
1.3. Aktivnosti i potencijacijski podražaji u istraživanju akutnih utjecaja	4
1.4. Teorijske postavke horizontalnog mehaničkog profila.....	8
1.5. Čimbenici koji utječu na akutne izvedbe	13
1.6. Problem istraživanja	28
2. CILJEVI I HIPOTEZE	31
3. METODE RADA	32
3.1. Uzorak ispitanika	32
3.2. Uzorak varijabli	35
3.3. Nacrt istraživanja	37
3.4. Protokoli zagrijavanja	39
3.5. Protokol testiranja	41
3.5.1. Prikupljanje demografskih podataka i utvrđivanje morfoloških karakteristika .	41
3.5.2. Mjerenje sprinta na 30 metara i utvrđivanje horizontalnog mehaničkog profila	42
3.5.3. Mjerenje trčanja u slalomu.....	43
3.5.3. Mjerenje maksimalne brzine lopte kod udarca po lopti	44
3.6. Statistička obrada podataka	45
4. REZULTATI	47
4.1. Analiza akutnog učinka sprinta sa elastičnim užetom i horizontalnim otporom	47
4.2. Analiza akutnog učinka sprinta sa elastičnim užetom i horizontalnim otporom prema dominantnosti u horizontalnom mehaničkom profilu	51
5. RASPRAVA.....	62

5.1. Akutni utjecaj na izvedbu sprinta	63
5.2. Akutni utjecaj na izvedbu trčanja u slalomu.....	68
5.3. Akutni utjecaj na izvedbu udarca po lopti	71
5.4. Akutni utjecaj na mehaničke parametre.....	74
6. ZAKLJUČAK.....	78
7. PREDNOSTI I NEDOSTATCI ISTRAŽIVANJA	80
8. LITERATURA	81
9. ŽIVOTOPIS AUTORA.....	96

1. UVOD U PROBLEM

1.1. Relevantnost sprinta, slalom trčanja i udarca u nogometu

Osim ukupne prijeđene udaljenosti, učestalo izvođenje visoko intenzivnih kretnji tijekom utakmice ključna je značajka nogometa (Stølen i sur., 2005). Tijekom natjecateljske utakmice, nogometaši između ostaloga mogu izvesti oko 1400 kratkotrajnih aktivnosti maksimalnog ili skoro maksimalnog intenziteta, uključujući sprintove, trčanja sa promjenom smjera, duela, ubrzanja, usporavanja i skokova (Iaia i sur., 2009). Profesionalni nogometaši za vrijeme nogometne utakmice prosječno prijeđu od 9,2 do 10,6 kilometara, od toga 417 – 850 metara u sprintu (Mara i sur., 2017), uz to, sprint je i najčešća aktivnost u situacijama postizanja pogodaka (Faude i sur., 2012). Tijekom trajanja nogometne utakmice od 90 minuta, nogometaši promijene smjer kretanja > 700 puta (Bloomfield i sur., 2007). Udarci po lopti su jedna od najčešće korištenih vještina u nogometu i predstavljaju osnovu za nogometnu izvedbu (Bacvarevic i sur., 2012; Masuda i sur., 2005). Brzina lopte može biti posebno važna kod udarca prema голу, jer se šansa za postizanje pogotka povećavaju s povećanjem brzine lopte (pod pretpostavkom da je udarac precizan) jer vratar ima manje vremena za reakciju (Dörge i sur., 2002; Markovic i sur., 2006). Iako programi treninga mogu dugoročno poboljšati izvedbu u navedenim aktivnostima, akutna poboljšanja izvedbe mogu biti inducirana aktivnostima zagrijavanja, kroz metode koje koriste sportaši, treneri i stručnjaci za kondicijsku pripremu u svrhu povećanja mišićne sile i snage (Evetovich i sur., 2015). Proveden je veliki broj istraživanja o učincima zagrijavanja na ljudsku izvedbu (Barnes i sur., 2015; González-Mohíno i sur., 2018; Rahimi, 2007). Postoji opći konsenzus koji ukazuje na prednosti zagrijavanja na poboljšanje akutne izvedbe (Lockie i sur., 2017). Međutim, optimalna strategija zagrijavanja za nogometaše prije utakmice nije dobro utvrđena (Hammami i sur., 2018). Većina strategija zagrijavanja povezanih s nogometom uključivala je statičko i dinamičko istezanje, živčano-mišićne aktivnosti i kratkotrajne visoko intenzivne aktivnosti (Zois i sur., 2011). Što se tiče potonjeg, oni mogu inducirati postaktivacijsku potencijaciju (PAP) (Evetovich i sur., 2015) odnosno akutni utjecaj na izvedbu.

1.2. Mehanizam akutnih utjecaja

Postaktivacijska potencijacija je fenomen koji nastaje kao akutno povećanje mišićne snage te posljedično i izvedbe (Tillin i Bishop, 2009) nakon prethodnoga potencijacijskog podražaja. Sila koju je mišić sposoban proizvesti nakon prethodnoga potencijacijskoga podražaja rezultat je ravnoteže između umora i potencijacije (Docherty i Hodgson, 2007). Studije novijeg datuma problematiziraju ispravnost pojma PAP (eng. *post-activation potentiation*) te prezentiraju novu taksonomiju u kojoj PAP označava augmentaciju trzajne napetosti inducirane voljnom mišićnom aktivacijom i odnosi se na kraći period (< 5 minuta), dok PAPE (eng. *postactivation performance enhancement*) predstavlja poboljšanje u voljnoj izvedbi različitog karaktera nakon provedbe visoko intenzivnog voljnog potencijacijskog podražaja, a primjetno je u dužem periodu (> 5 minuta) (Boullosa i sur., 2020). No, cijelu problematiku klasifikacije potrebno je podvrgnuti daljnjoj znanstvenoj raspravi, pa će se za potrebe ovoga istraživanja koristiti starija klasifikacija.

Smatra se da su dva glavna mehanizma odgovorna za pojavu PAP (i) fosforilacija regulatornih lakih lanaca miozina i (ii) povećanje regrutacije motoričkih jedinica višeg reda. Također, kao potencijalno relevantan parametar za objašnjenje PAP, ističe se i promjena kuta djelovanja mišićnih vlakana (eng. *pennation angle*) (Tillin i Bishop, 2009). Kada je pitanje način registracije PAP učinaka, onda prema Hodgson i suradnicima (2005) postoje dva područja. Prvo se odnosi na evaluaciju neurofizioloških parametara, u koje spadaju sila mišićnog trzaja i amplituda H-refleksa, dok se drugo područje odnosi na analiziranje balističkih izvedbi. Sila mišićnog trzaja može se povećati na tri osnovna načina: (i) kontinuiranom maksimalnom voljnom kontrakcijom; (ii) izazvanom tetaničkom kontrakcijom ili (iii) ponavljajućim podražajima subfuzije (Hodgson i sur., 2005). Navedeni načini pobuđivanja mišića osim što povećavaju maksimalnu silu trzaja povećaju brzinu stvaranja sile mišićnog trzaja i smanjuju vrijeme postizanja maksimalne sile (Grange i sur., 1993; Sale, 2002). Navedeni efekt poznat je pod nazivom trzajna potencijacija, dobro je utvrđen i ponovljiv fenomen, iako je njegova funkcionalna važnost za ljudsku motoričku izvedbu manje jasna (Hodgson i sur., 2005). H-refleks se tradicionalno definira kao monosinaptički refleks izazvan električnom stimulacijom aferenata skupine Ia mišićnog živca (Grange i sur., 1993). Potencijacija H-refleksa izazvana visokofrekventnom električnom stimulacijom Ia aferenata istoimenog mišića, poznatija je kao post-tetanička potencijacija, a mehanizam se pripisuje učincima rezidualnog povećanja presinaptičke Ca^{2+} , što uzrokuje odgovarajuće povećanje

vjerojatnosti otpuštanja neurotransmitera iz terminala presinaptičke membrane (Zucker i Regehr, 2002).

Balističke izvedbe obuhvaćaju dinamičke, eksplozivne pokrete (skokove, bacanja, sprintove, udarce...) koji zahtijevaju brzu kontrakciju mišića radi postizanja maksimalne snage i brzine. Ovi pokreti često zahtijevaju savršenu koordinaciju između mišića i živčanog sustava kako bi se postigao optimalan rezultat.

1.3. Aktivnosti i potencijacijski podražaji u istraživanju akutnih utjecaja

Gledajući aktivnosti u kojima se istraživao PAP efekt, pregledom relevantnih istraživanja je evidentno da su se najčešće ispitivali utjecaji potencijacijskih podražaja (PP) na izvedbu vertikalnog skoka, horizontalnog skoka, sprinta i balističku aktivnost gornjeg dijela tijela (Seitz i Haff, 2016; Wilson i sur., 2013). Potencijacijski podražaji u istraživanjima PAP efekata razlikovali su po: intenzitetu i volumenu rada, načinu rada (izometrični - dinamički) te biomehaničkoj sličnosti vježbe PP sa balističkim zadatkom. Također, predmet istraživanja PAP efekata bio je i razdoblje odmora između završetka PP i izvedbe balističkog zadatka. Vrijedi istaknuti kako se nisu izolirano promatrali, u velikom broju studija, utjecaji PP na navedene aktivnosti, već je često sve svedeno na zajednički nazivnik koji bi se mogao okarakterizirati kao balističke izvedbe. Prema tome, velika doza opreza mora postojati pri prenošenju zaključaka.

U preglednom radu na 47 studija i 135 grupa sudionika, odnosno na ukupno 1954 ispitanika utvrđena je mala veličina učinka različitih potencijacijskih podražaja na izvedbu skoka ($d=0,31$), bacanja ($d=0,28$) i balističku izvedbu gornjeg dijela tijela ($d=0,23$) te srednja veličina učinka u sprintu ($d=50$) (Seitz i Haff, 2016).

U drugom preglednom radu ističe se da je potencijacijskim podražajima balističkim vježbama došlo do akutnog povećavanja izvedbe balističkih zadataka za 2 do 5%, s naglaskom na najvećoj učinkovitosti dubinskih skokova i skokova s opterećenjem (Maloney i sur., 2014). Veća učinkovitost potencijacijskog podražaja je zabilježena kod varijanti olimpijskog dizanja utega nego kod balističkog stražnjeg čučnja (Andrews i sur., 2011; Seitz, Trajano, i sur., 2014). Od potencijacijskih podražaja za pliometrijske vježbe je utvrđeno da imaju najveći utjecaj na PAP efekte ($d=0,47$) s objašnjenjem povezanosti pliometrijskih vježbi s preferencijalnim regrutiranjem motoričkih jedinica višeg reda i pojavom tolerantnog umora (Seitz i Haff, 2016).

Tipična vježba potencijacijskog podražaja je stražnji čučanj sa utezima, pa je kao takav bio predmet analize u kojem se predstavio sustavni pregled s meta analizom čimbenika koji moduliraju postaktivacijsku potencijaciju u skoku, sprintu, bacanju i balističkoj izvedbi gornjeg dijela tijela (Seitz i Haff, 2016). Rezultati pokazuju značajno veći učinak izvedbe plićeg spuštanja u čučanj ($d=0,58$) u odnosu na dublje spuštanje ($d=0,25$). Kod grupe snažnijih ispitanika zabilježen je nešto veći učinak plićeg ($d=0,60$) u odnosu na dublje

($d=0,55$) spuštanje u stražnjem čučnju, dok je kod slabijih ispitanika učinak bio izraženiji između plićeg ($d=0,67$) i dubljeg ($d=0,12$) spuštanja. Pretpostavlja se da dublje spuštanje, zbog dugotrajnije mišićne tenzije, uzrokuje veći umor koji na kraju smanjuje sposobnost produciranja visoke razine potencijacije.

U istraživanjima potencijacije sprinta u nogometaša za potencijacijski podražaj najčešće je korišten stražnji čučanj sa opterećenjem od 60 do 100% jednog maksimalnog ponavljanja (1RM), a još su korišteni skokovi s vanjskim opterećenjem, mrtvo dizanje, izometrična nožna ekstenzija, te vježba potisak šipke kukovima. Navedeni potencijacijski podražaji nisu praktično primjenjivi u uvjetima treninga i utakmica, a sve je više dokaza da je horizontalno opterećenje možda snažnija odrednica sprinterske izvedbe od vertikalnih opterećenja (Morin, Eduard i sur., 2011; Morin i sur., 2012), posebno tijekom faze ubrzanja (Hunter i sur., 2005). Sugerira se da bi horizontalno orijentirani podražaji s otporom mogli biti posebno učinkoviti za poboljšanje sprinterske izvedbe na kratkim udaljenostima (Arcos i sur., 2014; Randell i sur., 2010).

Od horizontalnih opterećenja za potencijaciju sprinta korišteni su vučenje saonica, sofisticirane naprave za zatezanje (npr. *1080 Sprint*), prsluci s utezima i padobrani. Nisu utvrđena akutna poboljšanja izvedbe sprinta nakon horizontalnog potencijacijskog podražaja sa vučenjem saonica sa opterećenjem od 25 do 30% mase tijela ispitanika (Whelan i sur., 2014), kao ni sa opterećenjem od 150% tjelesne mase (Winwood i sur., 2016). Poboljšanje izvedbe sprinta na 15 m utvrđeno je sa potencijacijskim podražajem vučenja saonica sa opterećenjem od 75% mase tijela ($p=0,036$; $d=0,22$; 0,8%) kod muških igrača ragbija (Winwood i sur., 2016) kao i sa opterećenjem od 66 do 70% mase tijela ($p<0,001$; $d=0,92$; 3,7%) kod mladih nogometaša (9 dječaka i 6 djevojaka, dob: 16-18 godina) (Williams i sur., 2021). Sa vučenjem saonica opterećenjem od 30% mase tijela utvrđeno je poboljšanje izvedbe sprintu na 5 metara za 4,4% kod muških rekreativaca između početne izvedbe i najbolje izvedbe nakon potencijacijskog podražaja koja se individualno razlikovala prema dužini odmora (Wong i sur. 2017). Potonje istraživanje ne pronalazi poboljšanja izvedbe sprinta na 10, 20 i 30 metara.

Zbog oprečnih rezultata trenutno nema konsenzusa oko potencijacije sprinta sa horizontalnim opterećenjem. Jedan od razloga je i definicija samog opterećenja preko mase tijela. Naime, stvarno opterećenje kojim ispitanici vuku saonice uz njezinu masu ovisi i o koeficijentu trenja između saonica i podloge. Koeficijent trenja između saonica i podloge se

značajno razlikuje u odnosu na vrstu podloge (Linthorne i Cooper, 2013). Nadalje, bitan parametar je i mjesto pričvršćenja opterećenja na tijelu ispitanika. Pričvršćenjem u visini ramena dobiva veća promjena kinematičkih parametre sprinta i znatno manji horizontalni impuls u odnosu na pričvršćenje u visini struka (Bentley i sur., 2016; Whelan i sur., 2014).

Elastično uže trenažni je rekvizit koji je u praksi jednostavan za primjenu, a i treneri ga sve više koriste u treningu i za pripremu nogometaša prije utakmice. Otpor elastičnih rekvizita (uže, traka) ovisi o konstanti elastičnosti (k) i postotku istezanja (x) (Guex i sur., 2015; Melchiorri i Rainoldi, 2011; Simoneau i sur., 2001). Elastični rekvizit s većom konstantom imat će veći otpor, kao i elastični rekvizit rastegnuto na veći postotak od svoje duljine u mirovanju. Otpor se može mjeriti u kilogramima i/ili njutnima. Budući da otpor elastičnog rekvizita ovisi o elastičnoj konstanti i postotku istezanja, a ne o gravitaciji poput slobodnih utega, otpor je prisutan u okomitoj i horizontalnoj ravnini (Melchiorri i Rainoldi, 2011) te ovisi samo o orijentaciji elastičnog rekvizita. Ova karakteristika omogućuje da se elastični rekviziti postave u bilo koju ravninu i dalje proizvode isti otpor što rezultira vježbama koje su svestranije i ergonomičnije (Colado i sur., 2010).

Potencijacijski učinak elastičnog užeta/traka tek je u novije vrijeme počeo biti predmet znanstvenih istraživanja akutnih učinaka. Utvrđeno je značajno akutno poboljšanje izvedbe sprinta na 9,1 metara nakon 4 minute odmora ($p=0,002$; $d=0,83$; 3,5%) korištenjem elastičnih traka u potencijacijskom podražaju stražnjeg čučnja kod rekreativno treniranih muškaraca (Wyland i sur., 2015). Potencijacijske protokole činilo je 5 serija po 3 ponavljanja stražnjeg čučnja opterećenjem od 85% 1RM-a. U protokolu sa elastičnim trakama 30% ukupnog opterećenja od 85% 1RM-a proizlazi iz elastičnih traka, dok drugi dio čine utezi. U drugom protokolu ukupno opterećenje od 85% 1RM-a čine samo utezi.

Također, utvrđeno je akutno poboljšanje izvedbe sprinta na 3, 5 i 10 metara korištenjem elastičnih traka u potencijacijskom podražaju stražnjeg čučnja kod sportašica (Krčmár i sur., 2021). Potencijacijski protokoli sastojali su se od 3 serija po 4 ponavljanja stražnjeg čučnja opterećenjem od 85% 1RM-a. U protokolima sa elastičnim trakama 20 ili 30% ukupnog opterećenja od 85% 1RM-a proizlazi iz elastičnih traka, dok je drugi dio opterećenja dolazi od utega. U protokolu bez elastičnih traka ukupno opterećenje od 85% 1RM-a čine utezi. Elastično opterećenje podešeno je uz pomoć platforme za mjerenje sile na način da je prosječna okomita sila tijekom čučnja sa elastičnim trakama bila jednaka sili tijekom čučnja sa utezima. Opterećenje u najnižoj poziciji stražnjeg čučnja sa elastičnim trakama i utezima

bilo je niže od opterećenja u čučnju sa utezima, dok je u najvišoj poziciji bilo više. Analizom izvedbi prije i poslije provedenih protokola, utvrđeno je najveće poboljšanje izvedbe sprinta nakon protokola kod kojeg je 30% opterećenja proizašlo iz elastičnih traka. Poboljšanje izvedbe sprinta nakon odmora od 5 i 10 minuta na 3 metara ($p<0,001$; $g=0,89$ i $p<0,001$; $g=0,65$), 5 metara ($p<0,001$; $g=0,65$ i $p<0,001$; $g=0,73$) i na 10 metara ($p<0,01$; $g=0,61$ i $p<0,01$; $g=0,43$).

Sa potencijacijskim podražajima stražnjim čučnjem i opterećenjima od 3RM-a i 5RM-a utvrđeno je akutno poboljšanje izvedbe sprinta na 20 metara i trčanja sa promjenom smjera kod muških studenata tjelesnog odgoja (Peng i sur., 2021). Opterećenja od 3RM-a i 5RM-a proizašla su iz elastičnih traka. Analizom razlika izvedbi između prije i poslije provedenih potencijacijskih podražaja, utvrđena su značajna poboljšanja sa oba opterećenja nakon 4 minute odmora ($p<0,05$).

Dodatne vježbe u zagrijavanju s elastičnim trakama značajno poboljšavaju izvedbu sprinta na 30 metara ($p=0,14$; $d=0,26$) i Illinois testa agilnosti ($p=0,18$; $d=0,43$) u odnosu na zagrijavanje koje je provedeno bez dodatnih vježbi (Mor i sur., 2022). Dodatne vježbe sa elastičnim trakama odnosile su se na: (i) čučnjeve bez vanjskog opterećenja - traka iznad koljena, (ii) hodanje (eng. *monster walks*) naprijed/nazad - traka ispod koljena, (iii) hodanje sa ravnim nogama naprijed/nazad/bočno - traka oko gležnjeva i (iv) fleksiju i rotaciju u kuku - traka oko stopala.

Istraživanja novijeg datuma jasno ukazuju da elastični otpor u potencijacijskom podražaju može izazvati akutni učinak. Akutni odgovori mogu ovisiti o sličnosti obrasca pokreta između vježbe predopterećenja odnosno vježbe potencijacijskog podražaja i obrasca pokreta u testu odnosno balističkoj izvedbi (Crewther i sur., 2011; Guggenheimer i sur., 2009; Young, 2006). U preglednoj studiji Ng i suradnika (2020) prikazani su učinci različitih modaliteta izazivanja PAP odgovora koji rezultiraju poboljšanjem sportske izvedbe, istaknute su prednosti i nedostaci svake PAP metode te date smjernice za buduća istraživanja PAP fenomena. Potonji autori u preglednoj studiji zaključuju kako je do poboljšanja sportske izvedbe došlo u svim studijama koje su u vježbi potencijacijskog podražaja koristile elastični otpor i koja je po specifičnosti obrasca pokreta bila slična ispitivanoj sportskoj izvedbi. Slijedom svega navedenoga nameće se ispitivanje PAP odgovora potencijacijskim podražajem horizontalnog usmjerenja elastičnim otporom na sportske izvedbe sprinta, trčanja u slalomu i udarca.

1.4. Teorijske postavke horizontalnog mehaničkog profila

Biomehanička analiza sprinta odnosi se na procjenu i mjerenje kinematičkih parametara i mjerenje kinetičkih parametara sprinta. Kinematički parametri sprinta odnose se na kretanje dijelova tijela i njihovu geometriju bez obzira na sile koje ga uzrokuju (brzina i vertikalni pomaci centra težišta tijela, duljina i brzina koraka, trajanje kontakta između stopala i podloge, kutovi između podloge i segmenata tijela itd.). Podaci se dobivaju analizom iz više sinkroniziranih kamera velike frekvencije i visoke rezolucije snimanja. Kinematički parametri sprinta su relativne i maksimalne sile reakcije podlog te se odnose na propulzivnu, vertikalnu i silu kočenja. Sile se mjere platformama za mjerenje sila reakcije podloge. Istraživanja sugeriraju da je duljina koraka glavna značajka koja određuje brzinu u fazi ubrzanja utrke na 100 m (Thompson, 2017). Utvrđeno je da su primarni kinetički čimbenici koji omogućuju najveće brzine sprinta visoke vertikalne sile reakcije tla primijenjene tijekom kratkih razdoblja (Weyand, Sandell, i sur., 2010; Weyand, Sternlight, i sur., 2000). Osim toga, navodi se da propulzivni impuls čini 57% varijance u brzini sprinta (Hunter i sur., 2005), te je utvrđena visoka korelacija horizontalne sile i izvedbe u sprintu (Morin, Eduard i sur., 2011). U konačnici, za biomehaničku analizu sprinta potrebna je vrlo skupa i sofisticirana oprema te je potreban posebno osposobljen tim stručnjaka za provedbu mjerenja, obradu i interpretaciju dobivenih podataka i kao takva najčešće se provode u laboratorijskim uvjetima.

Kako bi analiza sprinta bila dostupnija većem broju sportaša i njihovim trenerima te kako bi se mogla provoditi u terenskim uvjetima potrebno je bilo osmisliti jednostavan, pouzdan i valjan način za procjene mehaničkih parametara. Samozino i suradnici (2016) predstavili su jednostavne terenske metode za izračunavanje sile, brzine i izlazne snage u sprintu izračunate mjerenjima iz široko dostupnih i praktičnih uređaja. Zahvaljujući novim metodama, mehanički izlazi sprinta mogu se izvesti iz osnovnih tjelesnih mjera i prolaznih vremena ili trenutne brzine trčanja (Romero-Franco i sur., 2017; Samozino i sur., 2016). Pristup profiliranju snaga-sila-brzina temelji se na odnosu sila-brzina ($F-v$) i snaga-brzina ($P-v$), a karakterizira ga maksimalna mehanička sposobnost živčano-mišićnog sustava donjih ekstremiteta. Podaci koji se moraju izmjeriti kako bi se odredio horizontalni mehanički profil su tjelesna masa, tjelesna visina, prolazna vremena ili trenutna brzina trčanja u sprintu. Sprint se može mjeriti pomoću foto ćelija (najmanje 5 prolaznih vremena), lasera i/ili radarskim uređajem (Samozino i sur., 2016). Brzina vjetra, temperatura okoline i tlak zraka također moraju biti poznati kako bi se točno procijenila sila otpora zraka. Cijeli profil snaga-sila-

brzina može se zatim izračunati iz jednostavnog modeliranja izveden iz krivulje brzina-vrijeme koji vodi do podataka o horizontalnom ubrzanju.

Biomehanički model na kojem se temelji predložena jednostavna metoda je analiza kinematike i kinetike centra mase tijela (CMT) trkača tijekom sprint ubrzanja pomoću makroskopskog inverznog dinamičkog pristupa čiji je cilj biti najjednostavniji mogući (Furusawa i sur., 1927; Helene i Yamashita, 2010). Sve predstavljene varijable u izračunima odgovaraju prosječnim vrijednostima koraka (kontakta i vremena u zraku). Tijekom maksimalnog ubrzanja, krivulja horizontalne brzine (v_H) - vrijeme (t) je dugo pokazivala da sustavno slijedi mono-eksponencijalnu funkciju za sprintere rekreacijske i visoke razine treniranosti (Chelly i Denis, 2001; di Prampero i sur., 2015; Furusawa i sur., 1927; Morin i sur., 2006):

$$v_H(t) = v_{H_{max}} \cdot (1 - e^{-t/\tau})$$

gdje je $v_{H_{max}}$ maksimalna brzina postignuta na kraju ubrzanja i τ je vremenska konstanta ubrzanja. Horizontalni položaj (x_H) i ubrzanje (a_H) CMT može se izraziti kao funkcija vremena tijekom faze ubrzavanja kao funkcije vremena nakon integracije i derivacije $v_H(t)$ tijekom vremena, odnosno, kako slijedi:

$$x_H(t) = \int v_H(t) dt = \int v_{H_{max}} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) dt$$

$$x(t) = v_{H_{max}} \cdot \left(t + \tau \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}\right) - v_{H_{max}} \cdot \tau$$

$$a_H(t) = \frac{dv_H(t)}{dt} = \frac{v_{H_{max}} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)}{dt}$$

$$a_H(t) = \left(\frac{v_{max}}{\tau}\right) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Primjenjujući temeljne zakone dinamike u horizontalnom smjeru, horizontalno gibanje u antero-posteriornoj ravnini može se modelirati kroz vrijeme primjenjujući silu reakcije podloge (F_H) na CMT kao:

$$F_H(t) = m \cdot a_H(t) + F_{aero}(t)$$

gdje je m tjelesna masa trkača (kg) i $F_{aero}(t)$ je aerodinamični otpor koji treba prevladati tijekom sprinta koji je proporcionalan kvadratu brzine zraka u odnosu na trkača:

$$F_{aero}(t) = k \cdot (v_H(t) - v_w)^2$$

gdje je v_w brzina vjetra (ako postoji) i k je koeficijent aerodinamičnog trenja, koji se može procijeniti kao što su ga predložili (Arsac i Locatelli, 2002) od vrijednosti gustoće zraka (ρ , u kg/m^3), frontalnog dijela trkača (A_f , u m^2), i koeficijent otpora ($C_d=0,9$; van Ingen Schenau i sur. 1991):

$$k = 0.5 \cdot \rho \cdot A_f \cdot C_d$$

$$\rho = \rho_0 \cdot \frac{P_b}{760} \cdot \frac{273}{273 + T^\circ}$$

$$A_f = (0.2025 \cdot h^{0.725} \cdot m^{0.425}) \cdot 0.266$$

gdje je $\rho_0=1,293 \text{ kg/m}^3$ pri 760 Torr i 273° K , P_b je atmosferski tlak (u Torr), T° je temperatura zraka ($^\circ\text{C}$), a h je visina trkača (m). Srednja horizontalna anterio-posteriorna izlazna snaga primijenjena na CMT (P_H u W) tada se može modelirati u svakom trenutku kao proizvod F_H i v_H .

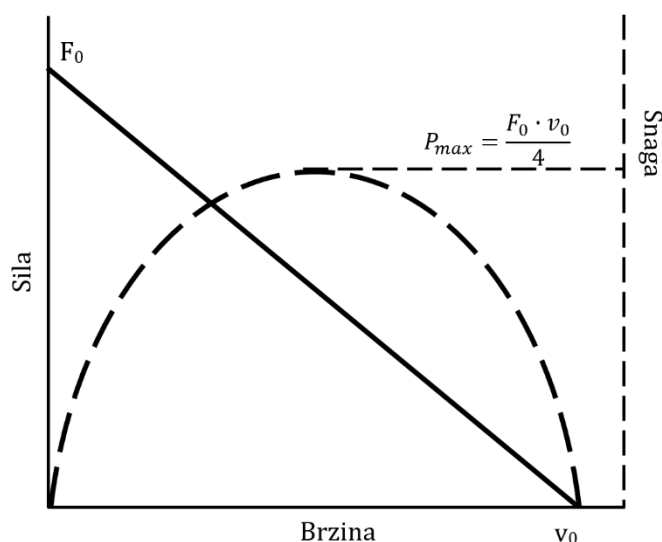
U vertikalnom smjeru, CMT trkača tijekom sprinta se podiže od startnog zgrčenog položaja do stojećeg položaja, a zatim se ne mijenja između koraka. Budući da je početno kretanje CMT prema gore u cjelini izglađeno kroz relativno dugu udaljenost ($\sim 30\text{--}40\text{m}$) (Cavagna i sur., 1971; Slawinski i sur., 2010) možemo smatrati da ne zahtijeva veliko vertikalno ubrzanje, tako da je srednje vertikalno ubrzanje CMT iznad svakog koraka nula tijekom sprinta. Prema tome, primjenjujući temeljne zakone dinamike u vertikalnom smjeru, prosječna vertikalna sila reakcije podloge (F_V) primijenjena na CMT tijekom svakog koraka može se modelirati kroz vrijeme kao jednaka tjelesnoj težini (di Prampero i sur., 2015):

$$F_V(t) = m \cdot g$$

gdje je g gravitacijsko ubrzanje ($9,81 \text{ m/s}^2$).

Analizirajući propulzivne faze višezglobnih pokreta, sila i brzina se prezentiraju inverzno linearnim odnosom (slika 1). Posljedično, odnos snage i brzine je određen paraboličnom krivuljom, odnosno mehanička izlazna snaga u horizontalnom smjeru (P_{max}) izračunava se kako su predložili i validirali Samozino, Edouard i sur., 2014; Samozino, Rejc, i sur., 2012; Vandewalle i suradnici, (1987):

$$P_{max} = \frac{F_0 \cdot v_0}{4}$$



Slika 1. Odnos sile i brzine u više zglobnim pokretima (modificirano prema Jarić, 2015)

F_0 označava teorijsku maksimalnu horizontalnu silu koju bi donji udovi mogli proizvesti tijekom jednog kontakta pri nultoj brzini, dok je V_0 teorijska maksimalna brzina trčanja koja bi se mogla postići u odsutnosti mehaničkih ograničenja (Cross, Brughelli, Samozino, i Morin, 2017). Viša vrijednost V_0 predstavlja veću sposobnost razvijanja horizontalne sile pri velikim brzinama. Obje vrijednosti se dobivaju ekstrapolacijom iz jednostavnog regresijskog modela. Shodno prethodnoj jednadžbi, moguće je generirati identičnu maksimalnu snagu u sprintu, ali s različitim kombinacijama vrijednosti sile i brzine, tj. s različitim mehaničkim F-v profilom. Navedeni profil se izražava omjerom F_0 i V_0 , odnosno nagibom linearnog F-v odnosa (S_{Fv}) putem jednadžbe:

$$S_{Fv} = -\frac{F_0}{v_0}$$

Što je vrijednost negativnija to je profil više orijentiran na stranu „sile“ i obrnuto.

Prema (Morin , Eduard i sur., 2011) mehanička učinkovitost primjene sile (RF) tijekom trčanja može se kvantificirati tijekom svake faze prema omjeru horizontalne sile (F_H , u N) i ukupne sile reakcije na tlo (F_{Res} , u N), a tijekom cijele faze ubrzanja prema nagibu linearnog smanjenja RF kada se brzina povećava (D_{RF} , u %s/m):

$$RF = \frac{F_H}{F_{Res}} \cdot 100 = \frac{F_H}{\sqrt{F_H^2 + F_v^2}} \cdot 100$$

RF vrijednost se izračunava od drugog koraka (tj. prvog potpunog koraka) do koraka pri maksimalnoj brzini (Morin, Eduard i sur., 2011; Morin, Samozino i sur., 2011; Morin i sur., 2012; Rabita i sur., 2015). RF i D_{RF} mogu se izračunati iz vrijednosti F_H i F_V modeliranih za $t > 0,3$ s (Samozino i sur., 2016).

Na temelju navedenoga linearni F-v model koristi se za stjecanje uvida u dinamičke izlaze višezglobnih pokreta, koji pak ovise o međudjelovanju više faktora. Segmentiranjem, faktori se odnose na mehanička svojstva (intrinzični F-v odnos mišića, odnos dužina - tenzija mišića, gradijent sile), morfološke komponente (poprečni presjek mišića, dužina fascikla, penacijski kut, svojstva tetivnog aparata, anatomska konfiguracija zgloba) i neuralne mehanizme (uključenost i sinkronizacija motoričkih jedinica, frekvencija pražnjenja impulsa, intramuskularna koordinacija). S obzirom na ukazane povezanosti, navedene je faktore moguće smatrati i determinantama F-v modela (Samozino, Edouard, i sur., 2014).

1.5. Čimbenici koji utječu na akutne izvedbe

Velik broj čimbenika determinira razinu PAP, a kao najznačajniji se u literaturi navode biomehanička sličnost obrasca pokreta između vježbe potencijacijskog podražaja i balističke izvedbe, trenažno iskustvo ispitanika i razina jakosti, vrsta potencijacijskoga podražaja, intenzitet i volumen potencijacijskoga podražaja te trajanje odmora između zadnjeg ponavljanja potencijacijskoga podražaja i naredne balističke izvedbe te antropološka obilježja ispitanika (Lockie i sur., 2017; Seitz i Haff, 2016; Wilson i sur., 2013).

Analizirajući PAP učinke prema vrsti potencijacijskoga podražaja (Tablica 1-3), ne pronalaze se značajne razlike između veličine učinka dinamičkih potencijacijskih podražaja ($d=0,42$) i izometričkih ($d=0,35$) (Wilson i sur., 2013). U nešto novijim meta analizama (Dobbs i sur., 2019; Seitz i Haff, 2016) utvrđeni su negativni PAP učinci ($d=-0,52$; $d=-0,09$) sa izometričkim potencijacijskim podražajima. Pretpostavlja se da izometričke kontrakcije regrutiraju veću količinu motoričkih jedinica višeg reda, ali i prouzrokuju veći umor (Tillin i Bishop, 2009). Također, moguće je da ovakav oblik kontrakcija ne može potencirati obrazac regrutiranja motoričkih jedinica kakav je prisutan tijekom kompleksnih gibanja (Dobbs i sur., 2019).

Dinamički potencijacijski podražaji mogli bi se podijeliti prema dominantnosti smjera u kojem se opterećenje svladava, odnosno na vertikalne (npr. skokovi, čučnjevi sa opterećenjem) i horizontalne (npr. sprintovi sa horizontalnim otporom). Od vertikalno usmjerenih dinamičkih podražaja najveći PAP učinci utvrđeni su sa pliometrijskim podražajima ($d=0,47$), dok su nešto manji učinci ($d=0,41$) utvrđeni sa tradicionalnim visoko intenzivnim podražajima, a najmanji ($d=0,19$) sa tradicionalnim podražajima umjerenog intenziteta (Seitz i Haff, 2016). Dobbs i suradnici (2019) u meta analizi pronalaze samo trivijalne pozitivne PAP učinke ($d=0,17$) sa vertikalnim dinamičkim potencijacijskim podražajima. Seitz i Haff (2016) pretpostavljaju da su pliometrijske vježbe povezane sa preferencijalnim regrutiranjem motoričkih jedinica višeg reda i pojavom tolerantnog umora. Horizontalno usmjereni podražaji u obliku sprintova sa povlačenja i guranja saonica ili nekog drugog horizontalnog otpora na izvedbu sprinta do sada je istraživano samo u nekoliko studija. Utvrđeno je značajno poboljšanje izvedbe sprinta do 20 m ($d=0,22 - 0,42$) sa opterećenjima do 75% mase tijela (Seitz i sur., 2017; Tillaar i Heimborg, 2018; Whelan i sur., 2014; Winwood i sur., 2016).

Tablica 1. Sažetak studija sa PAP učincima u sprintu sa potencijacijskim podražajima vertikalnog usmjerenja

Studija	Ispitanici	Test	Period odmora	Potencijacijski podražaj (serija x ponavljanja)	Promjena izvedbe testa
(Kümmel i sur., 2016)	Internacionalni sprinteri, dvije žene (23 ± 8 godina) i tri muškarca (21 ± 2 godina)	Sprint 30 m	10 min	Skok s visine 0,46 m (1x10 ponavljanja)	0-10 m: 0,58% 0-20 m: 0,00% 0-30 m: 0,48%
(Lim i Kong, 2013)	12 treniranih sprintera 22,4 ± 3,2 godina	Sprint 30 m	4 min	dinamički čučanj 1x3 s 90%1RM	0-10 m: -1,13%; d=0,36 0-20 m: -1,01%; d=0,54 0-30 m: -0,73%; d=0,42
				maksimalna izometrična ekstenzija u koljenu (3 ponavljanja po 3 sekunde)	0-10 m: 0,56%; d=0,14 0-20 m: -0,34%; d=0,15 0-30 m: -0,73%; d=0,46
				maksimalna izometrička kontrakcija u čučnju (3 ponavljanja po 3 sekunde)	0-10 m: -0,56%; d=0,15 0-20 m: -1,35%; d=0,60 0-30 m: -1,22%; d=0,65
(McBride i sur., 2005)	15 igrača američkog nogometa 20,8 ± 1,0 godina	Sprint 40 m	4 min	stražnji čučanj 1x3 s 90%1RM	0-10 m: -1,39%; d=0,27 0-30 m: -0,53%; d=0,08 0-40 m: -0,87%; d=0,15*
				Vertikalni skok sa pripremom na Smith mašini (1x3 s 30% 1RM-a stražnjeg čučnja)	0-10 m: -0,97%; d=0,18 0-30 m: -0,15%; d=0,04 0-40 m: -0,47%; d=0,09
(Chatzopoulos i sur., 2007)	15 amaterskih sportaša iz timskih sportova 22,0 ± 2,0 godina	Sprint 30 m	3 min	Stražnji čučanj 1x10 s 90% 1RM	0-10 m: 0,53%; d=0,39 0-30 m: 0,44%; d=0,27
			5 min		0-10 m: -2,65%; d=1,96* 0-30 m: -1,77%; d=1,23*

(Linder i sur., 2010)	12 fizički aktivnih žena $20,8 \pm 1,9$ godina	Sprint 100 m	9 min	Stražnji čučanj 1x4 s 90%RM	0-100 m: -1,12%; d=0,82*
(Rahimi, 2007)	12 nogometaša $22,4 \pm 1,0$ godina	Sprint 40 m	4 min	Stražnji čučanj 2x4 s 60% RM	0-40 m: -1,09%; d=3,16*
				Stražnji čučanj 2x4 s 70% RM	0-40 m: -1,77%; d=1,44*
				Stražnji čučanj 2x4 s 85% RM	0-40 m: -2,98%; d=4,35*
(Evetovich i sur., 2015)	7 igrača američkog nogometa $20,4 \pm 1,6$ godina	Sprint 36,6 m	8 min	Stražnji čučanj 1x8 s 50% 1RM 1x3 s 3RM	0-36,6 m: -1,17%; d=0,29*
(Yetter i Moir, 2008)	10 muški sveučilišnih sportaša $22,3 \pm 0,8$ godina	Sprint 40 m	4 min	Stražnji čučanj 1x5 s 30% 1RM; 1x4 s 50% 1RM; 1x3 s 70% 1RM	0-10 m: 0,56%; d=0,11 10-20 m: 1,47%; d=0,41 20-30 m: 1,11%; d=0,29 30-40 m: 2,25%; d=0,45
				Prednji čučanj 1x5 s 30% 1RM; 1x4 s 50% 1RM; 1x3 s 70% 1RM	0-10 m: -0,56%; d=0,12 10-20 m: 1,07%; d=0,31 20-30 m: -0,25%; d=0,06 30-40 m: -0,75%; d=0,16
(Till i Cooke, 2009)	12 nogometaša sa akademije $18,3 \pm 0,72$ godina	Sprint 20 m	4 min	Mrtvo dizanje (1x5 s 5RM)	0-10 m: -1,12%; d=0,85 0-20 m: -0,62%; d=0,53
				Vertikalni skok u mjestu sa privlačenjem koljena na prsa (5 ponavljanja)	0-10 m: -0,26%; d=0,18 0-20 m: -0,04%; d=0,03
				Maksimalna voljna izometrična kontrakcija ekstenzora koljena (3 ponavljanja po 3 sekunde)	0-10 m: 0,25%; d=0,12 0-20 m: 0,31%; d=0,18

(Bevan i sur., 2010)	16 profesionalnih ragbi igrača 25,0 ± 4,8 godina	Sprint 10 m	4, 8, 12 i 16 min	Stražnji čučanj 1x3 s 91% 1RM	Nema značajnih promjena u vremenima 0-5 m i 0-10 m u bilo kojoj vremenskoj točki Najbolji sprint: 0-5 m: -3,67%; d= 0,72** 0-10 m: -2,19%; d=0,50**
(Crewther i sur., 2011)	9 profesionalnih ragbi igrača 20,1 ± 0,9 godina	Sprint 10 m	~15 sekundi, 4, 8, 12 i 16 min	Stražnji čučanj 1x3 s 3RM	Nema značajnih promjena u vremenima 0-5 m i 0-10 m nakon bilo kojeg perioda odmora Najbolji sprint: 0-5 m: -2,6%; d= 3,68 0-10 m: -1,8%; d=2,55
(Lima i sur., 2011)	10 sportaša redovito uključenih u aktivnosti skakanja, sprinta, istezanja i treninga snage 20,6 ± 2,6 godina	Sprint 50 m	5 min	Skok s visine 0,75 m (2x5 ponavljanja)	Nema statistički značajne promjene izvedbe sprinta 50 m
			10 min		0-50 m: -2,4%; d=0,66*
			15 min		0-50 m: -2,7%; d=0,69*
(Low i sur., 2015)	16 nogometaša 17,0 ± 0,6 godina	6 x sprint 35 m sa 10 s odmora između sprintova	8 min	Stražnji čučanj 1x3 s 91%1RM	1. sprint 35 m: -0,39%; d<0,2* 2. sprint 35 m: -1,65%; d=0,36* Nema značajnih promjena u vremenima od 3. do 6. sprinta
(Seitz i Haff, 2015)	13 mladih ragbi igrača 18,8 ± 0,9 godina	Sprint 20 m	7 min	Stražnji čučanj 1x3 s 90% RM	Vrijeme: -2,16%; d=0,66** Brzina: 2,25%; d=0,63** Ubrzanje: 4,59%; d=0,70**
				Nabačaj na snagu 1x3 s 90% RM	Vrijeme: -3,05%; d=0,92** Brzina: 3,22%; d=0,84** Ubrzanje: 6,61%; d=1,00**

Legenda: značajna promjena izvedbe * $p \leq 0,05$ i ** $p \leq 0,01$

Tablica 2. Sažetak studija sa PAP učincima u sprintu sa potencijacijskim podražajima horizontalnog usmjerenja

Studija	Ispitanici	Test sprinta	Period odmora	Potencijacijski podražaj	Utjecaj na izvedbu testa
(Smith i sur., 2014)	24 anaerobno treniranih studenata (12 muškaraca i 12 žena) 23 ± 5 godina	Sprint 36,6 m	4 min	Sprint bez opterećenja (1x18,28 m s 0% mase tijela)	0-36,6 m: -2,14%; d=0,23
				Sprint s vučenjem saonica (1x18,28 m s 10% mase tijela)	0-36,6 m: -1,21%; d=0,14
				Sprint s vučenjem saonica (1x18,28 m s 20% mase tijela)	0-36,6 m: -2,11%; d=0,28
				Sprint s vučenjem saonica (1x18,28 m s 30% mase tijela)	0-36,6 m: -2,24%; d=0,27
(Seitz i sur., 2017)	20 ragbi igrača 18,4 ± 0,8 godina	Sprint 20 m	15 s, 4, 8 i 12 min	Guranje saonica 1x15 m s 75% mase tijela	15 s: 0,26%; d=0,07 4 min: -0,95%; d=0,22 8 min: -1,8%; d=0,42* 12 min: -1,54%; d=0,36*
				Guranje saonica 1x9 m s 125% mase tijela	Vrijeme sprinta u svim vremenskim točkama je bilo sporije (1,36 - 2,59%) 15 s: d=0,64* 4 min: d=0,53* 8 min: d=0,41 12 min: d=0,34
(Tillaar i Heimborg, 2018)	15 rukometašica 19,2 ± 1,2 godina	Sprint 20 m	5 - 6 min	7x20 m naizmjeničnih sprintova, bez opterećenja i s horizontalnim opterećenjem 5 kg (32 N)	Poboljšanje vremena sprinta za -2% nakon prvog sprinta sa opterećenjem
				7x20 m naizmjeničnih sprintova, bez opterećenja i s horizontalnim rasterećenjem 40 kg (80 N)	Nema promjene izvedbe sprinta

(Winwood i sur., 2016)	22 ragbi igrača 22,4 ± 3,0 godina	Sprint 15 m	4, 8 i 12 min	Sprint s vučenjem saonica 1x15 m s 75% mase tijela	12 min 0-15m: -0,78%; d=0,22*
				Sprint s vučenjem saonica 1x7,5 m s 150% mase tijela	Nema statistički značajnih promjena u vremenima sprintova u svim vremenskim točkama
(Whelan i sur., 2014)	12 rekreativaca iz timskog ili individualnog sporta 22,5 ± 3,9 godina	Sprint 10 m	1, 2, 4, 6, 8, i 10 min	Sprint s vučenjem saonica (3x10 m s 25-30% mase tijela)	Značajan pad prosječne brzine sprinta ($p \leq 0,05$)
(Williams i sur., 2021)	16 srednjoškolskih nogometaša/ica 16-18 godina (9 dječaka, 6 djevojaka)	Sprint 15 m	3 min	Vučenje saonica 3x15 m s opterećenjem koje smanjuje brzinu sprinta za 40-50% (66-70% mase tijela)	0-15 m: -3,70%; d=0,92**
(Wong i sur., 2017)	20 rekreativaca 22,3 ± 2,4 godina	Sprint 30 m	2, 4, 6, 8 i 12 min	Sprint s vučenjem saonica (1x30 m s 30% mase tijela)	Između početne i najbolje izvedbe s obzirom na period odmora 0-5 m: -4,42%; d=0,62* 0-30 m: -1,76%; d=0,41*
(Matusiński i sur., 2022)	11 internacionalnih i nacionalnih sprintera na 200-400 m (6 žena; 23,2 ± 5,4 godina, 5 muškaraca; 22,6 ± 2,8 godina)	Sprint 50 m	8 min	3x30 m sprint s horizontalnim opterećenjem od 10% mase tijela sa SPRINT 1080	Muškarci 0-10 m: -6,21%; $\eta^2=0,25^{**}$ 0-50 m: -2,50%; $\eta^2=0,45^{**}$ Žene 0-10 m: -2,60%; $\eta^2=0,20^{**}$ 0-50 m: -0,75%; $\eta^2=0,29^{**}$
				3x40 m sprint s horizontalnim rasterećenjem od 10% mase tijela sa SPRINT 1080	Nisu utvrđene značajne promjene izvedbe

(Mangine i sur., 2018)	23 košarkaša (10 muškaraca $20,0 \pm 1,7$ godina i 13 žena $20,0 \pm 1,0$ godina)	Sprint 20 m sa uređajem 1080 sprint i horizontalnim opterećenjem 1 kg		Sprint 20 m s horizontalnim opterećenjem od 5% mase tijela sa SPRINT 1080	Nema poboljšanja u prolaznim vremenima i brzinama sprinta te u horizontalnoj sili i snazi. Stope razvoja sile: 4,85%; $d=0,69^*$
(Monaghan i Cochrane, 2020)	18 dobro treniranih muškaraca $22,17 \pm 4,76$	Sprint 5 m	6 i 12 min	Vučenje saonica 3x5 m s opterećenjem koje smanjuje brzinu sprinta za 35% i 55% Vučenje saonica u nazad 3x5 m s opterećenjem koje smanjuje brzinu sprinta za 35% i 55%	Nisu utvrđene značajne razlike u brzini sprinta i kinetici (vertikalna i horizontalna sila, okomiti i horizontalni impuls te u brzini razvoja sile) prvog koraka u sprintu na 5 m

Legenda: značajna promjena izvedbe * $p \leq 0,05$ i ** $p \leq 0,01$

Tablica 3. Sažetak studija sa PAP učincima u sprintu sa potencijacijskom podražajem i elastičnim otporom u vertikalnom smjeru

Studija	Ispitanici	Test sprinta	Period odmora	Potencijacijski podražaj	Utjecaj na izvedbu testa
(Peng i sur., 2021)	15 studenata tjelesnog odgoja	Sprint 20 m, test promjene smjera, skok s pripremom	15 s, 4 i 8 min	Stražnji čučanj s opterećenjem dobivenim iz elastičnih traka 3RM i 5RM	Poboljšanje izvedbe sprinta i testa s promjenom smjera ($p < 0,05$) nakon 4 min odmora

(Mor i sur., 2022)	16 mladih nogometaša 15,18 ± 0,40 godina	Sprint 30 m, test ravnoteže, test brzine reakcije, vertikalni skok, test anaerobne snage, Illinois testa agilnosti, brzina lopte kod udarca	3 min	Dodatne vježbe u zagrijavanju s elastičnim trakama	0-30 m: -1,34%; d=0,26* Test ravnoteže: -25,36%; d=0,99* Illinois test: -1,50%; d=0,43*
(Krčmár i sur., 2021)	14 sportašica iz timskog ili individualnog sporta 21,9 ± 2,3 godina	Sprint 10 m	5 i 10 min	Stražnji čučanj 3x4 s 85% 1RM gdje 30% opterećenja dolazi od elastičnih traka	Odmor 5 min: 3 m: -6,89%; g=0,89** 5 m: -3,96%; g=0,65** 10 m: -2,76%; g=0,61** Odmor 10 min: 3 m: -4,59%; g= 0,65** 5 m: -3,96%; g=0,73** 10 m: -1,84%; g=0,43**
				Stražnji čučanj 3x4 s 85% 1RM gdje 20% opterećenja dolazi od elastičnih traka	Odmor 5 min: 10 m: -1,44%; g=0,58*
				Stražnji čučanj 3x4 s 85% 1RM	Odmor 5 min: 5 m: -2,38%; g=0,42* 10 m: -1,40%; g=0,23** Odmor 10 min: 10 m: -1,40%; g=0,36*

(Wyland i sur., 2015)	20 muškaraca 23,3 ± 4,4 godina	Sprint 9,1 m	0, 1, 2, 3 i 4 min	Stražnji čučanj 5x3 s 85% 1RM gdje 30% opterećenja dolazi od elastičnih traka	Odmor 4 min: 0-9,1 m: -3,5%; d=0,83**
				Stražnji čučanj 5x3 s 85% 1RM	Nema statistički značajnih promjena u vremenima sprinta u svim vremenskim točkama

Legenda: značajna promjena izvedbe * $p \leq 0,05$ i ** $p \leq 0,01$

Različiti rezultati su zabilježeni analiziranjem intenziteta potencijacijskih podražaja. Dobbs i suradnici (2019) indiciraju neučinkovitost visoko intenzivnih potencijacijskih podražaja ($\geq 80\%$ 1RM) na PAP efekt pri izvedbi vertikalnoga skoka ($d=0,08$). U meta analizi autori Seitz i Haff (2016) pronalaze najveće potencijacijske učinke sa podražajima visokog intenziteta ($\geq 85\%$ 1RM; $d=0,41$) u odnosu na srednji intenzitet (30 - 84% 1RM; $d=0,19$). U skladu s istaknutom oprečnošću, Wilson i suradnici (2013) evidentiraju značajno veću učinkovitost korištenjem srednjega intenziteta (60 - 84% 1RM; $d=1,06$) u odnosu na visoki intenzitet ($\geq 85\%$ 1RM; $d=0,31$), neovisno o statusu treniranosti. Navedene podatke interpretiraju pretpostavkom da potencijacijski podražaj srednjega intenziteta osiguravaju određenu razinu potencijacije, ali bez većih mehaničkih trauma kao ona visokog intenziteta.

Određeni konsenzus ipak postoji oko utjecaja broja serija potencijacijskih podražaja na razinu PAP. U meta analizama Seitz i Haff (2016) i Dobbs i suradnika (2019) utvrđeni su veći PAP efekti sa više serija potencijacijskog podražaja ($d=0,69$ i $d=0,66$) te manji PAP efekti nakon primjene jedne serije potencijacijskog podražaja ($d=0,24$ i $d=0,24$). Shodno tome, preporuča se izvođenja više serija da bi se postigli značajniji PAP efekti, ali je nužan oprez jer veći volumen rada uzrokuje i veći umor koji posljedično može smanjiti potencijalne PAP efekte (Suchomel, Lamont, i sur., 2016).

Važna determinanta razine PAP je trajanje odmora nakon izvedbe zadnje serije potencijacijskog podražaja. Dobbs i suradnici (2019) pronalaze najveće PAP učinke sa odmorom u rasponu od 3 do 7 minuta ($d=0,18$) u odnosu na odmor kraći od 3 minute ($d=-0,16$) te odmor u trajanju između 8 i 12 minuta ($d=0,03$) i onaj duži od 12 minuta ($d=0,04$). Seitz i Haff (2016) bilježe veći učinak kod dužeg trajanja odmora u intervalu od 5 do 7 minuta ($d=0,49$) i ≥ 8 minuta ($d=0,44$), u odnosu na kraći od 0,3 do 4 minute ($d=0,17$). Rezultati malo starije meta analize pronalaze značajnu razliku između odmora u trajanju od 3 do 7 min ($d=0,54$) i onog koji taje > 10 minuta ($d=0,02$), te između odmora u trajanju od 7 do 10 minuta ($d=0,70$) i onoga koji je trajao > 10 minuta ($d=0,02$) (Wilson i sur., 2013). Gouvêa i suradnici (2013) ističu kako trajanje odmora u rasponu od 8 do 12 minuta osigurava najveći PAP efekt ($d=0,24$), dok je za trajanje odmora između 4 i 7 minuta veličina učinka manja ($d=0,15$), a odmor od 0 do 3 minute evidentiran je kao faktor s negativnim utjecajem ($d=-0,25$). Određeni konsensus oko trajanja odmora ipak postoji budući da su analize izvijestile o sličnim nalazima za intervale odmora do 3 minuta i one duže od 12 min kod kojih je odgovor mali ili negativan.

Budući da znamo kako akutni učinak ovisi od ravnoteže između umora i potencijacije (Docherty i Hodgson, 2007). Subjektivni osjećaj razine umora/oporavka ispitanika bit će ispitan prije provođenja oba protokola sa Hooperovim indeksom (Hooper i Mackinnon, 1995) kako bi se utvrdilo koliko se ispitanici osjećaju umorni/odmorni prije protokola te da se ispita ima li razlike u umoru/opravku ispitanika između protokola.

Seitz i Haff (2016) prezentiraju veće PAP efekte kod ispitanika sa stažem > 2 godine u treningu s opterećenjem ($d=0,53$) uspoređujući ih s onima koji su manje primjenjivali ovakav oblik treninga ($d=0,44$), te sa onima bez iskustva ($d=0,07$). Wilson i suradnici (2013) u meta analizi iznose rezultate koji su u skladu s prethodnim. Autori bilježe značajno veće PAP efekte kod profesionalnih sportaša ($d=0,81$) u odnosu na srednje trenirane ($d=0,29$) i neutrenirane ispitanike ($d=0,14$).

Pregledom literature utvrđen je priličan konsenzus oko povezanosti razine jakosti i PAP efekata što se nadovezuje na dužinu staža u treningu. Naime, evidentirano je da ispitanici više razine jakosti ostvaruju veće efekte u odnosu na ispitanike niže razine (Suchomel, Lamont, i sur., 2016). Seitz i Haff (2016) iznose rezultate u kojima je kod jačih ispitanika zabilježena izraženija veličina učinka ($d=0,41$) u odnosu na slabije ispitanike ($d=0,32$). Važno je istaknuti da je kod jačih i slabijih ispitanika zabilježen veći učinak sa visoko intenzivnim opterećenje ($d=0,54$ i $d=0,34$), a sa umjerenim opterećenjem je zabilježen veći učinak kod slabijih ispitanika u odnosu na jače ($d=0,30$ i $d=0,19$) (Seitz i Haff, 2016). Najveći učinci kod snažnijih ispitanika su zabilježeni nakon odmora u trajanju od 5 do 7 min ($d=0,62$) u odnosu na trajanje vremena odmora ≥ 8 min ($d=0,23$) i od 0,3 do 4 min ($d=0,15$). Kod slabijih ispitanika najveći učinci su zabilježeni nakon odmora ≥ 8 min ($d=0,36$) u odnosu na kraće vrijeme od 5 do 7 min ($d=0,31$) i od 0,3 do 4 min ($d=0,28$). Veći učinci su kod jačih ispitanika zabilježeni nakon jedne serije opterećenja ($d=0,44$), a kod slabijih nakon više serija ($d=1,19$). Jačim ispitanicima su smatrani oni kod kojih je omjer opterećenja koje mogu savladati u stražnjem čučnju i tjelesne mase bio $\geq 1,75$ za muškarce i $\geq 1,5$ za žene te omjer opterećenja koje mogu savladati u potisku s ravne klupe i tjelesne mase bio $\geq 1,35$ za muškarce.

Analizirajući mišićnu kompoziciju, rezultati studija ukazuju da su mišićna vlakna tip II podložnija većem efektu potencijacije u odnosu na vlakna tip I (Hamada i sur., 2000; Vandenboom i sur., 1995). Hipoteza je da se ovakvom spoznajom mogu objasniti veći PAP efekti kod sprintera i skakača u odnosu na atletičare koji se natječu u disciplinama izdržljivosti, kao i veći efekti kod ispitanika sportova eksplozivnijeg karaktera u usporedbi sa

sportašicama izdržljivosti (Pääsuke, Ereline, i sur., 1999; Pääsuke, Saapar, i sur., 2007). Uzimajući u obzir da je kod muškaraca prisutan veći postotak mišićnih vlakana nego kod žena, očekivao bi se i veći PAP efekt kod tog spola (Terzis i sur., 2009). Međutim, meta analizom Wilson i suradnika (2013) nije pronađena značajna razlika između spolova. Mišićna jakost se nameće kao najvažnija karakteristika ispitanika koja određuje PAP odgovor, budući da je veći broj mišićnih vlakana tipa II direktno povezan s razinom jakosti (Karp, 2001), a viša razina treniranosti, odnosno veće iskustvo u treningu s otporom, podrazumijeva povećanje jakosti.

Pregledom literature pronađeno je samo nekoliko studija u kojima je mehanički F-v profil uključen u ispitivanje PAP efekata (tablica 4).

Potencijacijskim podražajem skokom sa visine 0,3 m nije utvrđena značajna povezanost između F-v profila i poboljšanja visine vertikalnog skoka, F-v profil objašnjava < 10% varijance (Baena-Raya i sur., 2020). No, u istom istraživanju određene značajnosti su ipak evidentirane u vezi parametrima F-v profila. Naime, autori su podijelili ispitanike na grupu s manjom maksimalnom izlaznom snagom ($P_{\max}$) u vertikalno skoku sa pripremom (21,7 - 31,2 W/kg) i na grupu s većom $P_{\max}$ (31,6 - 38,9 W/kg) te utvrdili da je vrijednost inicijalne visine skok s pripremom kod potonje grupe veća za 9,1 cm ($d=1,63$). Utvrđeno je značajno poboljšanje izvedbe vertikalnog skoka s pripremom kod obje grupe u svim vremenskim točkama (4, 8 i 12 min) sa oba potencijacijskog protokola (malog i velikog volumena rada), osim kod grupu s većim $P_{\max}$ u vremenskoj točki 12 min. Značajna razlika poboljšanja izvedbe između protokola utvrđena je samo u vremenskoj točki 4 min, značajno veće poboljšanje za 8,1% je utvrđeno sa protokolom malog volumena (1x5 ponavljanja) u odnosu na protokol velikog volumena (3x5 ponavljanja) 5,8%.

Značajna poboljšanja na 5 m (-3,12%; $d=0,43$) te u maksimalnoj snazi u horizontalnom smjeru ($P_{\max}$; 6,76%; $d=0,20$) i u maksimalnoj učinkovitosti primjene sile ($RF_{\max}$; 3,84%; $d=0,42$) utvrđena su kod juniorskih igrača tenisa (15,61 ± 1,35 godina) sa potencijacijskim podražajem u vježbi potisak sa kukovima (1x7 s 60% 1RM), a sa vježbom stražnji čučanj (1x7 s 60% 1RM): 5 m (3,12%; $d=0,31$), 10 m (2,89%; $d=0,35$), maksimalnoj teorijskoj sili (F_0 ; 9,92%; $d=0,30$), $P_{\max}(N)$ (10,93%; $d=0,28$) i $RF_{\max}$ (3,99%; $d=0,33$) (Fernández-Galván i sur., 2022). Sa stražnji čučanjem i opterećenjem od 1x3 s 85% 1RM utvrđeno je značajno poboljšanje samo F_0 (2,46%; $d=0,09$).

Utvrđena su značajna poboljšanja među prolaznih vremena sprinta na 30 m s potencijacijskim podražajem vučenja saonica 2x20 m s opterećenjem 57-73% mase tijela (smanjuje teoretsku maksimalne brzine za 50%); 5-10 m (0,92%; $d=0,71$), 10-15 m (0,98%; $d=0,98$), 15-20 m (1,05%; $d=1,06$), 20-25 m (1,17%; $d=0,83$) i 25-30 m (1,07%; $d=0,84$) (Zisi i sur., 2022). Nisu primijećene značajne promjene u mehaničkim varijablama, međutim, pojedinačna analiza otkrila je neke trendove poboljšanja maksimalne teorijske brzine (V_0 ; $d=0,43$) i maksimalne snage u horizontalnom smjeru (P_{max} ; $d=0,47$) sa potencijacijskim podražajem.

S obzirom na izraženu proturječnost rezultata u velikom broju čimbenika i ohrabrujuće rezultate prvih istraživanja akutnih učinaka sa uključivanjem mehaničkih parametara relevantnim se smatra proširivanje spoznaja o horizontalnim mehaničkim parametrima u istraživanju akutnih učinaka. Imajući u vidu dosad prezentirano, jedan od razloga kontradiktornih podataka prijašnjih istraživanja može biti u nedefiniranim uzorcima ispitanika s obzirom na F-v profil, na što upućuju prijašnja istraživanja u kojima je utvrđen veći akutni učinak kod jačih ispitanika (Seitz, de Villarreal, i sur., 2014; Suchomel, Sato, i sur., 2016), kao i kod ispitanika sa višom razinom treniranosti i dužim trenažnim iskustvom (Wilson i sur., 2013). Također se sugerira da jači ispitanici trebaju fizički zahtjevniji potencijacijski podražaj kako bi maksimalizirali akutno povećanje izvedbe (Seitz, de Villarreal, i Haff, 2014; Suchomel, Lamont, i sur., 2016; Tillin i Bishop, 2009). Slijedom navedenoga nameće se istraživanje F-v profila kao još jednog čimbenika u istraživanju akutnih učinaka. Kvalitetna evaluacija povezanosti mehaničkih parametara sa akutnim učincima zahtjeva niz istraživanja u kojima bi se ispitivao odnos F-v profila s ostalim čimbenicima koje su istaknuti kao odrednice PAP, a sve s ciljem dobivanja egzaktnijeg uvida u prirodu akutnih živčano - mišićnih odgovora (Zubčić, 2022).

Tablica 4. Sažetak studija PAP učinaka u skoku i sprintu sa analizom mehaničkih parametara

Studija	Ispitanici	Test sprinta	Period odmora	Potencijacijski podražaj	Utjecaj na izvedbu testa
(Baena-Raya i sur., 2020)	34 košarkaši rekreativci 21,9 ± 2,0 godina	Skok sa pripremom	4, 8 i 12 min	Skok s visine 0,3 m 1x5 ponavljanja	4 min: 2,5 cm; d=0,35* 8 min: 2,1 cm; d=0,29* 12 m: 2,2 cm; d=30*
				Skok s visine 0,3 m 3x5 ponavljanja	F–v profil nije mogao objasniti značajan dio promjene visine skoka (< 10% varijance)
(Fernández-Galván i sur., 2022)	19 juniorskih igrača tenisa 15,61 ± 1,35 godina	Sprint 30 m	4 min	Stražnji čučanj 1x7 s 60% 1RM ili 1x3 s 85% 1RM	1x7 s 60% 1RM: 5 m: -3,12%; d=0,31* 10 m: -2,89%; d=0,34* F ₀ : 9,92%; d=0,30* P _{max} (N): 10,93%; d=0,28* RF _{max} : 3,99%; d=0,33* 1x3 s 85% 1RM: F ₀ : 2,46%; d=0,09*
				Potisak sa kukovima 1x7 s 60% 1RM ili 1x3 s 85% 1RM	1x7 s 60% 1RM: 5 m: -3,12%; d=0,43* P _{max} : 6,76%; d=0,20* RF _{max} : 3,84%; d=0,42*

(Zisi i sur., 2022)	12 sprintera 17,2 ± 1,6 godina (5 dječaka, 7 djevojaka)	Sprint 30 m	8 min	Vučenje saonica 2x20 m s opterećenjem koje smanjuje teoretsku maksimalne brzine (V_0) za 50% (57-73% mase tijela)	0-30 m: -0,85%; d=0,48** Prosječna brzina: 5-10 m: 0,92%; d=0,71* 10-15 m: 0,98%; d=0,98** 15-20 m: 1,05%; d=1,06** 20-25 m: 1,17%; d=0,83* 25-30 m: 1,07%; d=0,84* Nisu utvrđene značajne promjene mehaničkih parametara sprinta
------------------------	--	-------------	-------	---	--

Legenda: značajna promjena izvedbe * $p \leq 0,05$ i ** $p \leq 0,01$

1.6. Problem istraživanja

Horizontalni F-v profil može se procijeniti pomoću inverzne dinamike primijenjene na centar mase tijela tijekom sprinterskog ubrzanja, uključujući teoretsku maksimalnu horizontalnu silu (F_0) i brzinu (V_0), maksimalnu izlaznu mehaničku snagu ($P_{\max}$), omjer sile (RF) koji izražava mehaničku učinkovitost primjene sile u horizontalnom smjeru i D_{RF} koji opisuje stopu smanjenja RF kako se brzina sprinta povećava tijekom cijele faze ubrzanja (Morin, Eduard i sur., 2011; Morin i Samozino, 2016). Kod dvoje profesionalnih igrača ragbija sa dijametralno suprotan F-v profil utvrđeno je gotovo jednako vrijeme sprinta na 20 m i maksimalna izlazna mehanička snaga ($P_{\max}$) (Morin i Samozino, 2016). Jedan igrač u početku sprinta, odnosno na niskim brzinama proizvodi veću horizontalnu silu (F_0) i ima veću učinkovitost primjene sile na podlogu ($RF_{\max}$). Drugi igrač pred kraj sprinta, odnosno na visokim brzinama proizvodi veću horizontalnu silu (V_0) i ima manju stopu pada RF sa povećanjem brzine sprinta (D_{RF}). Odnosno, jedan igrač veću horizontalnu silu proizvodi na početku sprinta na maloj brzini kretanja, a drugi pred kraj sprinta na velikoj brzini kretanja dok ima je vrijeme sprinta na 20 m gotovo jednako. Sa ciljem poboljšanja izvedbe sprinta kod ova dva igrača autori predlažu različite programe treninga sa usmjerenjem na poboljšanje deficitarnih parametara mehaničkog profila. Prijašnja istraživanja su utvrdila akutna poboljšanja izvedbe sprinta sa potencijacijskim podražajima i otporom u horizontalnom smjeru (Matusiński i sur., 2022; Seitz i sur., 2017; Tillaar i Heimbürg, 2018; Winwood i sur., 2016) te sa elastičnim otporom u vertikalnom smjeru (Krčmár i sur., 2021; Peng i sur., 2021; Wyland i sur., 2015).

Ova doktorska disertacija istražuje dva znanstvena problema. Prvi se odnosi na istraživanje utjecaja potencijacijskog podražaja sa elastičnim otporom u horizontalnom smjeru na akutni učinak izvedbe sprinta, slalom trčanja i udarca kod nogometaša. Posebno će se utvrditi ukupni akutni učinak bez obzira na dominantnost u mehaničkom profilu, a posebno prema dijametralno suprotnoj dominantnosti mehaničkoga profila kod dvije skupine nogometaša. Drugi dio problema se odnosi na utvrđivanje razlika između definiranih grupa u izvedbi sprinta, trčanja u slalomu i udarca kako bi se potvrdio nalaz istraživanja (Baena-Raya i sur., 2020) koji je utvrdio da grupa košarkaša koja ima više vrijednosti $P_{\max}$ u vertikalnom mehaničkom profilu skače značajno više od grupe sa nižim vrijednostima.

Kratkotrajne, visoko intenzivne aktivnosti mogu inducirati postaktivacijsku potencijaciju (PAP) (Evetovich i sur., 2015) odnosno akutno poboljšati kasniju izvedbu. Sve je više dokaza da je horizontalno opterećenje možda i snažnija odrednica sprinterske izvedbe od vertikalnih opterećenja (Morin, Eduard i sur., 2011; Morin i sur., 2012), posebno tijekom faze ubrzanja (Hunter i sur., 2005). Stoga Arcos i suradnici (2014) i Randell i suradnici (2010) sugeriraju da bi horizontalno orijentirani podražaji s otporom mogli biti posebno učinkoviti za poboljšanje sprinterske izvedbe na kratkim udaljenostima. Postoji opći konsenzus koji ukazuje na prednosti zagrijavanja na poboljšanje akutne izvedbe (Lockie i sur., 2017). Ali optimalna strategija zagrijavanja za nogometaše još uvijek nije dobro utvrđena (Hammami i sur., 2018). U sistematskom pregledu dosadašnji istraživanja akutnih utjecaja utvrđeno je da zagrijavanje FIFA 11+ ima negativne akutne učinke na fizičku izvedbu u usporedbi s dinamičkim zagrijavanjem (Asgari i sur., 2023). Za optimalnu potencijaciju nužna je i stroga individualizacija s preciznim koordiniranjem više faktora (Kilduff i sur., 2007; Suchomel, Lamont, i sur., 2016). S obzirom i na postojanje izražene proturječnosti rezultata u velikom broju čimbenika o kojima ovisi potencijacija, relevantnim se smatra intenzivno uključivanje horizontalnog mehaničkog profila u istraživačko područje PAP. Utvrđeno je da košarkaši sa većom maksimalnom izlaznom snagom ($P_{\max}$) skaču značajno više od onih sa manjom (Baena-Raya i sur., 2020) te da ragbijaši više razine treniranosti posjeduju i više vrijednosti horizontalne sile i snage te su brži u sprintu na 2, 5, 10, 20 i 30 m (Cross i sur., 2015). Nadalje, za poboljšanje izvedbe sprinta preporuča se programe trening usmjeriti na razvoj deficitarnih komponenti mehaničkog profila (Morin i Samozino, 2016) te je utvrđeno sa akutnim poboljšanjima sprinta na 5 i 10 m i značajna akutna poboljšanja horizontalnih mehaničkih parametara sprinta (F_0 , $P_{\max}$ i $RF_{\max}$) (Fernández-Galván i sur., 2022).

Aktivnosti sprint, trčanje u slalom i udarac određene su za glavne aktivnosti u kojima će se ispitivati akutni utjecaj. Sprint je najčešća aktivnost u situacijama postizanja pogodaka (Faude i sur., 2012) te profesionalni nogometaši za vrijeme nogometne utakmice prosječno prijeđu od 417 do 850 metara u sprintu (Mara i sur., 2017). Nogometaši u utakmici promijene smjer kretanja > 700 puta (Bloomfield i sur., 2007). Udarci po lopti su jedna od najčešće korištenih vještina u nogometu i predstavljaju osnovu za nogometnu izvedbu (Bacvarevic i sur., 2012; Masuda i sur., 2005). Brzina lopte može biti posebno važna kod udarca prema голу, jer se šansa za postizanje pogotka povećavaju s povećanjem brzine lopte (pod pretpostavkom da je udarac precizan) (Dörge i sur., 2002; Markovic i sur., 2006).

Razumijevanje utjecaja svih čimbenika te njihove interakcije predstavljaju osnovu za programiranje potencijacijskog protokola za balističke izvedbe. Konkretno, znanstveni problem na koji se ova disertacija referira odnosi se na utvrđivanje ukupnog akutnog učinka sprinta sa horizontalnim elastičnim otporom na izvedbe sprinta, trčanja u slalomu i na brzinu lopte kod udarca te na utvrđivanje akutnog utjecaja kod dvije grupe nogometaša koje se razlikuju prema dominantnosti u horizontalnom mehaničkom profilu. Drugi dio znanstvenog problema se odnosi na identificiranje razlika između definiranih grupa u izvedbi sprinta, trčanja u slalomu i udarca po lopti.

2. CILJEVI I HIPOTEZE

Primarni je cilj utvrditi ukupni akutni učinak sprinta sa elastičnim užetom na izvedbe sprinta, trčanja u slalomu i udarca po lopti kod nogometaša te utvrditi akutni učinak prema dominantnosti u horizontalnome mehaničkom profilu.

Sekundarni je cilj utvrditi razlike u izvedbi sprinta, trčanja u slalomu i udarca po lopti u kontrolnom i potencijacijskom protokolu između entiteta dominantnih u teorijskoj maksimalnoj horizontalnoj sili i teorijskoj maksimalnoj brzini.

H₁: Potencijacijski protokol sprint s elastičnim užetom izazvat će statistički značajan akutni učinak na izvedbe sprinta, slaloma trčanja i udarca po lopti kod entiteta dominantnih u teorijskoj maksimalnoj horizontalnoj sili.

H₂ Potencijacijski protokol s elastičnim užetom neće izazvati statistički značajan akutni učinak na izvedbe sprinta, slaloma trčanja i udarca po lopti kod skupine dominantne u teorijskoj maksimalnoj brzini.

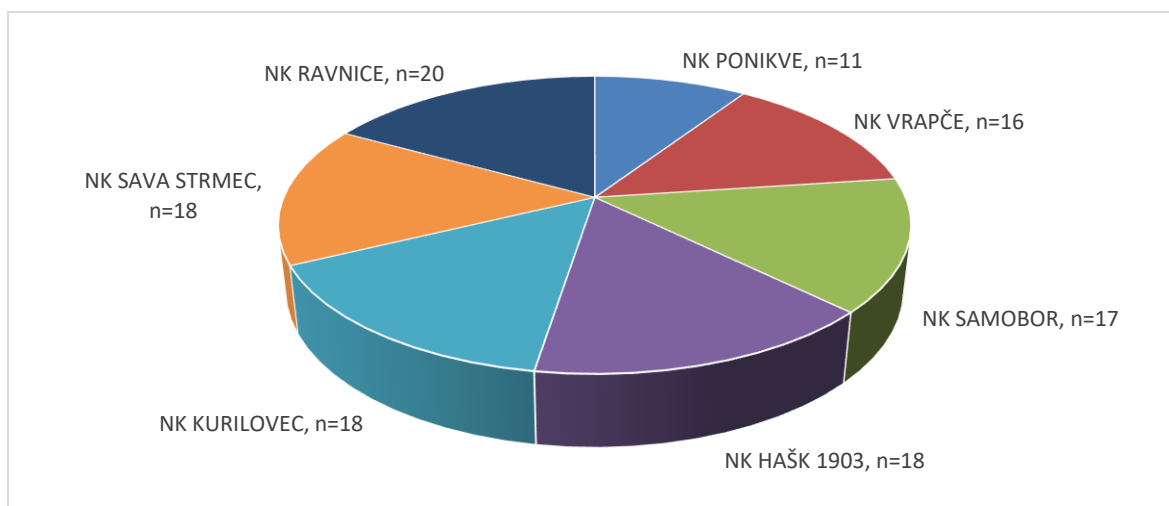
H₃: Skupina entiteta dominantnih u teorijskoj maksimalnoj horizontalnoj sili i skupina entiteta dominantnih u teorijskoj maksimalnoj brzini će se statistički značajno razlikovati u izvedbi sprinta, slalom trčanja i udarca po lopti nakon potencijacijskog podražaja sprinta sa elastičnim užetom.

3. METODE RADA

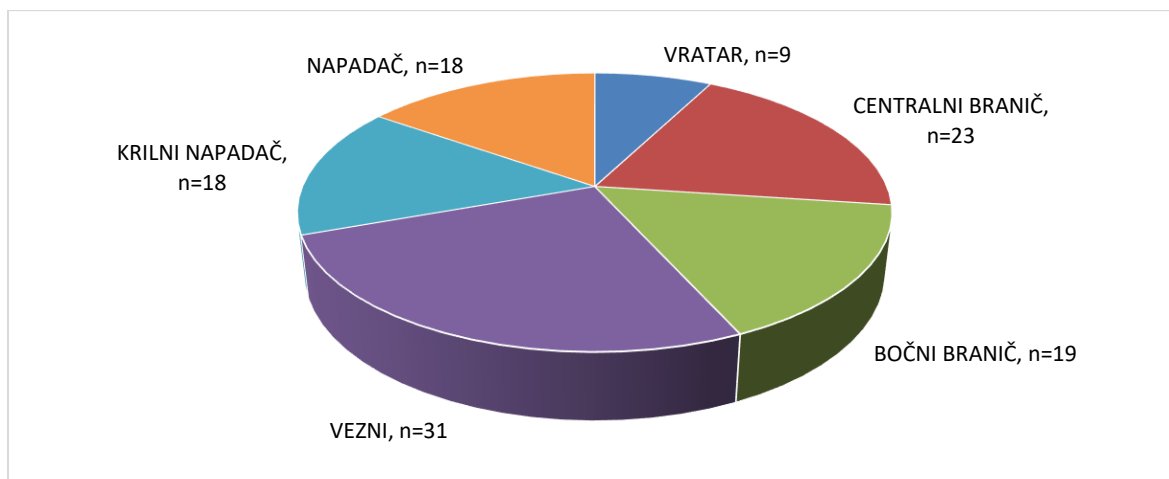
3.1. Uzorak ispitanika

Ukupno je u istraživanju bilo uključeno 139 nogometaša iz 7 klubova Treće hrvatske nogometne lige, seniorskoga uzrasta. Zbog razvoja akutne ozljede lokomotornog sustava na utakmicama i/ili ne dolaska na jedno od mjerenja isključen je 21 ispitanik. Ukupno je 118 nogometaša uspješno završilo oba mjerenja. Uzorak čini podjednak broj ispitanika iz svih uključenih klubova (16 do 20 igrača), osim iz NK Ponikve (n=11) zbog mnogobrojnih opravdanih privatnih/poslovnih obaveza koje su spriječile dolazak ispitanika na jedno od mjerenja (slika 2). Nogometaši su neselektivno odabrani sa svih pozicija u nogometnoj igri, uz uvjet da nisu pretrpjeli ozljedu donjih ekstremiteta u posljednjih šest mjeseci te je uzorak raspodijeljen razmjerno broju igrača po igračkim pozicijama unutar nogometnih sustava igre (slika 3).

Nogometaši su bili starosti u prosjeku $22,6 \pm 3,64$ godina, a variraju od 18 do 39 godina, s težištem dominantno na lijevom kraju distribucije. Prosječno su visine $180,3 \pm 6,58$ cm i mase $77,9 \pm 7,63$ kg. Grupe nogometaša značajno se ne razlikuju u prosječnoj visini tijela ($p=0,383$) i masi tijela ($p=0,597$) (slika 4). Ispitanici se prema klasifikacijskom okviru (McKay i sur., 2022) mogu svrstati u drugu skupinu.



Slika 2. Raspodjela nogometaša prema klubu, (n=118)

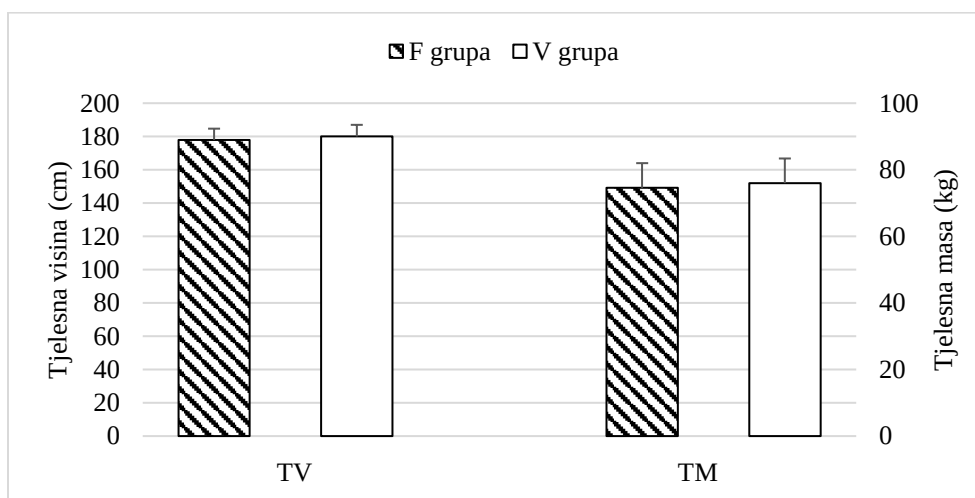


Slika 3. Raspodjela nogometaša prema poziciji u igri, (n=118)

Tablica 5. Deskriptivni parametri ispitanika

<i>n</i> =118	<i>AS</i> ± <i>SD</i>	<i>MIN</i> - <i>MAX</i>	<i>SKEW</i>	<i>KURT</i>	<i>S-W p</i>
DOB (godine)	22,63 ± 3,64	18,0 ± 39,0	1,82	4,31	<0,001 *
TV (cm)	180,26 ± 6,58	166,8 ± 196,6	0,21	-0,64	0,168
TM (kg)	77,93 ± 7,83	59,8 ± 102,0	0,31	0,11	0,681

Legenda: *AS*=aritmetička sredina, *SD*=standardna devijacija, *MIN*=minimalna vrijednost, *MAX*=maksimalna vrijednost, *SKEW*=mjera asimetrije, *KURT*=mjera zakrivljenosti, *S-W p*=razina značajnosti na Shapiro-Wilkovom testu normaliteta distribucije, *DOB*=starost ispitanika, *TV*= tjelesna visina, *TM*=tjelesna masa, *=statistički značajno odstupanje od normalne distribucije



Slika 4. Visina i masa tijela kod F i V grupe

Legenda: *F grupa*=grupa dominantna u teorijskoj maksimalnoj sili, *V grupa*= grupa dominantna u teorijskoj maksimalnoj brzini, *TV*=tjelesna visina, *TM*=tjelesna masa

Svi su ispitanici bili detaljno upoznati s protokolima i ciljevima istraživanja te su 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

određivanje njihovog individualnog horizontalnog mehaničkog profila. Istraživanje je usklađeno s Helsinškom deklaracijom, a eksperimentalni protokol odobren od strane Povjerenstva za znanstveni rad i etiku Kineziološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu pod brojem: 2./2022.

3.2. Uzorak varijabli

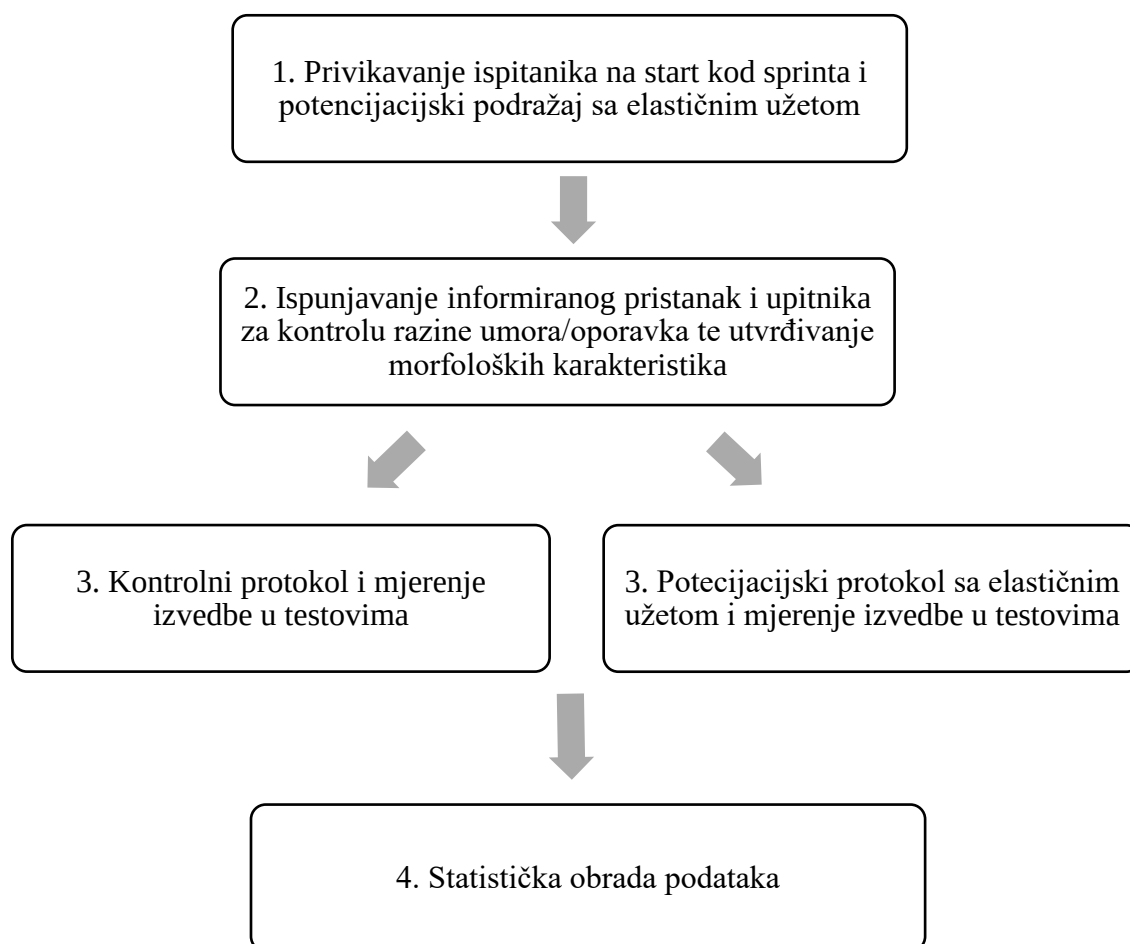
Varijable korištene u ovom istraživanju (tablica 6) primarno opisuju izvedbu u testovima i parametre horizontalnog mehaničkog profila. Za potrebe prikupljanja demografskih podataka o nogometašima korištene su varijable: klub, pozicija, dob, tjelesna masa (TM), tjelesna visina (TV), Hooperov indeks (HOOP) i horizontalno opterećenje elastičnog užeta (HOG). F-v profil je nezavisna kategorijska varijabla s vrijednostima F i V koja izražava dominantnost u horizontalnom mehaničkom profilu. Ispitanici su kategorizirani na način da je od ukupno 118 ispitanika odabrano 17 nogometaša koji su postigli najbolji rezultat u varijabli teorijska maksimalna sila (F_0), te 17 nogometaša koji su postigli najbolji rezultat u varijabli teorijska maksimalna brzina (V_0). Izvedbene varijable u ovom istraživanju su vremena u sprintu na 30 metara svakih 5 metara (SP0-5m do SP25-30m), prolazno vrijeme trčanja u slalom testu (SLA) i brzina lopte kod udarca (UD). U ovom istraživanju ukupno je analizirano dvadeset pet varijabli.

Tablica 6. Popis varijabli

Kratica	Opis varijable	Mjerna jedinica
KLUB	Naziv kluba iz kojeg ispitanik dolazi	/
POZICIJA	Pozicija u igri na kojoj ispitanik igra (vratar, centralni branič, bočni branič, vezni, krilni napadač, napadač)	/
DOB	Starost ispitanika	godine
TV	Tjelesna visina	cm
TM	Tjelesna masa	kg
FV-PROFIL	Nezavisna kategorijska varijabla koja izražava dominantnost u horizontalnom mehaničkom profilu	/
KON	Kontrolni protokol	/
PP	Potencijacijskog protokola sa elastičnim užetom	/
HOOP	Hooper indeks, indeks subjektivnog osjećaja umora/oporavka	/
HOG	Horizontalno opterećenje gume, sila kojom ispitanik vuče elastično užu u sprintu	N
SP0-5m	Vrijeme između starta i 5 metara kod sprinta na 30 metara	s
SP5-10m	Vrijeme između 5 i 10 metara kod sprinta na 30 metara	s
SP10-15m	Vrijeme između 10 i 15 metara kod sprinta na 30 metara	s
SP15-20m	Vrijeme između 15 i 20 metara kod sprinta na 30 metara	s
SP20-25m	Vrijeme između 20 i 25 metara kod sprinta na 30 metara	s
SP25-30m	Vrijeme između 25 i 30 metara kod sprinta na 30 metara	s
SLA-KON	Vrijeme trčanja u slalomu nakon kontrolnog protokola	s
SLA	Vrijeme trčanja u slalomu	s
UD-KON	Brzina lopte u testu udarca po lopti	m/s
F₀	Teorijska maksimalna sila u horizontalnom smjeru po jedinici mase tijela	N/kg
V₀	Teorijska maksimalna brzina sprinta	m/s
P_{max}	Maksimalna mehanička izlazna snaga u horizontalnom smjeru po jedinici mase tijela	W/kg
RF_{max}	Maksimalna učinkovitost primjene sile nakon 0,3 sekunde. Udio ukupne proizvodnje sile koja je usmjerena u pravcu kretanja prema naprijed kod starta u sprintu	%
D_{RF}	Stopa smanjenja <i>RF</i> sa povećanjem brzine tijekom ubrzanja kod sprint	%.s/m
V_{max}	Maksimalna brzina u sprintu na 30 metra	m/s

3.3. Nacrt istraživanja

Istraživanje je provedeno kao dvostruko slijepi randomizirani eksperiment sa ukriženim ustrojem (eng. *double blind randomized crossover design*). Tijek istraživanja prikazan je na slici 5.



Slika 5. Prikaz tijeka istraživanja

Prije početka eksperimenta, ispitanici su imali privikavanje na start kod sprinta na 30 metara i na potencijacijski podražaj sa elastičnim užetom kroz tri edukacijska treninga. Start kod sprinta je specifičan i nije široko poznat nogometašima. Start je proizvoljan (ne na zvučni signal) iz čučućeg položaja sa desnom rukom na podlozi. Kriteriji koji su trebali biti zadovoljeni u kontekstu starta kod sprinta: i) iz statičkog čučućeg položaja jedina kretnja je prema naprijed; ii) ruka napušta podlogu nakon propulzivne reakcije nogu. Elastično uže je bilo pojasom pričvršćeno za struk ispitanika. Zadatak ispitanika je bio nategnuti elastično uže

na maksimalnu udaljenost od hvatišta i na mjestu napraviti u maksimalnoj brzini jednak broj koraka kao i pri sprintu na 30 metara. Kriteriji koji su trebali biti zadovoljeni u kontekstu rada sa elastičnim užetom su: i) odraditi zadani broj koraka ii) maksimalnom brzinom, iii) na maksimalnoj udaljenosti od hvatišta sa koje uže ispitanika ne povuče prema nazad.

Po završetku privikavanja, autor je procijenio da su svi ispitanici uspješno savladali tehniku starta i rad sa elastičnim užetom. Ispitanici su na svim testiranjima koristili istu sportsku obuću (kopačke).

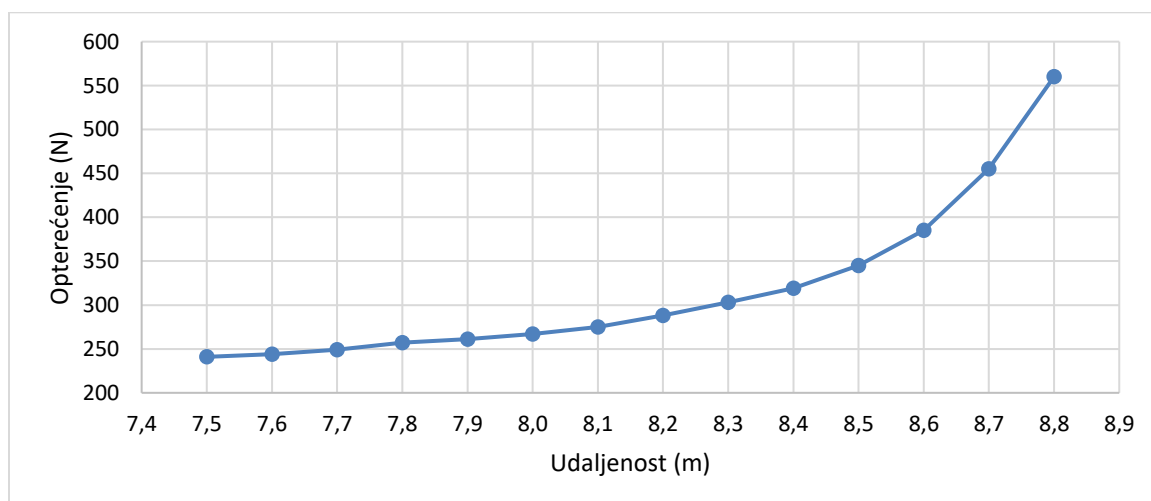
Testovi su se provodili u vrijeme kada ispitanici treniraju u svojim klubovima, najčešće u popodnevnom satima. Testovi su se provodili za vrijeme natjecateljskog perioda (proljetni dio, sezona 2022./23.) minimalno 72 sata nakon utakmice i/ili visoko intenzivnog treninga. Razmak između mjerenja je bio 7 do 8 dana. Svi ispitanici su dobili upute da ne konzumiraju ergogena sredstva (kofein, sok od cikle) najmanje 12 sati prije svih testiranja, te da zadrže uobičajene navike prehrane i spavanja. Svi testovi su izvedeni na domicilnim terenima ispitanika sa prirodnom travom.

Redoslijed provođenja protokola i testova je nasumičan. Nasumični redoslijed je osiguran na način da su ispitanici u prvom mjerenju bili podijeljeni po testovima po redoslijedu dolaska u klub, a u drugom mjerenju po abecednom redu. Redoslijed protokola i testova određen je uz pomoć internet stranice (www.random.org/sequences) za generiranje slučajnih brojeva. Sva testiranja je proveo autor sa još trojicom obučenih mjerioca Sportsko – dijagnostičkog centra Kineziološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Ispitanici su pri dolasku u klub prvo potpisali informirani pristanak na sudjelovanje zatim su pristupili ispunjavanju upitnika (Hooperovog indeksa) za kontrolu razine umora/oporavka (Hooper i Mackinnon, 1995). Nakon toga su utvrđene morfološke karakteristike te je provedeno standardizirano zagrijavanje sa kontrolnim ili potencijacijskim protokolom pod stručnim nadzorom autora u trajanju od 15 minuta. Ispitanici su nakon zagrijavanja raspodijeljeni po testovima u jednako brojne skupine.

3.4. Protokoli zagrijavanja

Protokoli zagrijavanja traju 15 minuta i sastojali su se od istih vježbi (tablica 7). Protokoli počinju sa trčanjem 6 dionica od 100 metara brzinom ≤ 10 km/h, zatim se na dionici od 12 metara izvode vježbe mobilnosti, atletske vježbe trčanja, vježbe propriocepcije i dinamičke vježbe istezanja. Vježbe su se izvodile u jednome smjeru, a u drugome smjeru se trčalo brzinom ≤ 10 km/h. Zadnja vježba je maksimalni sprint od 30 m. U kontrolnom protokolu (KON) izvodila su se tri maksimalna sprint od 30 metara. A u potencijacijskom protokolu (PP) izvodila su se tri maksimalna sprinta, ali sa horizontalnim elastičnim otporom. Odmor između sprintova trajao je 1 minutu, a između zadnjeg ponavljanja sprinta i testova 6 minuta. Zadatak ispitanika kod sprinta sa horizontalnim elastičnim otporom je bio nategnuti elastično uže na maksimalnu udaljenost od hvatišta i napraviti u maksimalnoj brzini jednak broj koraka kao i pri sprintu 30 metara, a da ga uže ne vuče nazad. Elastično uže je bilo ukupne dužine 7 m, prepolovljeno i jednim krajem pričvršćeno za hvatište, a drugim krajem pojasom (0,5 m) oko struka ispitanika te je ispitanik bez natezanja užeta bio udaljen oko 4 m od hvatišta. Broj koraka i udaljenost na kojoj je ispitanik izveo zadatak kontrolirao je mjerioc. Horizontalno opterećenje se na udaljenosti na kojoj ispitanik izvede zadatak odredilo dinamometrom. Za mjerenje horizontalnog opterećenja elastičnog užeta korištena je digitalna kranska vaga (eng. *MINI CRANE SCALE TS-320, RTB, India*). Vaga mjeri raspon opterećenja 0,5 - 200 kilograma (kg) sa preciznošću od 0,05 kg.



Slika 6. Prikaz horizontalnog opterećenja elastičnog užeta (HOG)

Tablica 7. Vježbe uključene u kontrolni (KON) i potencijacijski protokol (PP)

Faza	Vježbe	Ponavljjanje/ Udaljenost
Opća mobilnost	1. Trčanje ≤ 10 km/h	6 x 100 m
	2. Kruženje rukama naprijed	1 x 12 m
	3. Kruženje rukama u nazad	1 x 12 m
	4. Dokoračno sa rukama desna i lijeva strana	1 x (6 + 6 m)
	5. Prekorak desna i lijeva noga	1 x (6 + 6 m)
	6. Zatvaranje natkoljenicom desna i lijeva noga	1 x 12 m
	7. Otvaranje natkoljenicom desna i lijeva noga	1 x 12 m
	8. Karaoka desna i lijeva strana	1 x (6 + 6 m)
Atletske vježbe trčanja	9. Niski skip naprijed	1 x 12 m
	10. Niski skip desna i lijeva strana	1 x (6 + 6 m)
	11. Visoki skip samo desna noga	1 x 12 m
	12. Visoki skip samo lijeva noga	1 x 12 m
	13. Visoki skip naprijed	1 x 12 m
	14. Izbacivanje potkoljenica - kratko	1 x 12 m
	15. Izbacivanje potkoljenica - dugo	1 x 12 m
	16. Zabacivanje potkoljenica	1 x 12 m
Vježbe propriocepcije	17. Niski skip + naskok dijagonalno prema naprijed na vanjsku nogu u polučučanj u desnu i lijevu stranu	1 x 12 m
	18. Skokovi u dalj na desnoj nozi sa zadržavanjem u polučučnju	1 x 12 m
	19. Skokovi u dalj na lijevoj nozi sa zadržavanjem u polučučnju	1 x 12 m
	20. Bočno kretanje u desnu stranu + naskok na desnu nogu u polučučanj	1 x 12 m
	21. Bočno kretanje u lijevu stranu + naskok na lijevu nogu u polučučanj	1 x 12 m
Dinamičke vježbe istezanja	22. Prednoženje	1 x 12 m
	23. Zanoženja	1 x 12 m
	24. Odoženje u lijevu i desnu stranu	1 x 12 m
	25. Iskorak naprijed 4 puta svaka noga	1 x 12 m
	26. Istezanje kvadricepsa u blagom pretkolnu	1 x 12 m
	27. Bočni iskorak 4 puta desna strana + 4 puta lijeva strana	1 x 12 m
	28. Istezanje gluteusa	1 x 12 m
	29. Istezanje listova	1 x 12 m
Sprint	30. Kontrolni protokol (KON) maksimalni sprint 3x30 m, s odmorom od 1 minute ili	/
	30. Potencijacijski protokol (PP) maksimalni sprint sa elastičnim užetom na maksimalnoj udaljenosti sa istim brojem koraka kao i kod sprinta na 30 m, 3x30 m, s odmorom od 1 minute	

3.5. Protokol testiranja

3.5.1. Prikupljanje demografskih podataka i utvrđivanje morfoloških karakteristika

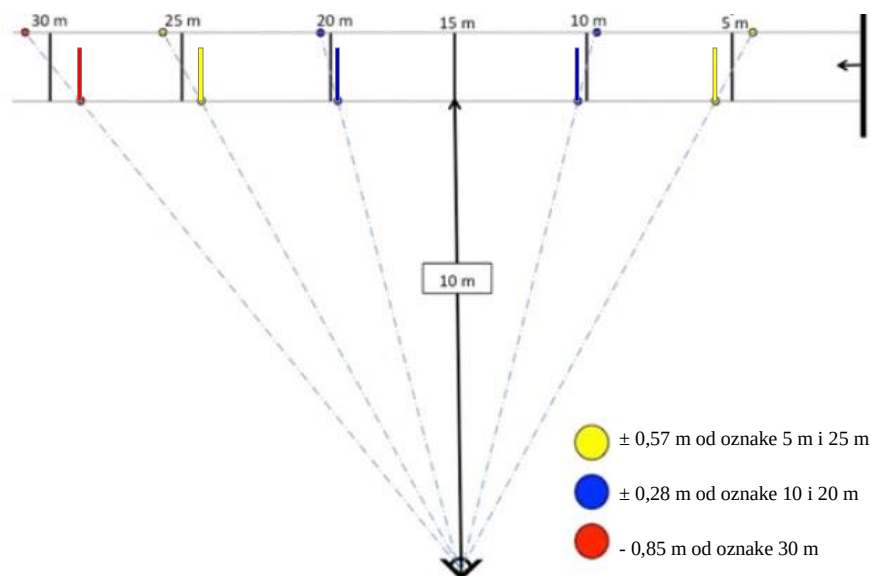
Pri dolasku u klupske prostorije, ispitanicima su prvo ispunili suglasnost o sudjelovanju u istraživanju. Zatim su mjerioci prikupljali demografske podatke o ispitanicima. Nakon toga su ispitanici ispunjavali upitnik Hooper indeks (Hooper i sur., 1995). Upitnikom su ispitanici na temelju subjektivne procjene davali podatke o kvaliteti sna prethodne noći, percipirane količine stresa, odgođene mišićne boli i razini umora. Svako pitanje je imalo skalu od 1 do 7. Pitanja o kvaliteti sna prethodne noći se kreću od jako, jako dobro (1) do jako, jako loše (7). Pitanja o količini stresa, razini mišićne boli i umora kreću se od jako, jako nisko (1) do jako, jako visoko (7).

Ispitanici su zatim pristupili mjerenju visine i masa tijela. Za mjerenje visine korišten je antropometar (Model 100, Gneupel Präzisionsmechanik (GPM), Bachenbülach, Švicarska). Masa tijela je utvrđena pomoću digitalne vage (model BC-601, Tanita Corporation, Tokyo, Japan).

3.5.2. Mjerenje sprinta na 30 metara i utvrđivanje horizontalnog mehaničkog profila

Sprint 30 metra čine šest varijabli koje predstavljaju prolazna vremena svakih 5 metara izraženih u sekundama. Varijable su obrnuto skalirane. Sprint 30 metara snima se s boka iPhoneom 8 i aplikacijom MySprint. Aplikacija MySprint razvijena je korištenjem softvera XCode 5.0.5 za Mac OSX 10.9.2 i instalirana je na iPhone 8 sa sustavom iOS 16.5.21. Video je sniman s 240 sličica po sekundi (eng. *fps*) u kvaliteti od 720 piksela (p). iPhone 8 je na stalku koji je postavljen okomito na liniju oznaka za sprint i udaljena 10 m od oznake 15 m. Sprint 30 m ispitanik proizvoljno starta iz čučućeg položaja s desnom rukom na podlozi i izvodi maksimalni sprint. Početak sprinta je trenutak u kojem desni palac ispitanika napušta podlogu. Oznake (štapovi 160 cm visine) su postavljene na način da sa mjesta snimanja pokazuju kada je ispitanik na 5 m, 10 m, 15 m, 20 m, 25 m i 30 m od startne linije (slika 7). Trenutak kada se zdjelica ispitanika poravna sa postavljenim oznakama označava prolazno vrijeme. Trenutak starta i prolazna vremena određuju se pregledom snimke u aplikaciji MySprint. Aplikacija MySprint izračunava mehaničke parametre prema (Samozino i sur., 2016). Ispitanici su izvodili 2 ponavljanja sa 3 minute pauze.

Za analizu je korišten prosjek dva ponavljanja.

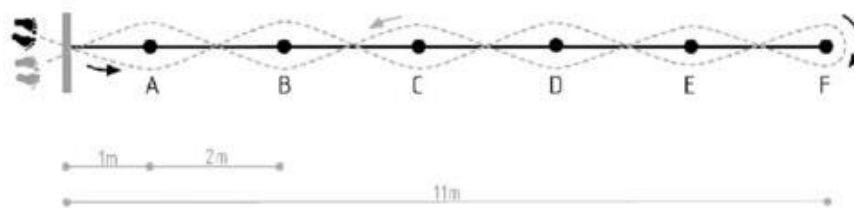


Slika 7. Postavljanje oznaka kod sprinta na 30 metara (modificirano iz aplikacije MySprint)

3.5.3. Mjerenje trčanja u slalomu

Vrijeme u slalom testa izraženo je u sekundama. Varijabla je obrnuto skalirana. Test ispitanik starta na zvučni signal iz pozicije visokog starta, prvo kreće u desno te sprinta do prve zastavice, zaobilazi je i trči k drugoj zastavici koju obilazi s lijeve strane. Ispitanik trči u slalom do posljednje zastavice, okreće se oko nje za 180° i trči slalom nazad. Prolaz kroz ciljnu liniju koja je ujedno i startna linija smatra se krajem zadatka. Staza za slalom duga je ukupno 11 m, udaljenost između startne linije i prve zastavice je 1 m, svaka slijedeća zastavica udaljena je od prethodne za 2 m. Vrijeme se mjeri fotočelijama sustava (Witty Gate, Microgate; USA). Sustav radi na radijskoj frekvenciji 433,1125 - 434,790 MHz sa preciznošću prijenosa impulsa $\pm 0,4$ milisekunda (ms). Test je valjan ($\lambda=0,643$; $\alpha=0,992$; ICC=0,992; CV%=2,9) (Sporis i sur., 2010). Ispitanici izvode 2 ponavljanja sa 3 minute pauze između ponavljanja.

Za analizu je korišten prosjek dva ponavljanja.

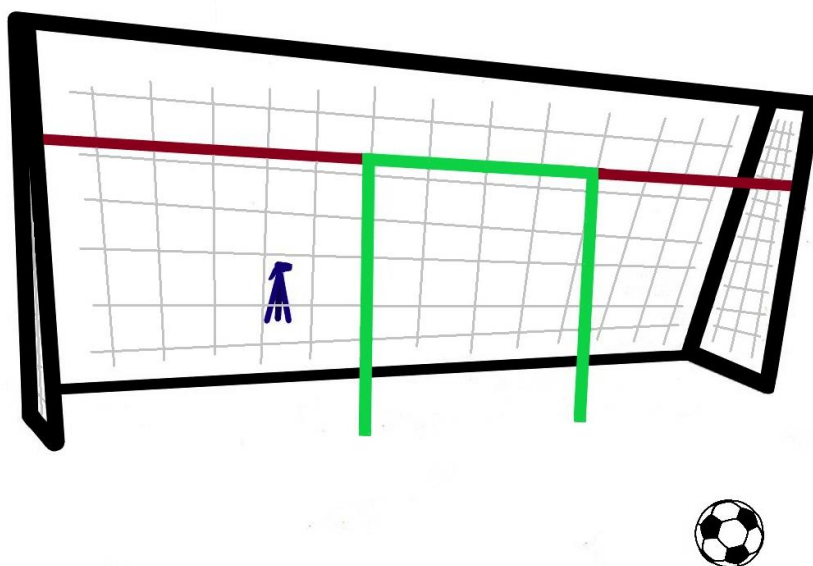


Slika 8. Slalom test (Sporis i sur., 2010)

3.5.3. Mjerenje maksimalne brzine lopte kod udarca po lopti

Kod udarca po lopti brzina lopte izražena je u metrima po sekundi. Ispitanik šutira nepomičnu loptu standardnih dimenzija (Adidas, UCL PRO, veličina 5) odobrenu od Međunarodne federacije nogometnog saveza (FIFA). Lopta je bila napumpana na 0,9 bara. Ispitanik iz zaleta udara loptu maksimalnom snagom sa dominantnom nogom. Ispitanik sam određuju dužinu zaleta, kut udarca i dio stopala kojim udara loptu. Ispitanicima je bilo rečeno da se usredotoče samo na maksimalnu brzinu lopte jer će svi udarci koji promaše ciljanu zonu biti ponovljeni. Ciljana zona postavljena je na način da udarci mogu odstupati najviše 14° u odnosu na smjer radara. Ciljana zona bila je visine 1,4 m i širine 1,4 m. Postavljena je bila između vratnica gola te udaljena 2 metra od početne pozicije lopte. Radar je bio postavljen iza gola udaljen 3 metra od ciljane zone, odnosno 5 m od početne pozicije lopte. Radar je bio postavljen na visinu od 0,7 m. Brzina lopte mjerila se radarom (Stalker pro, Applied Concepts Inc., Richardson, Teksas, SAD). Radar mjeri brzinu od 1,61 - 1287,47 km/h sa preciznošću od $\pm 3\%$ te radi na operativnoj frekvenciji od 34,7 GHz. Test je valjan ($LOA=0,2\pm1,4\text{ ms}^{-1}$; $ICC=0,96$; $CV\%=2,8$) (Markovic i sur., 2006). Ispitanici su izvodili 3 udaraca sa 1 minutom odmorom između udarca.

Za analizu je upotrijebljena prosječna brzina lopte sva tri udarca.



Slika 9. Udarca po lopti

3.6. Statistička obrada podataka

Za ukupni uzorak ispitanika i za svaku grupu ispitanika za izvedbene varijable i varijable horizontalnog mehaničkog profila posebno za svaki protokol izračunati su osnovni statistički parametri; aritmetička sredina (AS), standardna devijacija (SD), minimalni (MIN) i maksimalni (MAX) rezultat, mjere asimetrije (SKEW) i zakrivljenosti (KURT) te je normalitet distribucije provjeren Shapiro-Wilkovim testom (S-W). Testiranje značajnosti razlika izvedbenih varijabli i varijabli horizontalnog mehaničkog profila između protokola provedeno je zavisnim t-testom, osim za varijable (F_0 , $P_{\max}$ i D_{RF}) koje su testirane Wilcoxonovim *matched-pairs* testom. Testiranje značajnosti razlike u Hooperovom indeksu (HOOP) između protokola provedeno je Wilcoxonovim *matched-pairs* testom.

Selekcija nogometaša dominantnih prema horizontalnom mehaničkom profilu provedena je prema (Buchheit i Mendez-Villanueva, 2013). F grupu čine ispitanici sa većim vrijednostima teorijske maksimalne sile od koeficijenta varijacije u varijabli F_0 , a V grupu čine ispitanici sa većim vrijednostima teorijske maksimalne brzine od koeficijenta varijacije u varijabli V_0 .

Deskriptivnim varijablama TV, TM, i HOG posebno za svaku grupu, te za HOOP posebno za svaku grupu i protokol izračunati su osnovni statistički parametri i razina značajnosti odstupanja od normalne distribucije Shapiro-Wilkovim testom. Testiranje značajnosti razlike između grupa provedeno je nezavisnim t-testom, a testiranje značajnosti razlika HOOP između protokola unutar grupa provedeno je zavisnim t-testom.

Izvedbenim varijablama i varijablama horizontalnog mehaničkog profila posebno za svaku grupu i protokol provjerena je normalnost distribucija Shapiro-Wilkovim testom, a homogenost varijanci između grupa Levenovim testom.

Značajnost interakcije potencijacijskog protokola elastičnim užetom s obzirom na dominantnost u mehaničkom horizontalnom profilu nogometaša na izvedbe sprinta, trčanja u slalomu i udarca po lopti izračunata je dvosmjernom mješovitom analizom varijance. U sklopu ANOVA-e izračunata je i opažena snaga. Razlika između kontrolnog i potencijacijskog protokola izvedbenih varijabli i varijabli horizontalnog mehaničkog profila kod grupe dominantne u teorijskoj maksimalnoj horizontalnoj sili provedena je t-testom za zavisne uzorke i Wilcoxonovim *matched-pairs* testom, čime je provjerena prva hipoteza. Isto je provedeno i za grupu dominantnu u teorijskoj maksimalnoj horizontalnoj brzini, čime je

provjerena druga hipoteza. Razlika između grupa nakon potencijacijskog protokola na izvedbenim varijablama i varijablama horizontalnog mehaničkog profila provjerena je nezavisnim t-testom, čime je provjerena treća hipoteza. Razlika između grupa nakon kontrolnog protokola na izvedbenim varijablama i varijablama horizontalnog mehaničkog profila provjerena je nezavisnim t-testom i Mann-Whitney testom.

Veličina učinka za ukupni uzorak ispitanika izračunata je Cohenovim d indeksom. Korištena je sljedeća formula:

$$d = \frac{AS_{poslije} - AS_{prije}}{SD_{prije}}$$

Veličina učinka za grupe izračunata je Cohenovim d indeksom uz Hedgesovu korekciju za male uzorke (Hedges i Olkin, 1985). Korištena je sljedeća formula:

$$d = \frac{AS_1 - AS_2}{SD_{pooled}} * \left(\frac{n - 3}{n - 2,25} \right) * \sqrt{\frac{n - 2}{n}}$$

$$SD_{pooled} = \sqrt{\frac{SD_1^2 * SD_2^2}{2}}$$

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).

Razlike između kontrolnog i potencijacijskog protokola u analiziranim varijablama izračunate su u postocima, a prikazane su sa %Δ. Razina značajnosti svih dobivenih razlika u navedenim testovima i analizama korigirana je Bonferonijevom korekcijom za kontrolu *family wise error rate (FWER)* na $p < 0,0016$.

Stupčastim grafikonom prikazane su individualne promjene u apsolutnim vrijednostima (%) posebno za svaku grupu između kontrolnog i potencijacijskog podražaja s elastičnim užetom na izvedbenim varijablama i varijablama horizontalnog mehaničkog profila.

Podaci su obrađeni s programima Microsoft Excel 2017 (Microsoft Corporation, Redmond, WA, SAD) i Statistica 13.5 (Tibco Software Inc., Palo Alto, CA, SAD).

4. REZULTATI

4.1. Analiza akutnog učinka sprinta sa elastičnim užetom i horizontalnim otporom

Osnovni statistički parametri izvedbenih varijabli i varijabli horizontalnog mehaničkog profila pri kontrolnom i potencijacijskom protokolu prikazani su u tablicama 8 i 9. Sve varijable su normalno distribuirane, osim vremena u sprintu između 5 i 10 metara te između 10 i 15 metara u kontrolnom protokolu, a u potencijacijskom protokolu između 10 i 15 metra, 15 i 20 metara te između 20 i 25 m. Varijable horizontalnog mehaničkog profila koje nemaju normalnu distribuciju su: teorijske maksimalne sile (F_0) i stope smanjenja učinkovitosti primjene sile sa povećanjem brzine tijekom ubrzanja (D_{RF}) u oba protokola, te u potencijacijskom protokolu maksimalna mehanička izlazna snaga u horizontalnom smjeru (P_{max}).

Tablica 8. Deskriptivni parametri izvedbenih varijabli pri kontrolnom i potencijacijskom protokolu

	n=118	AS $\pm$ SD	MIN - MAX	SKEW	KURT	S-W p
KON	SP0-5m (s)	1,32 $\pm$ 0,08	1,11 - 1,48	0,02	-0,32	0,631
	SP5-10m (s)	0,74 $\pm$ 0,03	0,67 - 0,82	0,50	-0,11	0,037 *
	SP10-15m (s)	0,65 $\pm$ 0,03	0,58 - 0,76	0,53	1,79	0,039 *
	SP15-20m (s)	0,62 $\pm$ 0,03	0,57 - 0,72	0,26	0,27	0,581
	SP20-25m (s)	0,60 $\pm$ 0,03	0,52 - 0,70	0,04	0,84	0,157
	SP25-30m (s)	0,58 $\pm$ 0,03	0,50 - 0,67	0,36	0,58	0,499
	SLA (s)	7,28 $\pm$ 0,29	6,62 - 8,31	0,52	0,81	0,065
	UD (m/s)	30,68 $\pm$ 1,66	25,56 - 34,08	-0,45	0,23	0,155
PP	SP0-5m (s)	1,34 $\pm$ 0,07	1,15 - 1,53	-0,07	-0,32	0,686
	SP5-10m (s)	0,74 $\pm$ 0,03	0,67 - 0,81	0,03	-0,51	0,788
	SP10-15m (s)	0,65 $\pm$ 0,03	0,59 - 0,76	0,73	1,81	0,005 *
	SP15-20m (s)	0,63 $\pm$ 0,03	0,57 - 0,72	0,53	0,64	0,039 *
	SP20-25m (s)	0,60 $\pm$ 0,03	0,54 - 0,70	0,68	1,21	0,002 *
	SP25-30m (s)	0,59 $\pm$ 0,03	0,52 - 0,67	0,27	-0,25	0,340
	SLA (s)	7,17 $\pm$ 0,33	6,39 - 8,23	0,27	0,23	0,885
	UD (m/s)	30,85 $\pm$ 1,82	25,11 - 34,18	-0,44	-0,11	0,057

Legenda: AS=aritmetička sredina, SD=standardna devijacija, MIN=minimalna vrijednost, MAX=maksimalna vrijednost, SKEW=mjera asimetrije, KURT=mjera zakrivljenosti, S-W p=razina značajnosti odstupanja od normalne distribucije Shapiro-Wilkovim testom, KON=kontrolni protokol, PP=potencijacijski protokol, SP=vremena svakih 5 m kod sprinta na 30 metara (od 0-5 do 25-30 metara), SLA=vrijeme u trčanju slaloma, UD=brzina lopte kod udarca po lopti, *=statistički značajno odstupanje od normalne distribucije

Tablica 9. Deskriptivni parametri varijabli horizontalnog mehaničkog profila pri kontrolnom i potencijacijskom protokolu

	n=118	AS $\pm$ SD	MIN - MAX	MAX	SKEW	KURT	S-W p
KON	F₀ (N/kg)	8,10 $\pm$ 0,93	6,35 - 11,77	11,77	0,50	1,03	0,027 *
	V₀ (m/s)	8,98 $\pm$ 0,54	7,38 - 10,93	10,93	0,28	0,96	0,314
	P_{max} (W/kg)	18,16 $\pm$ 2,09	13,78 - 24,24	24,24	0,33	0,27	0,327
	RF_{max} (%)	53,00 $\pm$ 3,14	46,00 - 62,00	62,00	-0,09	-0,02	0,391
	D_{RF} (%.s/m)	-8,31 $\pm$ 1,20	-13,15 - -5,30	-5,30	-0,63	1,36	0,021 *
	V_{max} (m/s)	8,67 $\pm$ 0,48	7,19 - 10,40	10,40	0,21	0,87	0,387
PP	F₀ (N/kg)	7,94 $\pm$ 0,94	6,08 - 10,85	10,85	0,59	0,09	0,016 *
	V₀ (m/s)	8,95 $\pm$ 0,51	7,38 - 10,15	10,15	-0,08	0,02	0,711
	P_{max} (W/kg)	17,74 $\pm$ 2,19	12,79 - 25,14	25,14	0,54	0,38	0,038 *
	RF_{max} (%)	52,42 $\pm$ 3,20	44,50 - 61,00	61,00	0,24	-0,30	0,296
	D_{RF} (%.s/m)	-8,18 $\pm$ 1,09	-11,10 - -5,80	-5,80	-0,53	-0,02	0,029 *
	V_{max} (m/s)	8,63 $\pm$ 0,46	7,19 - 9,68	9,68	-0,14	-0,01	0,582

Legenda: AS=aritmetička sredina, SD=standardna devijacija, MIN=minimalna vrijednost, MAX=maksimalna vrijednost, SKEW=mjera asimetrije, KURT=mjera zakrivljenosti, S-W p=razina značajnosti odstupanja od normalne distribucije Shapiro-Wilkovim testom, KON=kontrolni protokol, PP=potencijacijski protokol, F₀=teorijska maksimalna sila, V₀=teorijska maksimalna brzina, P_{max}=maksimalna mehanička izlazna snaga u horizontalnom smjeru, RF_{max}=maksimalna učinkovitost primjene sile nakon 0,3 sekunde, D_{RF}=stopa smanjenja učinkovitosti primjene sile sa povećanjem brzine tijekom ubrzanja, V_{max}=maksimalna brzina u sprintu na 30 metara, *=statistički značajno odstupanje od normalne distribucije

Analizirajući izvedbe svih ispitanika utvrđeno je značajno akutno pogoršanje izvedbe sprinta (tablici 10) s potencijacijskim podražajem i prosječnim horizontalnim opterećenjem od 374 N. Najveća pogoršanja su zabilježena na samom početku i kaju sprinta na 30 metara (0-5 m i 25-30 m), a nešto manje pogoršanje je zabilježeno između 20 i 25 metra. Sva značajna pogoršanja su sa trivijalnom ili malom veličinom učinka. Utvrđeno je i značajno akutno poboljšanje izvedbe trčanja u slalomu za 1,51% s malom veličinom učinka. Potencijacijskim podražajem nisu utvrđene značajne akutne promjene brzine lopte kod udarca.

U horizontalnim mehaničkim parametrima (tablica 11) utvrđen je značajan pad vrijednosti parametra (F₀, P_{max}, RF_{max}), dok kod parametra koji se odnose na primjenu sile na visokim brzinama (V₀, D_{RF}, V_{max}) nema znatnije razlike između kontrolnog i potencijacijskog protokola niti u prosjecima, niti prema ostalim prezentiranim statističkim parametrima.

Tablica 10. Razlike u izvedbenim varijablama između kontrolnog i potencijacijskoga protokola

n=118	KON	PP	t	p	%Δ	Cohenov D
SP0-5m (s)	1,32 ± 0,08	1,34 ± 0,07	-3,925	<0,001 **	1,36	0,23
SP5-10m (s)	0,74 ± 0,03	0,74 ± 0,03	-0,658	0,512	0,17	0,04
SP10-15m (s)	0,65 ± 0,03	0,65 ± 0,03	-0,741	0,460	0,14	0,03
SP15-20m (s)	0,62 ± 0,03	0,63 ± 0,03	-1,082	0,282	0,23	0,05
SP20-25m (s)	0,597 ± 0,03	0,601 ± 0,03	-3,154	0,002 *	0,67	0,14
SP25-30m (s)	0,58 ± 0,03	0,59 ± 0,03	-7,261	<0,001 **	1,69	0,35
SLA (s)	7,28 ± 0,29	7,17 ± 0,33	6,851	<0,001 **	1,51	0,38
UD (m/s)	30,68 ± 1,66	30,85 ± 1,82	-1,303	0,195	0,54	0,10

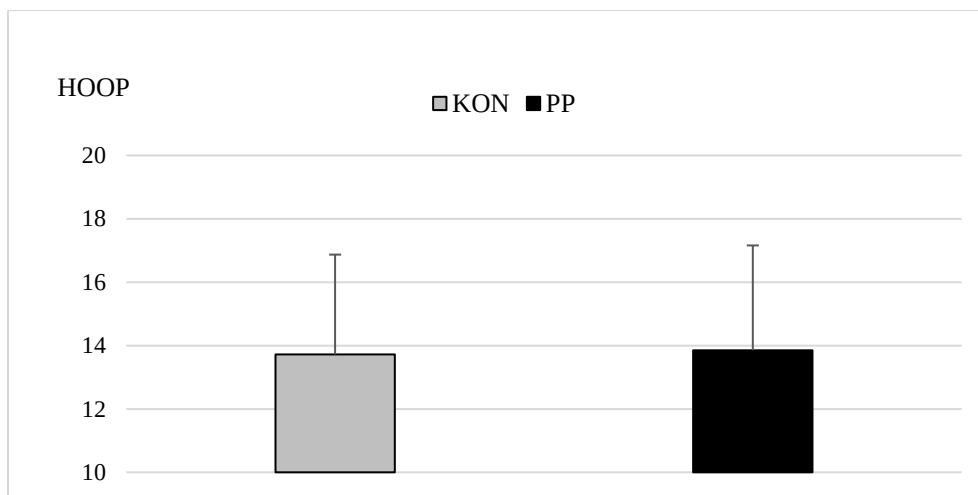
Legenda: KON=kontrolni protokol, PP=potencijacijski protokol, t=vrijednost zavisnog t-testa, p=razina značajnosti razlike između kontrolnog i potencijacijskog protokola, %Δ=postotak promjene između kontrolnog i potencijacijskog protokola, Cohenov D=veličina učinka, SP=vremena svakih 5 m kod sprinta na 30 metara (od 0-5 do 25-30 metara), SLA=vrijeme u trčanju slaloma, UD=brzina lopte kod udarca po lopti, *=statistički značajne razlike uz p=0,05, **=statistički značajne razlike nakon Bonferronijeve korekcije uz p=0,0016

Tablica 11. Razlike u varijablama horizontalnog mehaničkog profila između kontrolnog i potencijacijskoga protokola

n=118	KON	PP	t	Z	p	%Δ	Cohenov D
F₀ (N/Kg)	8,10 ± 0,93	7,94 ± 0,94		3,264	0,001 **	2,00	0,17
V₀ (m/s)	8,98 ± 0,54	8,95 ± 0,51	1,310		0,193	0,36	0,06
P_{max} (W/kg)	18,16 ± 2,09	17,74 ± 2,19		4,244	<0,001 **	2,31	0,20
RF_{max} (%)	53,00 ± 3,14	52,42 ± 3,20	3,304		0,001 **	1,11	0,19
DRF (%.s/m)	-8,31 ± 1,20	-8,18 ± 1,09		1,583	0,113	0,11	0,11
V_{max} (m/s)	8,67 ± 0,48	8,63 ± 0,46	1,665		0,098	0,08	0,08

Legenda: KON=kontrolni protokol, PP=potencijacijski protokol, t=vrijednost zavisnog t-testa, Z=koeficijent Wilcoxonovog testa, p=razina značajnosti razlike između kontrolnog i potencijacijskog protokola, %Δ=postotak promjene između kontrolnog i potencijacijskog protokola, Cohenov D=veličina učinka, F₀=teorijska maksimalna sila, V₀=teorijska maksimalna brzina, P_{max}=maksimalna mehanička izlazna snaga u horizontalnom smjeru, RF_{max}=maksimalna učinkovitost primjene sile nakon 0,3 sekunde, DRF=stopa smanjenja učinkovitosti primjene sile sa povećanjem brzine tijekom ubrzanja, V_{max}=maksimalna brzina u sprintu na 30 metara, **=statistički značajne razlike nakon Bonferronijeve korekcije uz p=0,0016

Na ukupno uzorku ispitanika nije utvrđena značajna razlika (p=0,597) u razini subjektivne procjene umora/oporavka (slika 10) koju su nogometaši percipirali prije kontrolnog (13,72 ± 3,15) i potencijacijskog protokola (13,85 ± 3,31).

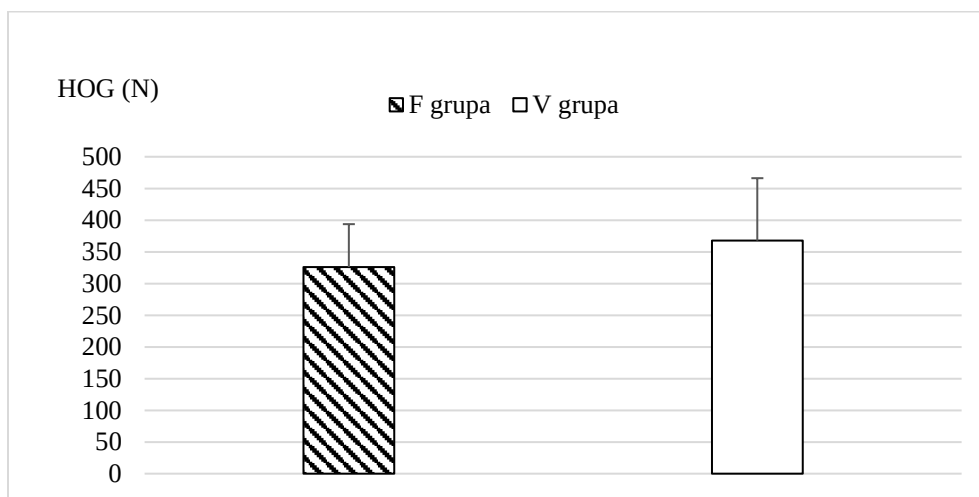


Slika 10. Hooperov indeks između kontrolnog i potencijacijskog protokola (n=118)

Legenda: HOOP=Hooperov indeks, KON=kontrolni protokol, PP=potencijacijski protokol

4.2. Analiza akutnog učinka sprinta sa elastičnim užetom i horizontalnim otporom prema dominantnosti u horizontalnom mehaničkom profilu

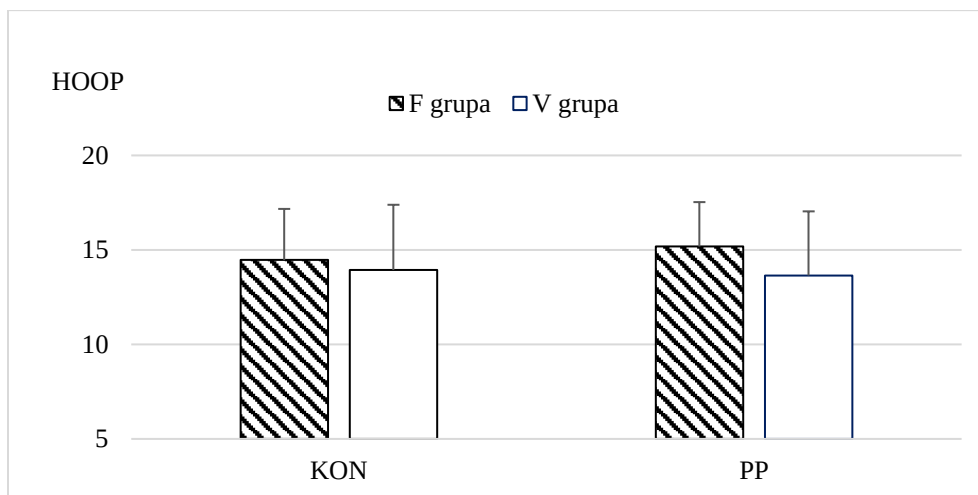
Kako bi ostvarili cilj i hipoteze ovog rada, ispitanici su podijeljeni prema dominantnosti u horizontalnom mehaničkom profilu. Sedamnaest ispitanika koji su postigli najbolje rezultate u teorijskoj maksimalnoj sili (F_0) čine F grupu, a 17 ispitanika koji su postigli najbolje rezultate u teorijskoj maksimalnoj brzini (V_0) čine V grupu.



Slika 11. Horizontalno opterećenje elastičnog užeta kod F i V grupe

Legenda: HOG=horizontalno opterećenje elastičnog užeta, F grupa=grupa dominantna u teorijskoj maksimalnoj sili, V grupa=grupa dominantna u teorijskoj maksimalnoj brzini

Slika 11 prikazuju da se grupe nogometaša značajno ne razlikuju u sili kojom su vukli elastično uže u potencijacijskom podražaju ($p=0,159$).



Slika 12. Hooperov indeks kod F i V grupe u protokolima

Legenda: HOOP=Hooperov indeks, F grupa=grupa dominantna u teorijskoj maksimalnoj sili, V grupa=grupa dominantna u teorijskoj maksimalnoj brzini, KON=kontrolni protokol, PP=potencijacijski protokol

Slika 12 prikazuje da u F grupi nema značajne razlike u subjektivnoj procjeni umora/oporavka između kontrolnog i potencijacijskoga protokola ($p=0,336$), a isto je utvrđeno i za V grupu ($p=0,603$). Iako se čini da je u potencijacijskom protokolu V grupa odmornija, testiranjem nije utvrđena značajnost razlike ($p=0,136$).

Tablica 12 prikazuje da distribucija varijabli značajno odstupa od normalne u kontrolnom protokolu kod F grupe za SP0-5m, F_0 , RF_{max} , i D_{RF} , a kod V grupe za SP10-15m, UD, V_0 i V_{max} . U potencijacijskom protokolu značajno odstupanje od normalne distribucije utvrđeno je samo u V grupi za SP5-10m, SP15-20m, SP20-25m i SP25-30m. Varijance se značajno razlikuju među grupama u kontrolnom protokolu u varijablama SP0-5m i SP15-20m, a u potencijacijskom protokolu u SP10-15m, SP15-20m, SP25-30m i RF_{max} varijablama.

Tablica 12. Normalitet distribucija i homogenost varijanci analiziranih varijabli po grupama

	n=34	F grupa (n=17)			V grupa (n=17)			Leven's p
		AS $\pm$ SD	MIN - MAX	S-W p	AS $\pm$ SD	MIN - MAX	S-W p	
KON	SP0-5m (s)	1,21 $\pm$ 0,04	1,11 - 1,26	0,024 *	1,34 $\pm$ 0,06	1,25 - 1,45	0,624	0,026 *
	SP5-10m (s)	0,75 $\pm$ 0,03	0,69 - 0,82	0,644	0,71 $\pm$ 0,02	0,68 - 0,76	0,116	0,091
	SP10-15m (s)	0,65 $\pm$ 0,02	0,59 - 0,68	0,667	0,61 $\pm$ 0,01	0,58 - 0,63	0,020 *	0,095
	SP15-20m (s)	0,63 $\pm$ 0,03	0,58 - 0,67	0,740	0,59 $\pm$ 0,01	0,57 - 0,62	0,326	0,004 *
	SP20-25m (s)	0,60 $\pm$ 0,02	0,55 - 0,63	0,344	0,56 $\pm$ 0,02	0,52 - 0,58	0,134	0,076
	SP25-30m (s)	0,58 $\pm$ 0,02	0,54 - 0,62	0,860	0,54 $\pm$ 0,02	0,50 - 0,57	0,153	0,227
	SLA (s)	7,15 $\pm$ 0,25	6,75 - 7,82	0,175	7,26 $\pm$ 0,23	6,96 - 7,78	0,194	0,732
	UD (m/s)	29,91 $\pm$ 1,62	27,28 - 33,19	0,876	31,07 $\pm$ 1,88	25,56 - 33,62	0,029 *	0,841
	F ₀ (N/kg)	9,60 $\pm$ 0,65	9,04 - 11,77	<0,001 *	7,67 $\pm$ 0,69	6,39 - 8,77	0,834	0,287
	V ₀ (m/s)	8,65 $\pm$ 0,43	8,06 - 9,38	0,253	9,85 $\pm$ 0,33	9,52 - 10,93	<0,001 *	0,090
	P _{max} (W/kg)	20,89 $\pm$ 1,60	18,84 - 24,24	0,117	18,80 $\pm$ 1,43	16,19 - 21,17	0,709	0,774
	RF _{max} (%)	57,41 $\pm$ 1,66	55,50 - 62,00	0,012 *	52,41 $\pm$ 2,64	47,50 - 56,50	0,814	0,061
	D _{RF} (%.s/m)	-10,15 $\pm$ 1,01	-13,15 - -8,85	0,014 *	-7,06 $\pm$ 0,75	-8,15 - -5,30	0,370	0,542
	V _{max} (m/s)	8,40 $\pm$ 0,40	7,85 - 9,07	0,219	9,44 $\pm$ 0,29	9,14 - 10,40	<0,001 *	0,055
PP	SP0-5m (s)	1,27 $\pm$ 0,05	1,19 - 1,35	0,718	1,34 $\pm$ 0,08	1,15 - 1,50	0,981	0,100
	SP5-10m (s)	0,74 $\pm$ 0,03	0,69 - 0,78	0,746	0,72 $\pm$ 0,03	0,68 - 0,79	0,015 *	0,924
	SP10-15m (s)	0,64 $\pm$ 0,02	0,59 - 0,68	0,629	0,62 $\pm$ 0,01	0,60 - 0,65	0,160	0,022 *
	SP15-20m (s)	0,62 $\pm$ 0,02	0,58 - 0,66	0,814	0,60 $\pm$ 0,01	0,58 - 0,65	0,001 *	0,036 *
	SP20-25m (s)	0,60 $\pm$ 0,02	0,55 - 0,63	0,658	0,57 $\pm$ 0,02	0,55 - 0,61	0,043 *	0,247
	SP25-30m (s)	0,58 $\pm$ 0,03	0,54 - 0,62	0,311	0,56 $\pm$ 0,02	0,54 - 0,61	0,006 *	0,012 *
	SLA (s)	6,99 $\pm$ 0,23	6,58 - 7,38	0,823	7,18 $\pm$ 0,26	6,85 - 7,78	0,143	0,833
	UD (m/s)	30,77 $\pm$ 1,74	27,91 - 33,98	0,839	30,65 $\pm$ 2,33	25,11 - 34,09	0,141	0,469
	F ₀ (N/kg)	8,89 $\pm$ 0,70	7,75 - 10,25	0,793	7,82 $\pm$ 1,15	6,12 - 10,85	0,246	0,173
	V ₀ (m/s)	8,81 $\pm$ 0,43	8,18 - 9,61	0,663	9,59 $\pm$ 0,33	8,90 - 10,15	0,806	0,198
	P _{max} (W/kg)	19,56 $\pm$ 1,77	17,06 - 22,96	0,635	18,70 $\pm$ 2,46	14,50 - 25,14	0,389	0,519
	RF _{max} (%)	55,35 $\pm$ 1,99	52,50 - 59,00	0,218	52,50 $\pm$ 3,91	46,00 - 61,00	0,950	0,046 *
	D _{RF} (%.s/m)	-9,21 $\pm$ 0,89	-10,75 - -7,90	0,318	-7,45 $\pm$ 1,13	-10,35 - -5,80	0,213	0,643
	V _{max} (m/s)	8,53 $\pm$ 0,40	7,97 - 9,26	0,544	9,21 $\pm$ 0,27	8,57 - 9,68	0,570	0,096

Legenda: F grupa=grupa dominantna u teorijskoj maksimalnoj sili, V grupa=grupa dominantna u teorijskoj maksimalnoj brzini, AS=aritmetička sredina, SD=standardna devijacija, MIN=minimalna vrijednost, MAX=maksimalna vrijednost, S-W p= razina značajnosti odstupanja od normalne distribucije Shapiro-Wilkovim testom, Leven's p=razina značajnosti razlike među varijancama grupa, SP=vremena svakih 5 m kod sprinta na 30 metara (od 0-5 do 25-30 metara), SLA=vrijeme u trčanju slaloma, UD=brzina lopte kod udarca po lopti, F₀=teorijska maksimalna sila, V₀=teorijska maksimalna brzina, P_{max}=maksimalna mehanička izlazna snaga u horizontalnom smjeru, RF_{max}=maksimalna učinkovitost primjene sile nakon 0,3 sekunde, D_{RF}=stopa smanjenja učinkovitosti primjene sile sa povećanjem brzine tijekom ubrzanja, V_{max}=maksimalna brzina u sprintu na 30 metara, *=statistički značajno odstupanje od normalne distribucije, KON=kontrolni protokol, PP=potencijacijski protokol

Tablica 13. Efekti potencijacijskog podražaja u izvedbenim varijablama između protokola i grupa

n=34	F grupa (n=17)		V grupa (n=17)		F	p	η^2
	KON	PP	KON	PP			
SP0-5m (s)	1,21 ± 0,04	1,27 ± 0,05	1,34 ± 0,06	1,34 ± 0,08	11,67	0,002 *	0,27
SP5-10m (s)	0,75 ± 0,03	0,74 ± 0,03	0,71 ± 0,02	0,72 ± 0,03	9,84	0,004 *	0,24
SP10-15m (s)	0,65 ± 0,02	0,64 ± 0,02	0,61 ± 0,01	0,62 ± 0,01	3,93	0,056	0,11
SP15-20m (s)	0,63 ± 0,03	0,62 ± 0,02	0,59 ± 0,01	0,60 ± 0,01	7,55	0,010 *	0,19
SP20-25m (s)	0,60 ± 0,02	0,60 ± 0,02	0,56 ± 0,02	0,57 ± 0,02	5,40	0,027 *	0,14
SP25-30m (s)	0,58 ± 0,02	0,58 ± 0,03	0,54 ± 0,02	0,56 ± 0,02	6,79	0,014 *	0,18
SLA (s)	7,15 ± 0,25	6,99 ± 0,23	7,26 ± 0,23	7,18 ± 0,26	1,91	0,176	0,27
UD (m/s)	29,91 ± 1,62	30,77 ± 1,74	31,07 ± 1,88	30,65 ± 2,33	4,19	0,049 *	0,51

Legenda: F=rezultat F testa, p=razina značajnosti F testa, η^2 =veličina učinka, SP=vremena svakih 5 m kod sprinta na 30 metara (od 0-5 do 25-30 metara), SLA=vrijeme u trčanju slaloma, UD=brzina lopte kod udarca po lopti, *=statistički značajne razlike uz p=0,05

U tablici 13 prikazana je značajna razlika u interakciji između kontrolnog i potencijacijskog protokola i testiranih grupa u vremenima sprinta za gotovo sve dionice po 5 metara te u brzini lopte kod udarca. Veličina učinka je velika za varijable SP0-5m, SP5-10m i UD, a mala za SP15-20m, SP20-25m i SP25-30m. Ipak, rezultate u sprintu treba uzeti s rezervom zbog nenormalnosti distribucije varijabli sprinta kod F i V grupe te zbog nehomogenosti među varijancama grupa pri kontrolnom i potencijacijskom protokolu.

Tablica 14. Razlike izvedbenih varijabli između protokola kod grupe dominantne u teorijskoj maksimalnoj sili

F grupa (n=17)	KON	PP	t	Z	p	%Δ	Cohenov D
SP0-5m (s)	1,21 ± 0,04	1,27 ± 0,05	2,67	3,296	0,001 **	4,50	1,16
SP5-10m (s)	0,75 ± 0,03	0,74 ± 0,03	1,29		0,017 *	1,26	0,28
SP10-15m (s)	0,65 ± 0,02	0,64 ± 0,02	1,45		0,215	0,52	0,13
SP15-20m (s)	0,63 ± 0,03	0,62 ± 0,02	0,24		0,167	0,66	0,15
SP20-25m (s)	0,60 ± 0,02	0,60 ± 0,02	-1,50		0,810	0,15	0,04
SP25-30m (s)	0,58 ± 0,02	0,58 ± 0,03	2,67		0,152	0,87	0,18
SLA (s)	7,15 ± 0,25	6,99 ± 0,23	3,08		0,007 *	2,25	0,59
UD (m/s)	29,91 ± 1,62	30,77 ± 1,74	-2,47		0,025 *	2,88	0,46

Legenda: F grupa=grupa dominantna u teorijskoj maksimalnoj sili, KON=kontrolni protokol, PP=potencijacijski protokol, t=vrijednost zavisnog t-testa, Z=koeficijent Wilcoxonovog testa, p=razina značajnosti razlike između kontrolnog i potencijacijskog protokola, %Δ=postotak promjene između kontrolnog i potencijacijskog protokola, Cohenov D=veličina učinka, SP=vremena svakih 5 m kod sprinta na 30 metara (od 0-5 do 25-30 metara), SLA=vrijeme u trčanju slaloma, UD=brzina lopte kod udarca po lopti, *=statistički značajne razlike uz p=0,05, **=statistički značajne razlike nakon Bonferronijske korekcije uz p=0,0016

Standardne devijacije izvedbenih varijabli kod grupe dominantne u teorijskoj maksimalnoj sili su u oba protokola niske i podjednake (tablica 14). Sa potencijacijskim podražajem došlo je do značajnog pogoršanja vremena sprinta na prvih 5 metara (SP0-5m) za 4,5% sa velikom veličinom učinka i značajnog poboljšanja vremena sprinta na slijedećih 5 metara (SP5-10m) za 1,26% sa malom veličinom učinka. Također, došlo je i do značajnog poboljšanja izvedbe slalom testa za 2,25% sa umjerenom veličinom učinka i značajnog povećanja brzine lopte kod udarca za 2,88% sa malom veličinom učinka.

Tablica 15. Razlike u varijablama horizontalnog mehaničkog profila između protokola kod grupe dominantne u teorijskoj maksimalnoj sili

F grupa (n=17)	KON	PP	t	Z	p	%Δ	Cohenov D
F₀ (N/kg)	9,60 ± 0,65	8,89 ± 0,70		3,296	0,001 **	7,43	0,94
V₀ (m/s)	8,65 ± 0,43	8,81 ± 0,43	-2,799		0,013 *	1,82	0,33
P_{max} (W/kg)	20,89 ± 1,60	19,56 ± 1,77	4,345		<0,001 **	6,37	0,70
RF_{max} (%)	57,41 ± 1,66	55,35 ± 1,99		3,180	0,001 **	3,59	1,00
DRF (%.s/m)	-10,15 ± 1,01	-9,21 ± 0,89		3,110	0,002 *	9,30	0,89
V_{max} (m/s)	8,40 ± 0,40	8,53 ± 0,40	-2,593		0,020 *	1,54	0,29

*Legenda: F grupa=grupa dominantna u teorijskoj maksimalnoj sili, KON=kontrolni protokol, PP=potencijacijski protokol, t=vrijednost zavisnog t-testa, Z=koeficijent Wilcoxonovog testa, p=razina značajnosti razlike između kontrolnog i potencijacijskog protokola, %Δ=postotak promjene između kontrolnog i potencijacijskog protokola, Cohenov D=veličina učinka, F₀=teorijska maksimalna sila, V₀=teorijska maksimalna brzina, P_{max}=maksimalna mehanička izlazna snaga u horizontalnom smjeru, RF_{max}=maksimalna učinkovitost primjene sile nakon 0,3 sekunde, DRF=stopa smanjenja učinkovitosti primjene sile sa povećanjem brzine tijekom ubrzanja, V_{max}=maksimalna brzina u sprintu na 30 metara, *=statistički značajne razlike uz p=0,05, **=statistički značajne razlike nakon Bonferonijeve korekcije uz p=0,0016*

Tablica 15 prikazuje da je nakon potencijacijskog podražaja kod grupe dominantne u teorijskoj maksimalnoj sili došlo do značajnog pada vrijednosti varijabli horizontalnog mehaničkog profila (F₀, P_{max} i RF_{max}) za 7,43%, 6,37% i 3,59% (uz Bonferonijevu korekciju na razini p<0,0016). Istovremeno je došlo do značajnog poboljšanja parametara koji se odnose na primjenu sile na visokim brzinama (V₀, DRF i V_{max}) za 1,82%, 9,30% i 1,54% (p<0,05).

U grupi dominantnoj u teorijskoj maksimalnoj brzini nakon potencijacijskog podražaja došlo je do značajnog pogoršanja izvedbe sprinta od četvrte do šeste dionice od 5 metara (tablica 16). Pogoršanje izvedbe između 15 i 20 m iznosi 1,7%, a između 20 i 25 m 2,31% sa umjerenom veličinom učinka i na razini značajnosti p<0,05. Najveće pogoršanje izvedbe je između 25 i 30 m te iznosi 3,37% sa velikom veličinom učinka i na razini značajnosti p=0,001. U izvedbi slalom testa utvrđeno je značajno poboljšanje izvedbe za 1,04% (d=0,28; p=0,036).

Tablica 16. Razlike izvedbenih varijabli između protokola kod grupe dominantne u teorijskoj maksimalnoj brzini

V grupa (n=17)	KON	PP	t	Z	p	%Δ	Cohenov D
SP0-5m (s)	1,34 ± 0,06	1,34 ± 0,08	-0,13		0,901	0,10	0,02
SP5-10m (s)	0,71 ± 0,02	0,72 ± 0,03	-1,94	1,775	0,076	1,35	0,37
SP10-15m (s)	0,61 ± 0,01	0,62 ± 0,01	-1,58	1,034	0,301	0,91	0,39
SP15-20m (s)	0,59 ± 0,01	0,60 ± 0,01	-2,37	2,107	0,035 *	1,70	0,67
SP20-25m (s)	0,56 ± 0,02	0,57 ± 0,02	-2,72	2,296	0,022 *	2,31	0,69
SP25-30m (s)	0,54 ± 0,02	0,56 ± 0,02	-4,88	3,479	0,001 **	3,37	0,98
SLA (s)	7,26 ± 0,23	7,18 ± 0,26	2,29		0,036 *	1,04	0,28
UD (m/s)	31,07 ± 1,88	30,65 ± 2,33		0,923	0,356	1,33	0,17

Legenda: V grupa=grupa dominantna u teorijskoj maksimalnoj brzini, KON=kontrolni protokol, PP=potencijacijski protokol, t=vrijednost zavisnog t-testa, Z=koeficijent Wilcoxonovog testa, p=razina značajnosti razlike između kontrolnog i potencijacijskog protokola, %Δ=postotak promjene između kontrolnog i potencijacijskog protokola, Cohenov D=veličina učinka, SP=vremena svakih 5 m kod sprinta na 30 metara (od 0-5 do 25-30 metara), SLA=vrijeme u trčanju slaloma, UD=brzina lopte kod udarca po lopti, *=statistički značajne razlike uz $p=0,05$, **=statistički značajne razlike nakon Bonferronijeve korekcije uz $p=0,0016$

Tablica 17. Razlike u varijablama horizontalnog mehaničkog profila između protokola kod grupe dominantne u teorijskoj maksimalnoj brzini

V grupa (n=17)	KON	PP	t	Z	p	%Δ	Cohenov D
F ₀ (N/kg)	7,67 ± 0,69	7,82 ± 1,15	-1,039		0,314	2,02	0,15
V ₀ (m/s)	9,85 ± 0,33	9,59 ± 0,33		3,148	0,002 *	2,59	0,69
P _{max} (W/kg)	18,80 ± 1,43	18,70 ± 2,46	0,287		0,778	0,50	0,04
RF _{max} (%)	52,41 ± 2,64	52,50 ± 3,91	-0,209		0,837	0,17	0,02
DRF (%s/m)	-7,06 ± 0,75	-7,45 ± 1,13	2,586		0,020 *	5,50	0,36
V _{max} (m/s)	9,44 ± 0,29	9,21 ± 0,27		3,148	0,002 *	2,44	0,73

Legenda: V grupa=grupa dominantna u teorijskoj maksimalnoj brzini, KON=kontrolni protokol, PP=potencijacijski protokol, t=vrijednost zavisnog t-testa, Z=koeficijent Wilcoxonovog testa, p=razina značajnosti razlike između kontrolnog i potencijacijskog protokola, %Δ=postotak promjene između kontrolnog i potencijacijskog protokola, Cohenov D=veličina učinka, F₀=teorijska maksimalna sila, V₀=teorijska maksimalna brzina, P_{max}=maksimalna mehanička izlazna snaga u horizontalnom smjeru, RF_{max}=maksimalna učinkovitost primjene sile nakon 0,3 sekunde, DRF=stopa smanjenja učinkovitosti primjene sile sa povećanjem brzine tijekom ubrzanja, V_{max}=maksimalna brzina u sprintu na 30 metara, *=statistički značajne razlike uz $p=0,05$

Tablica 17 prikazuje da je potencijacijskim podražajem kod grupe dominantne u brzini došlo je do značajnog pada vrijednosti varijabli horizontalnog mehaničkog profila koje se odnose na primjenu sile na visokim brzinama na razini značajnosti $p<0,05$, V₀ za 2,59% i V_{max} za 2,44% sa umjerenom veličinom učinka te kod DRF za 5,50% sa malom veličinom učinka. U vrijednostima ostalih mehaničkih varijabli nisu utvrđene značajne promjene.

Tablica 18. Razlika izvedbenih varijabli među grupama nakon potencijacijskog podražaja elastičnim užetom

PP n=34	F grupa (n=17)	V grupa (n=17)	t	Z	p	%Δ	Cohenov D
SP0-5m (s)	1,27 ± 0,05	1,34 ± 0,08	3,15		0,004 *	5,85	0,96
SP5-10m (s)	0,74 ± 0,03	0,72 ± 0,03		2,27	0,023 *	2,60	0,66
SP10-15m (s)	0,64 ± 0,02	0,62 ± 0,01	4,20		<0,001 **	4,11	1,28
SP15-20m (s)	0,62 ± 0,02	0,60 ± 0,01		3,15	0,001 **	3,99	1,16
SP20-25m (s)	0,60 ± 0,02	0,57 ± 0,02		3,13	0,002 *	4,00	1,11
SP25-30m (s)	0,58 ± 0,03	0,56 ± 0,02		2,51	0,012 *	3,39	0,78
SLA (s)	6,99 ± 0,23	7,18 ± 0,26	2,36		0,025 *	2,72	0,69
UD (m/s)	30,77 ± 1,74	30,65 ± 2,33	-0,16		0,871	0,38	0,05

Legenda: PP=potencijacijski protokol, F grupa=grupa dominantna u teorijskoj maksimalnoj sili, V grupa=grupa dominantna u teorijskoj maksimalnoj brzini, t=vrijednost nezavisnog t-testa, p=razina statističke značajnosti, %Δ=postotak promjene između kontrolnog i potencijacijskog protokola, Cohenov D=veličina učinka, SP=vremena svakih 5 m kod sprinta na 30 metara (od 0-5 do 25-30 metara), SLA=vrijeme u trčanju slaloma, UD=brzina lopte kod udarca po lopti, *=statistički značajne razlike uz p=0,05, **=statistički značajne razlike nakon Bonferonijeve korekcije uz p=0,0016

Nakon potencijacijskog protokola (tablica 18) grupa dominantna u teorijskoj maksimalnoj sili značajno je brža u sprintu na prvih 5 metara za 5,85% sa velikom veličinom učinka i značajno je brža u slalom testu za 2,72% sa umjerenom veličinom učinka. Grupa dominantna u brzini značajno je brža na svim preostalim dionicama sprinta po 5 metara za 2,6% do 4,0% sa veličinom učinka od umjerenog do velikog.

Tablica 19. Razlika u varijablama horizontalnog mehaničkog profila među grupama nakon potencijacijskog podražaja elastičnim užetom

PP n=34	F grupa (n=17)	V grupa (n=17)	t	p	%Δ	Cohenov D
F ₀ (N/kg)	8,89 ± 0,70	7,82 ± 1,15	3,253	0,003 *	12,00	0,99
V ₀ (m/s)	8,81 ± 0,43	9,59 ± 0,33	-5,933	<0,001 **	8,85	1,81
P _{max} (W/kg)	19,56 ± 1,77	18,70 ± 2,46	1,170	0,251	4,39	0,36
RF _{max} (%)	55,35 ± 1,99	52,50 ± 3,91	2,679	0,012 *	5,15	0,82
DRF (%.s/m)	-9,21 ± 0,89	-7,45 ± 1,13	-5,052	<0,001 **	19,13	1,54
V _{max} (m/s)	8,53 ± 0,40	9,21 ± 0,27	-5,826	<0,001 **	7,97	1,78

Legenda: PP=potencijacijski protokol, F grupa=grupa dominantna u teorijskoj maksimalnoj sili, V grupa=grupa dominantna u teorijskoj maksimalnoj brzini, t=vrijednost nezavisnog t-testa, p=razina statističke značajnosti, %Δ=postotak promjene između kontrolnog i potencijacijskog protokola, Cohenov D=veličina učinka, F₀=teorijska maksimalna sila, V₀=teorijska maksimalna brzina, P_{max}=maksimalna mehanička izlazna snaga u horizontalnom smjeru, RF_{max}=maksimalna učinkovitost primjene sile nakon 0,3 sekunde, DRF=stopa smanjenja učinkovitosti primjene sile sa povećanjem brzine tijekom ubrzanja, V_{max}=maksimalna brzina u sprintu na 30 metara, *=statistički značajne razlike uz p=0,05, **=statistički značajne razlike nakon Bonferonijeve korekcije uz p=0,0016

Nakon potencijacijskog protokola kod grupe dominantne u sili (tablica 19) utvrđene su značajno više vrijednosti parametara horizontalnog mehaničkog profila koje se odnose na

primjenu sile na niskim brzinama, kod F_0 za 12% i $RF_{\max}$ za 5,15% sa velikom veličinom učinka. Grupa dominantna u brzini nakon potencijacijskog protokola ima značajno više vrijednosti svih parametara horizontalnog mehaničkog profila koje se odnose na primjenu sile na visokim brzinama te one iznose za V_0 8,85%, D_{RF} 19,13% i za $V_{\max}$ 7,97% sa velikom veličinom učinka i uz Bonferonijevu korekciju na razini $p=0,0016$ za sve varijable.

Tablica 20. Razlika izvedbenih varijabli među grupama nakon kontrolnog protokola

KON n=34	F grupa (n=17)	V grupa (n=17)	t	Z	p	%Δ	Cohenov D
SP0-5m (s)	1,21 ± 0,04	1,34 ± 0,06		-4,89	<0,001 **	10,50	2,25
SP5-10m (s)	0,75 ± 0,03	0,71 ± 0,02	4,11		<0,001 **	5,11	1,26
SP10-15m (s)	0,65 ± 0,02	0,61 ± 0,01		3,86	<0,001 **	5,47	1,59
SP15-20m (s)	0,63 ± 0,03	0,59 ± 0,01	5,57		<0,001 **	6,22	1,70
SP20-25m (s)	0,60 ± 0,02	0,56 ± 0,02	5,43		<0,001 **	6,31	1,66
SP25-30m (s)	0,58 ± 0,02	0,54 ± 0,02	4,77		<0,001 **	5,73	1,46
SLA (s)	7,15 ± 0,25	7,26 ± 0,23	-1,34		0,189	1,54	0,41
UD (m/s)	29,91 ± 1,62	31,07 ± 1,88		-2,03	0,042 *	3,87	0,59

Legenda: KON=kontrolni protokol, F grupa=grupa dominantna u teorijskoj maksimalnoj sili, V grupa=grupa dominantna u teorijskoj maksimalnoj brzini, t=vrijednost nezavisnog t-testa, Z=vrijednost Mann-Whitney testa, p=razina statističke značajnosti, %Δ=postotak promjene između kontrolnog i potencijacijskog protokola, Cohenov D=veličina učinka, SP=vremena svakih 5 m kod sprinta na 30 metara (od 0-5 do 25-30 metara), SLA=vrijeme u trčanju slaloma, UD=brzina lopte kod udarca po lopti, *=statistički značajne razlike uz $p=0,05$, **=statistički značajne razlike nakon Bonferonijeve korekcije uz $p=0,0016$

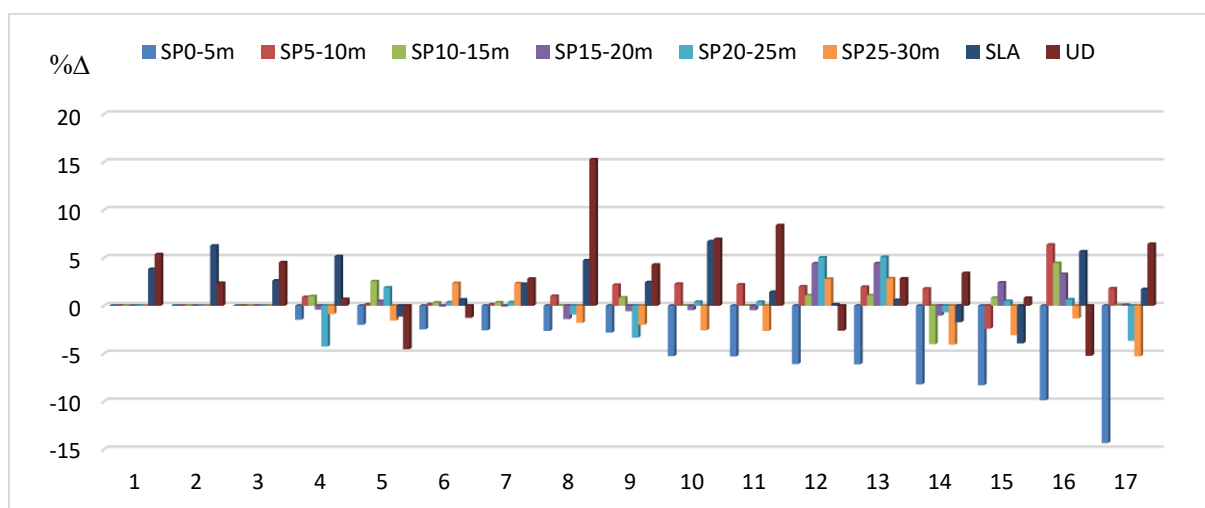
Nakon kontrolnog protokola (tablica 20) grupa dominantna u teorijskoj maksimalnoj sili značajno je brža u sprintu na prvih 5 metara za 10,5% i velikom veličinom učinka, dok je grupa dominantna u teorijskoj maksimalnoj brzini brža u svim preostalim dionicama po 5 metara za 5,11% do 6,31% sve uz veliku veličinu učinka i uz Bonferonijevu korekciju na razini $p=0,0016$. Također, grupa dominantna u teorijskoj maksimalnoj brzini postiže veću brzinu lopte kod udarca za 3,87% sa umjerenom veličinom učinka.

U parametrima horizontalnog mehaničkog profila (tablica 21) grupa dominantna u teorijskoj maksimalnoj sili nakon kontrolnog protokola ima značajno više vrijednosti mehaničkih parametara (F_0 , $RF_{\max}$ i $RF_{\max}$) za 20,16%, 10,03% i 8,71% sa velikom veličinom učinka i uz Bonferonijevu korekciju na razini $p<0,0016$. Grupa dominantna u brzini nakon kontrolnog protokola ima značajno više vrijednosti mehaničkih parametara koji se odnose na primjenu sile na visokim brzinama (V_0 , D_{RF} i $V_{\max}$) za 13,78%, -30,48% i 12,37%, također sa velikom veličinom učinka i uz Bonferonijevu korekciju na razini $p=0,0016$.

Tablica 21. Razlika u varijablama horizontalnog mehaničkog profila među grupama nakon kontrolnog protokola

KON n=34	F grupa (n=17)	V grupa (n=17)	t	Z	P	%Δ	Cohenov D
F₀ (N/kg)	9,60 ± 0,65	7,67 ± 0,69		4,960	<0,001 **	20,16	2,58
V₀ (m/s)	8,65 ± 0,43	9,85 ± 0,33		-4,960	<0,001 **	13,78	2,75
P_{max} (W/kg)	20,89 ± 1,60	18,80 ± 1,43	4,030		<0,001 **	10,03	1,23
RF_{max} (%)	57,41 ± 1,66	52,41 ± 2,64		4,684	<0,001 **	8,71	2,02
DRF (%.s/m)	-10,15 ± 1,01	-7,06 ± 0,75		-4,960	<0,001 **	30,48	3,12
V_{max} (m/s)	8,40 ± 0,40	9,44 ± 0,29		-4,960	<0,001 **	12,37	2,68

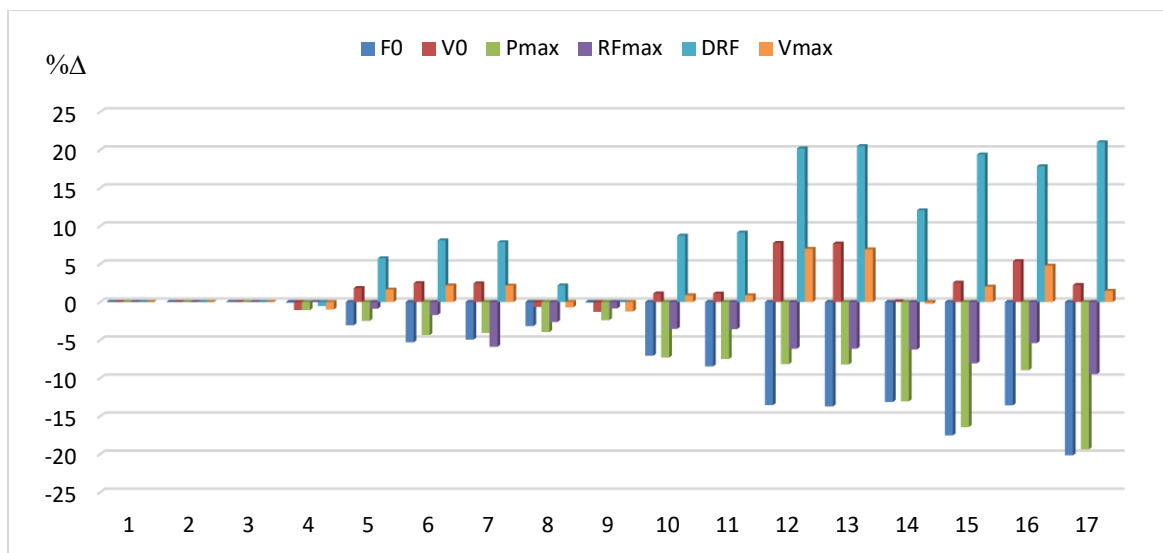
Legenda: KON=kontrolni protokol, F grupa=grupa dominantna u teorijskoj maksimalnoj sili, V grupa=grupa dominantna u teorijskoj maksimalnoj brzini, t=vrijednost nezavisnog t-testa, Z=vrijednost Mann-Whitney testa, p=razina statističke značajnosti, %Δ=postotak promjene između kontrolnog i potencijacijskog protokola, Cohenov D=veličina učinka, F₀=teorijska maksimalna sila, V₀=teorijska maksimalna brzina, P_{max}=maksimalna mehanička izlazna snaga u horizontalnom smjeru, RF_{max}=maksimalna učinkovitost primjene sile nakon 0,3 sekunde, DRF=stopa smanjenja učinkovitosti primjene sile sa povećanjem brzine tijekom ubrzanja, V_{max}=maksimalna brzina u sprintu na 30 metara, **=statistički značajne razlike nakon Bonferonijeve korekcije uz p=0,0016



Slika 13. Individualni učinci (%Δ) potencijacijskog podražaja sa elastičnim užetom na izvedbenim varijablama kod grupe dominantne u teorijskoj maksimalnoj sili (F grupa)

Legenda: SP=vremena svakih 5 m kod sprinta na 30 metara (od 0-5 do 25-30 metara), SLA=trčanje u slalomu, UD=udarca po lopti

Iz prikaza individualnih učinaka potencijacijskog podražaja vidi se da je kod većine nogometaša dominantnih u teorijskoj maksimalnoj sili došlo do pogoršanja vremena sprinta na prvoj dionici od 5 metara sa istovremenim poboljšanjem vremena sprinta na nekim preostalim dionicama od 5 metara (slika 13). Kod gotovo svih ispitanika dominantnih u teorijskoj maksimalnoj sili nakon potencijacijskog podražaja došlo je do povećanje brzine lopte kod udarca i poboljšanje izvedbe trčanja u slalomu. Nogometaši kod koji je došlo do pada mehaničkih parametara primjene sile na niskim brzinama istovremeno je došlo do povećanje vrijednosti parametara primjene sile na visokim brzinama.

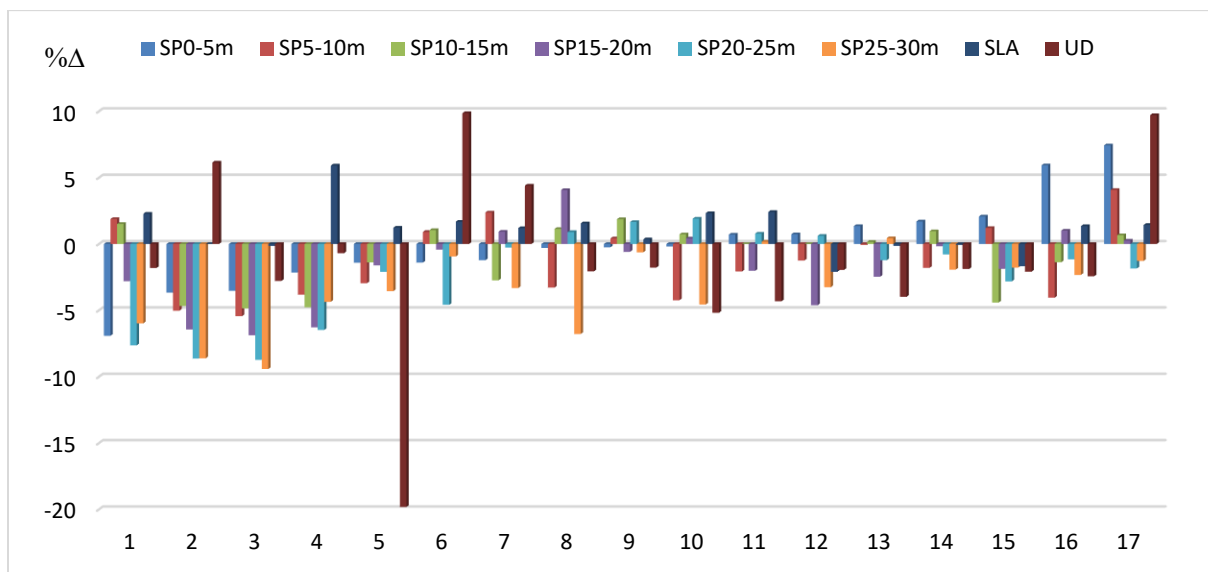


Slika 14. Individualni učinci (% Δ) potencijacijskog podražaja sa elastičnim užetom na varijablama horizontalnog mehaničkog profila kod grupe dominantne u teorijskoj maksimalnoj sili (F grupa)

Legenda: F_0 =teorijska maksimalna sila, V_0 =teorijska maksimalna brzina, P_{max} =maksimalna mehanička izlazna snaga u horizontalnom smjeru, RF_{max} =maksimalna učinkovitost primjene sile nakon 0,3 sekunde, DRF =stopa smanjenja učinkovitosti primjene sile sa povećanjem brzine tijekom ubrzanja, V_{max} =maksimalna brzina u sprintu na 30 metara

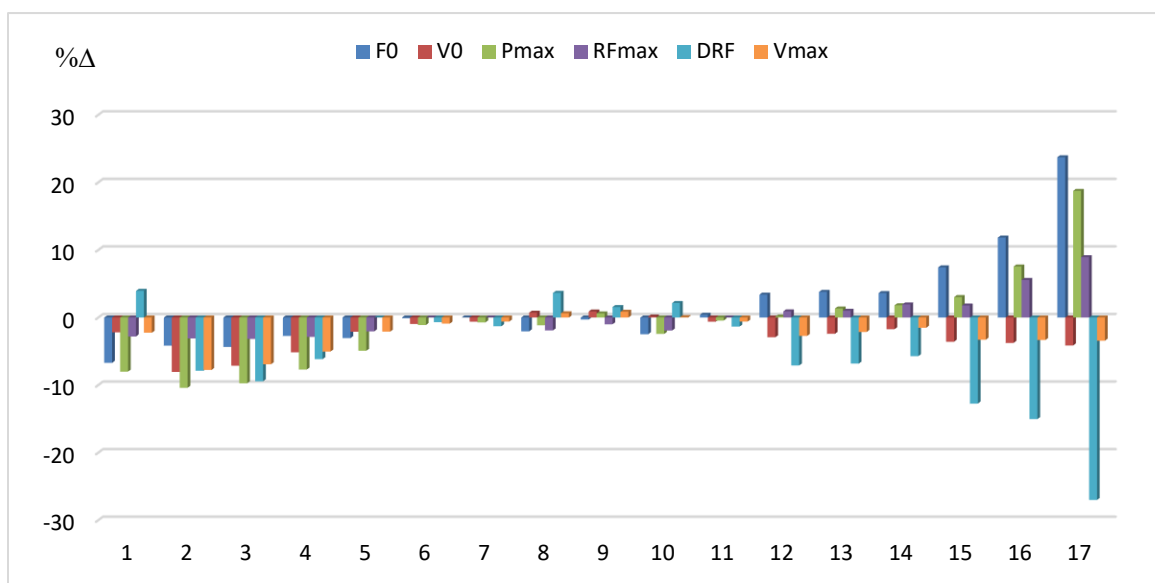
Prikaz individualnih učinaka potencijacijskog podražaja kod grupe nogometaša dominantnih u teorijskoj maksimalnoj brzini prikazuje da se pogoršanje sprinta linearno povećava sa dužinom sprinta kod ispitanika kod kojih je utvrđeno najveće pogoršanje sprinta na prvih 5 metara (slika 15). Kod nogometaša koji su poboljšali vrijeme sprinta na prvih 5 metara u pravilu dolazi do pogoršanja vremena sprinta na preostalim dionicama od 5 metara. Kod nogometaša kod kojih je došlo do povećanja vrijednosti parametara koji se odnose na primjenu sile na niskim brzinama istovremeno dolazi pad parametara koji se odnose na primjenu sile na visokim brzinama (slika 16).

Utvrđene su i ekstremne promjene izvedbi u testovima. Nakon potencijacijskog protokola kod jednog ispitanika dominantnog u teorijskoj maksimalnoj sili prisutno je ekstremno povećanje brzine lopte kod udarca za oko 15%, slično je zabilježeno i kod dva ispitanika u grupi dominantnoj u teorijskoj maksimalnoj brzini sa povećanje brzine lopte za oko 10% (slika 13 i 15). Kod jednog ispitanika dominantnog u teorijskoj maksimalnoj brzini prisutno je ekstremno smanjenje brzine lopte za oko 20%. Kod dva ispitanik u grupi dominantnoj u teorijskoj maksimalnoj sili zabilježeno je ekstremno pogoršanje vremena sprinta na 5 metara za oko 15% i 10%.



Slika 15. Individualni učinci (%Δ) potencijacijskog podražaja sa elastičnim užetom na izvedbenim varijablama kod grupe dominantne u teorijskoj maksimalnoj brzini (V grupa)

Legenda: SP=vremena svakih 5 m kod sprinta na 30 metara (od 0-5 do 25-30 metara), SLA=trčanje u slalomu, UD=udarca po lopti



Slika 16. Individualni učinci (%Δ) potencijacijskog podražaja sa elastičnim užetom na varijablama horizontalnog mehaničkog profila kod grupe dominantne u teorijskoj maksimalnoj brzini (V grupa)

Legenda: F_0 =teorijska maksimalna sila, V_0 =teorijska maksimalna brzina, P_{max} =maksimalna mehanička izlazna snaga u horizontalnom smjeru, RF_{max} =maksimalna učinkovitost primjene sile nakon 0,3 sekunde, DRF =stopa smanjenja učinkovitosti primjene sile sa povećanjem brzine tijekom ubrzanja, V_{max} =maksimalna brzina u sprintu na 30 metara

5. RASPRAVA

Svrha ove disertacije je bila utvrditi ukupni akutni učinak sprinta s elastičnim užetom na izvedbe sprinta, trčanja u slalomu i udarca po lopti kod nogometaša, kao i akutni učinak prema dominantnosti u horizontalnom mehaničkom profilu. Osim toga, ispitane su razlike u izvedbi sprinta, trčanja u slalomu i udarca po lopti između kontrolnog i potencijacijskog protokola, usredotočujući se na ispitanike koji su dominantni u teorijskoj maksimalnoj horizontalnoj sili (F grupa) i teorijskoj maksimalnoj brzini (V grupa).

Na ukupnom uzorku nogometaša utvrđeno je značajno akutno pogoršanje vremena sprinta na početnoj (0-5 m) i završnim dionicama sprinta na 30 metara (20-25 i 25-30 m) s trivijalnom i malom veličinom učinka te poboljšanje u vremenu trčanja slaloma sa malom veličinom učinka.

Kod F grupe utvrđeno je značajno akutno pogoršanje vremena na početnim dionicama sprinta na 30 metara, 0-5 m sa velikom veličinom učinka i 5-10 m sa malom veličinom učinka. Značajno poboljšanje utvrđeno je u vremenu trčanja slaloma sa srednjom veličinom učinka i u brzini lopte kod udarca sa malom veličinom učinka.

Kod V grupe utvrđeno je značajno akutno pogoršanje vremena sprinta na završnim dionicama sprinta na 30 metara, 15-20, 20-25 m i 25-30 m sa srednjom i velikom veličinom učinka te u brzini lopte kod udarca sa trivijalnom veličinom učinka. Značajno poboljšanje utvrđeno je u vremenu trčanja u slalomu sa malom veličinom učinka.

Nogometaši F grupe u oba protokola imaju značajno bolja vremena na prvih 5 metara sprinta sa velikom veličinom učinka, a nogometaši V grupe u oba protokola imaju značajno bolja vremena u svim ostalim dionicama sprinta (od 5-10 do 25-30 m) sa velikom veličinom učinka u kontrolnom protokolu i srednjom i velikom veličinom učinka u potencijacijskom protokolu. F grupa ima značajno bolje vrijeme trčanja u slalomu u potencijacijskom protokolu, a V grupa veću brzinu lopte kod udarca u kontrolnom protokolu sve sa srednjom veličinom učinka.

5.1. Akutni utjecaj na izvedbu sprinta

U prosjeku kod svih nogometaša koji su sudjelovali u istraživanju ($n=118$) došlo je do značajnog akutnog pogoršanja izvedbe sprinta nakon potencijacijskog podražaja sprint sa elastičnim užetom. Najveća pogoršanja izvedbe utvrđena su na samom početku (0-5 m) i kraju sprinta (25-30 m) za 1,33% i 1,69% sa malom veličinom učinka, te nešto manje pogoršanje između 20 i 25 m za 0,67% sa trivijalnom veličinom učinka.

Kako se razina subjektivnog osjećaja umora/oporavka (Hooperov indeks) koju su nogometaši percipirali prije oba protokola nije značajno razlikovala, može se pretpostaviti da razina umora prije protokola nije utjecala na izvedbu sprinta. Stoga, nalazi ukazuju da je opterećenje koje je proizašlo iz tri maksimalna vučenja elastičnog užeta izazvalo veliki zamor u odnosu na razinu treniranosti i iskustvo u treningu sa opterećenjem te posljedično dovelo do pogoršanja izvedbe sprinta kod nogometaša u ovoj studiji. Pogoršanje izvedbe između 0 i 5 m sugerira da nogometaši nisu uspjeli iskoristiti potencijacijski podražaj za eksplozivni start. To može biti rezultat neuromuskularnog zamora koji utječe na inicijalnu fazu sprinta. Pogoršanje u segmentu od 20 do 25 m, iako trivijalno, može ukazivati na kontinuirani zamor mišića dok sprint napreduje. Najveće pogoršanje izvedbe u završnom dijelu sprinta od 25 do 30 m ukazuje na kumulativni učinak zamora koji smanjuje sposobnost postizanja maksimalne brzine. Intenzitet potencijacijskog podražaja mogao je izazvati privremenu neuromuskularnu inhibiciju, smanjujući sposobnost mišića da optimalno funkcioniraju. Prijašnja istraživanja su utvrdila da jači pojedinci mogu razviti otpornost na umor kod većih, odnosno gotovo maksimalnih opterećenja (Chiu i Barnes, 2003; Hamada i sur., 2000), dok pojedinci s prethodnim iskustvom u treningu sa utezima pokazuju znatno veće akutne učinke od onih bez prethodnog iskustva (Seitz i Haff, 2016). Iako u ovoj studiji nije mjerena jakost ispitanika i nije utvrđeno iskustvo ispitanika u treningu sa utezima, na temelju ranga u kojemu se ispitanici natječaju (Treća hrvatska nogometna liga - četvrti rang) može se pretpostaviti da su ispitanici u prosjeku niže razine jakosti i iskustva u treningu sa utezima, što sugerira da možda nemaju optimalnu razinu kondicije i iskustva u radu s utezima, čime su podložniji zamoru i manje efikasni u iskorištavanju visoko intenzivnih potencijacijskih podražaja. Veći PAP učinak utvrđen je kod jačih i kod slabijih ispitanika nakon tradicionalnih potencijacijskih podražaja višeg intenziteta nego nakon potencijacijskog podražaja nižeg intenziteta (Seitz i Haff, 2016). U ovoj studiji za potencijacijski podražaj korišten je sprint sa otporom koji više zamara specifične mišiće uključene u sprint od tradicionalnih vježbi sa utezima (Mangine i

sur., 2018), te je zbog toga mogao proizvesti veći umor koji je rezultirao značajnim pogoršanjem izvedbe sprinta. Ovo je prvo istraživanje koje je upotrijebilo elastični otpor za horizontalno opterećenje sprinta, dok je u prijašnjim istraživanjima za horizontalno opterećenje sprinta najčešće korišteno vučenje saonica. U prijašnjim istraživanjima zbog različitih načina određivanja horizontalnog opterećenja sprinta gotovo je nemoguća precizna usporedba opterećenja između istraživanja. U nekim istraživanjima opterećenje je kod vučenja saonica definirano kao postotak od mase tijela (Smith i sur., 2014; Whelan i sur., 2014; Winwood i sur., 2016; Wong i sur., 2017), u drugima kao postotak smanjenja brzine na određenoj dionici sprinta (Monaghan i Cochrane, 2020; Williams i sur., 2021), a u trećima kao konstantni otpor na određenoj dionici sprinta (Mangine i sur., 2018; Matusiński i sur., 2022; Tillaar i Heimborg, 2018). Kod vučenja saonica ukupno horizontalno opterećenje ovisi o koeficijentu trenja između saonica i podloge, a koeficijent se razlikuje s obzirom na tip saonica i vrstu podloge te opterećenje ovisi i o inerciji. Horizontalno opterećenje je na startu najveće, a sa povećanjem brzine kretanja se postepeno smanjuje. Horizontalno opterećenje definirano kao postotak pada izvedbe sprinta također ovisi o više faktora, dok je apsolutno opterećenje (npr. % od mase tijela) već objašnjeno ranije i jasno je da će veće opterećenje dovesti do većeg smanjenja izvedbe sprinta. Ispitanici koji su sposobni primijeniti veliku silu na niskim brzinama vjerojatno će imati manji pada izvedbe sprinta na startu, a ispitanici koji su sposobni primijeniti veću silu na velikim brzinama vjerojatno će imati manji pada izvedbe na zadnjim dijelovima sprinta. Zato kod tako definiranog opterećenja treba uzeti u obzir karakteristike ispitanika i udaljenost za koju se definira pad izvedbe sprinta. To potvrđuju i prijašnja istraživanja u kojima je slično smanjenje izvedbe sprinta dobiveno sa različitim apsolutnim opterećenjem kod vučenja saonica. Smanjenje brzine sprinta od 34% do 37% dobiveno je sa opterećenjem od 75% mase tijela (Winwood i sur., 2016), a smanjenje sprinta za 30% sa opterećenjem od oko 43% mase tijela (Kawamori i sur., 2014). Ispitanici su u prvom istraživanju bili ragbijaši i pad izvedbe sprinta je utvrđen na dionici od 15 metara, a u drugom istraživanju ispitanici su iz više timskih sportova te je pad izvedbe sprinta utvrđen na dionici od 10 metara. U prijašnjim istraživanjima utvrđena su poboljšanja izvedbe sprinta sa velikim rasponom horizontalnih opterećenja od 0% do 75% mase tijela (Smith i sur., 2014; Winwood i sur., 2016) te sa opterećenjima koja smanjuju brzinu sprinta za 40-50% (Williams i sur., 2021) kao i sa konstantnim opterećenjem od 10% mase tijela (Matusiński i sur., 2022). Čini se kako je potrebno standardizirati način određivanja horizontalnog otpora sprinta u potencijacijskom podražaju što bi omogućilo kvalitetniju usporedbu intenziteta opterećenja između različitih istraživanja.

Kako su u meta analizama utvrđeni veći PAP učinci sa više serija potencijacijskog podražaja (Dobbs i sur., 2019; Seitz i Haff, 2016) u ovoj studiji su korištena tri ponavljanja. U prijašnjim istraživanjima najčešće je korišteno po jedno ponavljanje potencijacijskog podražaja u obliku sprinta sa horizontalnim opterećenjem, ali dobiveni su i pozitivni akutni učinci sa tri ponavljanja (Matusiński i sur., 2022). Čini se da su ispitanici u posljednjem istraživanju bili više razine treniranosti i sa dužim iskustvom u treningu sa utezima (internacionalni i nacionalni sprinteri). Poboljšanja izvedbe dobiveni su kod srednjoškolskih nogometaša i nogometašica sa tri vučenje saonica opterećenjem 66-70% mase tijela, ali ispitanici su bili relativno jaki, dizali su $\geq 1,76 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ u stražnjem čučnju (Williams i sur., 2021). Sa dva ponavljanja potencijacijskog podražaja vučenja saonica opterećenjem 57-73% mase tijela utvrđeno je poboljšanje sprinta na 30 m kod mladih sprintera i sprinterica sa time da su ispitanici imali iskustva u treningu sa utezima i sa vučenjem saonica. Negativni akutni učinci sa tri ponavljanja i opterećenjem kod vučenja saonica od 25-30% mase tijela su utvrđeni na ispitanicima niže razine treniranosti i vjerojatno kraćim iskustvom u treningu sa opterećenjem (rekreativci iz tmskog ili individualnog sporta) (Whelan i sur., 2014). Značajne razlike sa tri ponavljanja nisu utvrđene na dobro treniranim muškarcima sa opterećenjem koje smanjuje brzinu sprinta za 35% i 55% (Monaghan i Cochrane, 2020).

Budući da su meta analize utvrdile najveće PAP učinke sa odmorima u trajanju od 3 do 7 min (Dobbs i sur., 2019) i u trajanju od 5 do 7 min (Seitz i Haff, 2015) te kako je kod snažnijih ispitanika utvrđena veća veličina učinaka sa trajanjem odmora od 5 do 7 min ($d=0,62$) u odnosu na odmor ≥ 8 min ($d=0,23$) i odmor od 0,3 do 4 min ($d=0,15$) odlučeno je da će odmor u ovoj studiji nakon potencijacijskog podražaja biti 6 min. Analizirajući rezultate sprinta nakon potencijacijskog podražaja čini se kako odmor od 6 minuta nije bio dovoljan za oporavak ispitanika nakon potencijacijskog podražaja s obzirom na intenzitet i volumen potencijacijskog podražaja te razinu treniranosti i iskustvo u treningu sa utezima kod ukupnog uzorka ispitanika. Prijašnja istraživanja pronalaze pozitivne akutne učinke sa potencijacijskim podražajem sprintom sa horizontalnim otporom nakon odmora u trajanju od 5 do 6 min (Tillaar i Heimborg, 2018) te u trajanju od 8 min (Matusiński i sur., 2022) kao i u trajanju od 4, 8 i 12 min (Seitz i sur., 2017) i u trajanju od 12 min (Winwood i sur., 2016) dok u istim istraživanjima akutni učinci u sprintu nisu utvrđeni sa promjenom intenziteta i volumenom opterećenja potencijacijskog podražaja. Wong i suradnici (2017) utvrdili su da ispitanici postižu najbolja akutna poboljšanja sprinta s obzirom na individualno prilagođenu dužinu odmora koji se je kretala od 2 min pa sve do 12 min. Čini se da za određivanja optimalne

dužine odmora treba uzeti u obzir intenzitet i volumen opterećenja, razinu treniranosti i iskustvo u treningu sa utezima kao i individualne karakteristike ispitanika.

Značajno pogoršanje izvedbe na prvih 5 metara sprinta (0-5 m) za 4,5% i značajno poboljšanje izvedbe u drugih 5 metara (5-10 m) za 1,26% kod grupe dominantne u F_0 moglo bi se objasniti akutnim zamorom mišića i promjenom sinergijskog djelovanja mišića na proizvodnju horizontalne sile. Horizontalna sila je snažna odrednica faze ubrzanja sprinta (Morin, Edouard i sur., 2011; Morin i sur., 2012; Rabita i sur., 2015). U odmornom stanju mišići stražnje strane natkoljenice imaju ključnu ulogu u proizvodnji horizontalne sile u početnoj fazi sprinta, a mišić (lat. *musculus gluteus maximus*) u početnim koracima (Morin i sur., 2015). Nakon protokola ponovljenih sprintova utvrđena je značajna povezanost pada horizontalne sile sa padom aktivnosti mišića (lat. *musculus gluteus maximus*) (Edouard i sur., 2018). Slijedom navedenoga moguće je pretpostaviti da je pogoršanje izvedbe sprinta na prvih 5 metra došlo uslijed slabije aktivnosti mišića (lat. *musculus gluteus maximus*). U stanju umora mijenja se sinergijski odnos djelovanja mišića te dominantnu ulogu u proizvodnji sile u horizontalnom smjeru preuzimaju ekstenzori kuka, dok obrtna sila mišića stražnje strane natkoljenice više nije povezana sa proizvodnjom horizontalne sile (Edouard i sur., 2018). Iako je u stanju umora, moguće je da mišić (lat. *musculus gluteus maximus*) između 5-10 m sa preuzimanjem dominantne uloge u proizvodnji horizontalne sile postaje učinkovitiji te kompenzira smanjenu funkciju mišića stražnje strane natkoljenice utječući na poboljšanje izvedbe.

Kod grupe dominantne u V_0 značajno pogoršanje izvedbe drugog dijela sprinta (15-20 m za 1,7%, 20-25 m za 2,31%, 25-30 m za 3,37%) može se objasniti zamorom brzih mišićnih vlakana nakon intenzivnog opterećenja. Ovi nogometaši imaju veću sposobnost generiranja maksimalne brzine, ali su također skloniji bržem zamoru, što smanjuje sposobnost održavanja maksimalne brzine i efikasne primjene sile u kasnijim fazama sprinta. Akutni zamor može smanjiti neuromuskularnu koordinaciju i sposobnost održavanja visokog intenziteta, što dovodi do pada performansi u kasnijim segmentima sprinta. Rezultati sugeriraju da su tri maksimalna vučenja elastičnog užeta i odmor od 6 min nakon potencijacijskog podražaja neadekvatni za potencijaciju sprinta s obzirom na razinu treniranosti kod obje grupa nogometaša. Iako je u prosjeku nastupilo značajno pogoršanje izvedbe, kod nekih nogometaša u obje grupe su zabilježena poboljšanja nekih dijelova sprinta. Prijašnje istraživanje akutnih učinaka sprinta sa horizontalnim opterećenjem u potencijacijskom podražaju utvrdila su kod

ispitanika istih obilježja da pojedinci najbolju PAP izvedbu postižu u velikom rasponu dužine odmora. Tako su najveći PAP učinci zabilježeni kod 9 rekreativaca nakon 2 min, kod 5 nakon 4 min, kod niti jednoga nakon 6 min, kod njih dvoje nakon 8 min te kod jednoga nakon 12 min, dok kod troje ispitanika nisu utvrđeni PAP učinci (Wong i sur., 2017).

Grupa nogometaša dominantna u teorijskoj maksimalnoj sili značajno je brža u sprintu na prvih 5 m u oba protokola, dok je grupa dominantna u teorijskoj maksimalnoj brzini značajno brža u svim ostalim dionicama po 5 metara, također u oba protokola. Grupe nogometaša značajno se ne razlikovali u prosječnoj visini i masi tijela, razini umora/oporavka prije i između oba protokola te u prosječnom intenzitetu sa kojim su vukli elastično užu u potencijacijskom podražaju. Kod grupe dominantne u F_0 bolje vrijeme na prvih 5 m za 10,5% u kontrolnom protokolu može se objasniti njihovom superiornom sposobnošću generiranja maksimalne sile koja je ključna za eksplozivni start, a smanjenje razlike na 5,85% u potencijacijskom protokolu može ukazivati na učinak zamora potencijacijskog podražaja. Kod grupe dominantne u V_0 bolja vremena u svim ostalim segmentima sprinta od 5,11% do 6,31% mogu se objasniti njihovom sposobnošću održavanja visoke brzine zbog boljih neuromuskularnih karakteristika i sposobnosti brzih mišićnih vlakana. A smanjenje razlike na 2,6% do 4,11% u potencijacijskom protokolu može također ukazivati na zamor koji je proizašao potencijacijskim podražajem.

Razlike u fiziološkim karakteristikama između dvije grupe mogu objasniti njihove različite odgovore na potencijacijski podražaj. Nogometaši dominantni u sili bolje koriste potencijacijski podražaj za generiranje maksimalne sile, dok nogometaši dominantni u brzini pokazuju veći pad performansi zbog zamora.

5.2. Akutni utjecaj na izvedbu trčanja u slalomu

U prosjeku, svi nogometaši koji su sudjelovali u istraživanju pokazali su značajno akutno poboljšanje izvedbe trčanja u slalomu za 1,51% nakon potencijacijskog podražaja sprinta s elastičnim užetom. Potencijacijski podražaj sprinta s elastičnim užetom vjerojatno je poboljšao neuromuskularnu učinkovitost i reaktivnu sposobnost mišića. To uključuje povećanu regrutaciju mišićnih vlakana, bolju sinkronizaciju motoričkih jedinica i povećanu ekscitabilnost motoričkih neurona. Povećana ekscitabilnost može rezultirati bržim i snažnijim mišićnim kontrakcijama, što je ključno za brze promjene pravca u slalom trčanju. Potencijacijski podražaj može poboljšati efikasnost primjene sile na podlogu, smanjujući vrijeme kontakta sa tlom i omogućujući brže promjene pravca. Poboljšana koordinacija i stabilnost tijekom promjena pravca može biti rezultat boljeg neuromuskularnog odgovora, što vodi do poboljšane izvedbe u slalomu. Poboljšanje od 1,51% pokazuje da čak i kratkotrajna primjena potencijacijskog podražaja može dovesti do značajnih poboljšanja u izvedbi. Ovo ukazuje na potencijalnu korist implementacije takvih podražaja u rutinske treninge za neposredno poboljšanje performansi. Iako ovo istraživanje ispituje akutne učinke, postoji mogućnost da redovita primjena potencijacijskih podražaja može dovesti do dugoročnih poboljšanja u neuromuskularnoj funkciji i izvedbi. Odmor od 6 minuta nakon potencijacijskog podražaja omogućuje dovoljno vremena za smanjenje akutnog zamora, dok istovremeno održava efekt potencijacije. Ovo je važno za postizanje poboljšanja izvedbe bez negativnih učinaka zamora.

Kod grupe nogometaša dominantnih u teorijskoj maksimalnoj sili (F_0) zabilježeno je značajno poboljšanje izvedbe trčanja u slalomu za 2,25% nakon potencijacijskog podražaja. Intenzivno opterećenje vučenja elastičnog užeta može stimulirati neuromuskularni sustav, poboljšavajući reaktivnu sposobnost mišića i bržu prilagodbu promjenama pravca. Povećana ekscitabilnost motoričkih jedinica može omogućiti brži odgovor mišića na zahtjeve promjene pravca u slalomu. Nogometaši dominantni u F_0 povećali su efikasnost primjene sile, što se očituje u boljoj izvedbi slalom trčanja. Povećana ekscitabilnost motoričkih jedinica može omogućiti brži odgovor mišića na zahtjeve promjene pravca u slalomu. Kod grupe nogometaša dominantnih u teorijskoj maksimalnoj brzini (V_0) zabilježeno je značajno poboljšanje izvedbe trčanja u slalomu za 1,04% nakon potencijacijskog podražaja. Intenzivno opterećenje moglo je uzrokovati brži zamor brzih mišićnih vlakana kod ovih nogometaša, negativno utječući na njihovu sposobnost brze promjene pravca. Privremeni pad

neuromuskularne koordinacije zbog zamora može objasniti zašto ova grupa nije imala isti nivo poboljšanja kao grupa dominantna u F₀. Nogometaši dominantni u brzini mogu imati koristi od specifičnijih treninga koji ciljaju na poboljšanje promjene smjera, posebno nakon intenzivnih potencijacijskih podražaja.

U slalom trčanju nema velikih individualnih reakcija na potencijacijski podražaj u obje grupe nogometaša. Ovo može biti rezultat uniformne neuromuskularne adaptacije, manjeg učinka zamora, dominacije tehničke komponente i manje specifičnog učinka potencijacijskog podražaja. Slalom trčanje zahtijeva visoku razinu koordinacije i agilnosti, što može biti manje podložno promjenama nakon potencijacijskog podražaja u usporedbi sa sprintom ili udarcem. Neuromuskularni sustav možda reagira na način koji omogućuje konzistentnu izvedbu među različitim sportašima. Pri izvođenju slalom trčanja, nogometaši koriste slične mišićne grupe i obrasce kretanja, što može rezultirati homogenijim odgovorom na potencijacijski podražaj. Slalom trčanje uključuje kratke, brze promjene smjera koji možda nisu dovoljno dugački da izazovu značajan zamor. Ovaj manjak intenzivnog zamora može rezultirati manjim individualnim varijacijama u performansama. Opterećenje mišića tijekom slalom trčanja je ravnomjernije raspoređeno zbog stalnih promjena smjera, što može smanjiti učinak zamora i omogućiti sličnije performanse među sportašima. Slalom trčanje se više oslanja na tehničku vještinu nego na čistu snagu ili brzinu. Sportaši koji su već dobro uvježbani u tehnikama slalom trčanja mogu pokazati konzistentnije rezultate.

Opsežnim pregledom literature utvrđeno je da postoji jako malo studija akutnih utjecaja u području agilnosti, odnosno u aktivnostima u kojima se nastoji u velikoj brzini trčanja promijeniti smjer kretanja prema unaprijed zadanim pravcima. Akutna poboljšanja izvedbe nisu utvrđena sa čučnjem od 50% do 90% 1RM-a u testu koji se sastojao od dvije promjene smjera kretanja za 180° (Sole i sur., 2013) kao ni sa maksimalnim izometričnim čučnjem u sličnom testu sa dvije promjene od 180° (Marshall i sur., 2017). U testu 505 sa lateralnim poskocima (bez i sa opterećenjem od 10% mase tijela) također nisu dobivena akutna poboljšanja izvedbe (Orjalo i sur., 2020). Novije studije utvrdile su akutni učinak u T testu agilnosti sa bilateralnim i unilateralnim čučnjem sa opterećenjem (Escobar Hincapié i sur., 2021) te u Illinois testu agilnosti sa čučnjem (85% 1RM-a) i maksimalnim izometričnim čučnjem (Toprak i sur., 2022).

Grupe se u kontrolnom protokolu nisu značajno razlikovale, što ukazuje na sličnu početnu sposobnost izvedbe trčanja u slalomu. Nakon potencijacijskog podražaja, grupa dominantna u

sili (F_0) bila je značajno brža za 2,72% u slalom trčanju u usporedbi s grupom dominantnom u brzini (V_0). Ovo sugerira da sposobnost generiranja maksimalne sile može igrati ključnu ulogu u poboljšanju performansi u zadacima koji zahtijevaju brzu promjenu pravca kretanja.

Ova diskusija pruža pregled i analizu rezultata u slalom trčanju, uzimajući u obzir specifične fiziološke i biomehaničke aspekte koji objašnjavaju različite odgovore na potencijacijski podražaj između dvije grupe nogometaša. Potencijacijski podražaj sprinta s elastičnim užetom može pozitivno utjecati na agilnost i brzinu nogometaša u zadacima koji zahtijevaju brze promjene pravca. Grupa dominantna u teorijskoj maksimalnoj sili (F_0) imala je veće koristi od ovog podražaja u odnosu na grupu dominantnu u teorijskoj maksimalnoj brzini (V_0). Zasada prostor potencijacije agilnosti je slabo istražen, a prema informacijama koje su dostupne autoru ove disertacije ovo je prva studija koja je istraživala akutne učinke sprinta sa horizontalnim opterećenjem na agilnost. Prijedlozi za buduće studije uključuju odabir potencijacijskih podražaja, varijacije opterećenja, duže periode odmora i analizu dugoročnih učinaka potencijacijskih podražaja.

5.3. Akutni utjecaj na izvedbu udarca po lopti

Potencijacijski podražaj sprinta s elastičnim užetom nije imao značajan akutni učinak na prosječnu brzinu lopte kod svih nogometaša. Ovo sugerira da akutni učinci potencijacijskog podražaja možda nisu dovoljni za promjenu brzine lopte kod populacije nogometaša koji sudjeluju u studiji.

Kod grupe dominantne u teorijskoj maksimalnoj sili (F_0) zabilježeno je značajno povećanje brzine lopte za 2,88% nakon potencijacijskog podražaja. Poboljšana regrutacija mišićnih vlakana i sinkronizacija motoričkih jedinica može doprinijeti većoj generaciji sile prilikom udarca lopte, što rezultira povećanjem brzine lopte. Povećana ekscitabilnost motoričkih jedinica može omogućiti snažnije i brže mišićne kontrakcije, što je ključ za povećanje brzine lopte. Nogometaši dominantni u sili mogu bolje iskoristiti potencijacijski podražaj za generiranje maksimalne sile prilikom udarca lopte, što dovodi do povećanja brzine lopte. Kod grupe dominantne u teorijskoj maksimalnoj brzini (V_0) nije došlo do značajne promjene brzine lopte nakon potencijacijskog podražaja. Mogući brži zamor brzih mišićnih vlakana nakon intenzivnog opterećenja može negativno utjecati na sposobnost generiranja maksimalne sile prilikom udarca lopte. Potencijacijski podražaj možda nije dovoljno specifičan za poboljšanje brzine lopte kod nogometaša dominantnih u brzini, koji bi mogli imati koristi od drugačijih ili dodatnih vrsta potencijacijskog podražaja. Razlike u horizontalnim mehaničkim parametrima mogu objasniti njihove različite odgovore na potencijacijski podražaj. Nogometaši dominantni u sili pokazali su poboljšanja zbog boljeg iskorištavanja sile generirane kroz potencijaciju, dok nogometaši dominantni u brzini pokazuju veći pad performansi zbog zamora. Specifični fiziološki i biomehanički aspekti mogu igrati ključnu ulogu u tome kako različite grupe reagiraju na potencijacijske podražaje i kako to utječe na njihove performanse u udarcu lopte.

Individualni odgovori na potencijacijske podražaje mogu značajno varirati. U grupi dominantnoj u sili jedan igrač je pokazao značajno povećanje brzine lopte za 15%. Ovaj igrač je možda pokazao izuzetnu neuromuskularnu adaptaciju na potencijacijski podražaj. Potencijacija može poboljšati regrutaciju mišićnih vlakana i sinkronizaciju motoričkih jedinica, što omogućuje efikasniju primjenu sile prilikom udarca lopte. Povećana ekscitabilnost može rezultirati snažnijim i bržim mišićnim kontrakcijama, omogućujući veću generaciju sile u trenutku kontakta s loptom. Ovaj igrač možda ima specifične fiziološke

karakteristike koje mu omogućuju da bolje iskoristi potencijacijski podražaj za povećanje brzine lopte. U grupi dominantnoj u brzini dva igrača pokazala povećanje brzine lopte za 10%, a jedan igrač smanjenje za 20%. Kod dvojice igrača kod kojih je utvrđeno povećanje brzine lopte je možda prisutna dobra adaptacija na potencijacijski podražaj, što je rezultiralo poboljšanom regrutacijom brzih mišićnih vlakana i efikasnijom primjenom sile. Ovi igrači možda imaju izuzetne tehničke vještine i koordinaciju, što im omogućuje da bolje iskoriste povećanu snagu za postizanje većih brzina lopte. Igrač kod kojeg je utvrđeno smanjenje brzine lopte možda je podložniji zamoru nakon potencijacijskog podražaja, što je rezultiralo smanjenom sposobnošću generiranja sile prilikom udarca lopte. Moguće je da je potencijacijski podražaj izazvao neuromuskularnu inhibiciju kod ovog igrača, smanjujući učinkovitost mišićnih kontrakcija. Ovaj igrač možda ima specifične fiziološke ili biomehaničke karakteristike koje su ga učinile osjetljivijim na negativne učinke zamora. Također je moguće da je tehnika udarca ovog igrača bila narušena zbog zamora ili smanjenja koordinacije, što je rezultiralo manjom brzinom lopte.

Opsežnim pregledom literature utvrđeno kao su studije primarno istraživale utjecaj umora izazvanog različitim aktivnostima (protokoli izdržljivosti, visoko intenzivne vježbe, vježbe izdržljivosti do iscrpljenja, specifični nogometni zahtjevi sa i bez lopte) na pad parametara izvedbe udarca kod nogometaša (Palucci Vieira i sur., 2021). Pronađen je tek manji broj studija koje su istraživale akutno povećavanje brzine lopte kod udarca. Utvrđena je veća brzina lopte kod udaraca nakon zagrijavanja sa dinamičkim vježbama istezanja u odnosu na zagrijavanje koje se sastojalo od statičkih vježbi istezanja (Amiri-Khorasani i sur., 2010; Amiri-Khorasani i Ferdinands, 2014; Amiri-Khorasani i Kellis, 2013). Veća brzina lopte za 5% do 5,9% kod udarca sa 11 metara na gol utvrđena je nakon zagrijavanja koje se sastojalo od trčanja i simulacije udarca sa elastičnom trakom, trčanja i čučnjeva bez vanjskog opterećenja te trčanja i vježbi na vibracijskoj platformi u odnosu na zagrijavanje koje se sastojalo samo od trčanja (Ozturk i Gelen, 2015). Kod profesionalnih nogometaša zabilježena je najveća brzina lopte kod udarca nakon zagrijavanja koje se sastojalo od trčanja i dinamičkih vježbi (skipova, iskoraka) (Gelen, 2010). Također, utvrđeno je da se kod udarca sa povećanjem brzine zaleta povećava i brzina lopte, odnosno sa padom brzine zaleta dolazi do smanjenja brzine lopte (Augustus i sur., 2021).

U kontrolnom protokolu, nogometaši dominantni u brzini postigli su značajno veću brzinu lopte za 3,87% u usporedbi s grupom dominantnom u sili. Ovo sugerira da nogometaši

dominantni u brzini imaju prirodnu prednost u generiranju brzine lopte. Nakon potencijacijskog podražaja, nije bilo značajne razlike u brzini lopte između dvije grupe, što sugerira da potencijacijski podražaj može smanjiti inicijalne razlike u korist nogometaša dominantnih u teorijskoj maksimalnoj sili.

5.4. Akutni utjecaj na mehaničke parametre

Istraživanje je pokazalo značajan pad horizontalnih mehaničkih parametara sprinta kod nogometaša ($n=118$) nakon potencijacijskog podražaja vučenja užeta s opterećenjem od 374 N i odmorom od 6 minuta. Specifično, zabilježeni su padovi u maksimalnoj mehaničkoj izlaznoj snazi ($P_{\max}$) za 2,31%, teorijskoj maksimalnoj sili (F_0) za 2,0% i maksimalnoj učinkovitosti primjene sile ($RF_{\max}$) za 1,11%.

Kao što je već predstavljeno ranije, razina umora/oporavka ispitanika prije oba protokola nije se značajno razlikovala te samim time vjerojatno nije utjecala na dobivene razlike. Odmor od 6 minuta nakon potencijacijskog podražaja je značajan, ali možda nije dovoljan za potpuni oporavak mišića nakon intenzivnog opterećenja od 374 N. Mišići i neuromuskularni sustav mogu još uvijek biti pod utjecajem zamora, što se manifestira smanjenjem performansi. Intenzivno vučenje može utjecati na mišićnu funkciju i smanjiti sposobnost mišića da proizvode maksimalnu silu i snagu. Šest minuta možda nije dovoljno za potpuni oporavak neuromuskularnog sustava.

Cilj vučenja užeta je bio izazvati potencijacijski učinak, odnosno privremeno povećati sposobnost mišića za proizvodnjom veće sile. Međutim, balans između potencijacije i zamora je ključan. U ovom slučaju, čini se da zamor nadmašuje potencijacijski učinak, što rezultira smanjenjem performansi. Kako je ovo tek treće istraživanje koje je u ispitivanje akutnih učinaka uključilo i horizontalni mehanički profil prema Samozino i suradnicima (2016) vrlo je malo mogućnosti usporedbe rezultata. Sa tradicionalnim potencijacijskim podražajem dobivena su značajna poboljšanja F_0 , $P_{\max}$, i $RF_{\max}$ (Fernández-Galván i sur., 2022) dok sprintom sa otporom nisu utvrđene značajne promjene horizontalnih mehaničkih parametara (Zisi i sur., 2022). Mangine i suradnici (2018) sugeriraju da sprint sa otporom više zamara specifične mišiće uključene u sprint od tradicionalnih vježbi sa opterećenjem. Ako je tako, moguće je da je sprint sa vučenjem elastičnog užeta proizveo veći umor, što je dovelo do značajnog pada performansi.

Utvrđene su velike individualne razlike kako sportaši reagiraju na potencijacijski podražaj. Neki sportašima je potreban duži period oporavka kako bi se manifestirao pozitivan učinak potencijacije. Intenzivno vučenje može privremeno narušiti neuromuskularnu koordinaciju i sinkronizaciju mišića potrebnih za sprint. Iako mišići mogu biti sposobni proizvesti silu, neuromuskularna koordinacija može biti narušena, što smanjuje učinkovitost primjene sile

($RF_{\max}$). Vučenje užeta sa 374 N je specifična vrsta opterećenja koja možda ne odgovara optimalno biomehaničkim zahtjevima sprinta.

Nakon sprinta sa horizontalnim opterećenjem, može doći do promjene u obrascu aktivacije mišića (Matusiński i sur., 2021), što može privremeno smanjiti sposobnost generiranja sile i snage u sprintu. Veća opterećenja u sprintu sa opterećenjem dovode do smanjenja aktivnosti mišića lista i stražnje strane natkoljenice te do povećanja aktivnosti četveroglavog bedrenog mišića (Tillaar, 2021; Zabalo i sur., 2022). Pad mehaničkih parametara sprinta nakon potencijacijskog podražaja sa velikim horizontalnim opterećenjem kod nogometaša, unatoč odmoru od 6 minuta, može se objasniti kombinacijom akutnog zamora (Winwood i sur., 2016), nedovoljnog vremena oporavka (Zisi i sur., 2022), specifičnosti opterećenja (Cronin i sur., 2008), smanjene neuromuskularne aktivacije i fizioloških odgovora (Gołaś i sur., 2016; Tillin & Bishop, 2009). Kako bi se postigao optimalan učinak potencijacije, važno je pažljivo balansirati intenzitet i vrstu potencijacijskog podražaja, broj serija i dužinu odmora između podražaja i balističke aktivnosti (Fernández-Galván i sur., 2022).

Istraživanje je pokazalo i značajan pad mehaničkih parametara sprinta (F_0 za 7,43%, $P_{\max}$ za 6,37% i $RF_{\max}$ za 3,59%) kod grupe nogometaša dominantnih u teorijskoj maksimalnoj sili ($n=17$), ali je također došlo do poboljšanja stope smanjenja RF-a (D_{RF}) za 9,3% i povećanja teorijske maksimalne brzine sprinta (V_0) za 1,82% i maksimalne brzine sprinta ($V_{\max}$) za 1,54%. Kod grupe nogometaša dominantnih u teorijskoj maksimalnoj brzini ($n=17$), zabilježen je značajan pad u V_0 za 2,59%, $V_{\max}$ za 2,44% i D_{RF} za 5,5%. U grupi dominantnoj u teorijskoj maksimalnoj sili padovi parametara F_0 , $P_{\max}$ i $RF_{\max}$ mogli bi se pripisati akutnom zamoru mišića nakon intenzivnog vučenja elastičnog užeta. U odmornom stanju mišić (lat. *musculus gluteus maximus*) imaju ključnu ulogu u proizvodnji horizontalne sile u početnim koracima sprinta (Morin i sur., 2015). Nakon protokola ponovljenih sprintova utvrđena je značajna povezanost pada horizontalne sile sa padom aktivnosti mišića (lat. *musculus gluteus maximus*) (Edouard i sur., 2018). Slijedom navedenoga moguće je pretpostaviti da je do pada F_0 , $P_{\max}$ i $RF_{\max}$ parametara došlo uslijed slabije aktivnosti mišića (lat. *musculus gluteus maximus*) u početnim koracima sprinta. U odmornom stanju mišići stražnje strane natkoljenice imaju ključnu ulogu u proizvodnji horizontalne sile (Morin i sur., 2015), a u stanju umora dominantnu ulogu u proizvodnji sile u horizontalnom smjeru preuzimaju ekstenzori kuka, dok obrtna sila mišića stražnje strane natkoljenice više nije povezana sa proizvodnjom horizontalne sile (Edouard i sur., 2018). Moguće je da mišić (lat. *musculus*

gluteus maximus) preuzimanjem dominantne uloge u proizvodnji horizontalne sile pozitivno utječe na poboljšanja D_{RF-a} , V_0 i V_{max} parametara. Poboljšanje D_{RF-a} ukazuje na manji pad efikasnosti primjene sile sa povećanjem brzine sprinta, odnosno označava bolju sposobnost održavanja horizontalne sile pri većim brzinama. Čini se da nogometaši dominantni u F_0 mogu imati koristi od intenzivnog vučenja elastičnog užeta u sprintu koji doprinosi većoj brzini i boljoj efikasnosti primjene sile sa povećanjem brzine nakon inicijalnog zamora.

Nogometaši dominantni u maksimalnoj brzini mogu biti osjetljiviji na zamor brzih mišićnih vlakana nakon intenzivnog opterećenja. To rezultira padom u V_0 i V_{max} jer umor ometa sposobnost mišića da generiraju maksimalnu brzinu. Pad u D_{RF} ukazuje na smanjenu učinkovitost primjene sile sa povećanjem brzine sprinta, što može biti rezultat neuromuskularnog zamora i smanjene koordinacije. Intenzivno opterećenje može privremeno narušiti neuromuskularnu koordinaciju i biomehaniku sprinta, što se očituje u smanjenju performansi. Različite fiziološke karakteristike nogometaša dominantnih u maksimalnoj sili i maksimalnoj brzini objašnjavaju različite odgovore na intenzivno opterećenje. Dominacija u sili može omogućiti bolju adaptaciju na opterećenje i povećanje brzine, dok dominacija u brzini može rezultirati većim padom zbog osjetljivosti brzih mišićnih vlakana na zamor. Grupa dominantna u F_0 može imati koristi od intenzivnog opterećenja u kontekstu poboljšanja efikasnosti primjene sile (D_{RF}) i povećanja brzine, dok grupa dominantna u V_0 može pokazati pad zbog veće osjetljivosti na neuromuskularni zamor.

Kod gotovo svih nogometaša dominantnih u teorijskoj maksimalnoj sili kod kojih je došlo do pogoršanja F_0 , P_{max} i RF_{max} istovremeno je došlo do poboljšanja V_0 , V_{max} i D_{RF} . Potencijacijski podražaj mogao je uzrokovati redistribuciju neuromuskularnih resursa. Mišić (lat. *musculus gluteus maximus*) imaju ključnu ulogu u proizvodnji horizontalne sile u početnim koracima sprinta (Morin i sur., 2015) u odmornom stanju, a nakon protokola ponovljenih sprintova dolazi do pada horizontalne sile koja je značajno povezana sa padom aktivnosti mišića (lat. *musculus gluteus maximus*) (Edouard i sur., 2018). U stanju umora dominantnu ulogu u proizvodnji sile u horizontalnom smjeru preuzimaju ekstenzori kuka, dok obrtna sila mišića stražnje strane natkoljenice više nije povezana sa proizvodnjom horizontalne sile (Edouard i sur., 2018). Slijedom navedenoga moguće je da je do pada F_0 , P_{max} i RF_{max} parametara došlo uslijed slabije aktivnosti mišića (lat. *musculus gluteus maximus*) u početnim koracima sprinta, a poboljšanja D_{RF-a} , V_0 i V_{max} parametara zbog preuzimanjem dominantne uloge u proizvodnji horizontalne sile istoimenog mišića.

Nogometaši dominantni u sili pokazuju poboljšanje u efikasnosti primjene sile pri većim brzinama nakon potencijacijskog podražaja, što se očituje u manjem smanjenju D_{RF-a} . Čini se da u grupi dominantnoj u brzini postoje značajne individualne fiziološke razlike koje su rezultirale različitim individualnim odgovorima na potencijacijski podražaj. Kod nekih nogometaša zabilježeno je poboljšanjem F_0 , P_{max} i R_{Fmax} sa istovremenim pogoršanje V_0 , V_{max} i D_{RF-a} , a kod drugih pogoršanjem svih mehaničkih parametara. Neki nogometaši mogu biti bolji u prilagodbi zamoru i mogu pokazati poboljšanje sile (F_0 , F_{max}) dok im brzina (V_0 , V_{max}) opada. Intenzivni potencijacijski podražaj može izazvati različite razine metaboličkog stresa među nogometašima, što rezultira različitim utjecajima na njihove performanse.

Istraživanje je djelomično ispunilo očekivanja da će ispitanici zbog različitih mehaničkih profila imati homogene, ali i dijametralno suprotne potencijacijske učinke ovisno o dominantnosti u horizontalnom mehaničkom profilu. Ponovno, kao i u mnogobrojnim prijašnjim istraživanjima (Bevan i sur., 2010; Crewther i sur., 2011; Evetovich i sur., 2015; Lim i Kong, 2013; Till i Cooke, 2009; Turner i sur., 2015; Whelan i sur., 2014) dobivene su velike individualne razlike u akutnim učincima. Rezultati podupiru prethodna istraživanja koja su ukazala da je PAP vrlo individualiziran fenomen i da na njega mogu utjecati količina (Häkkinen i Myllylä, 1990) i vrsta predopterećenja (Linnamo i sur., 1997; Seitz, Trajano, i sur., 2014; Tesch i sur., 1989), sastav mišićnih vlakana (Thorstensson i Karlsson, 1976) i specifičnosti atletske pozadine (Häkkinen i Myllylä, 1990). Dobiveni rezultati potvrđuju činjenicu da je PAP fenomen koji ovisi o mnogobrojnim čimbenicima, a neke još treba otkriti, te istraživanjem utvrditi njihov potencijacijski učinak. Potrebna su dodatna istraživanja koja će detaljno analizirati individualne varijacije u odgovorima na potencijacijske podražaje i identificirati ključne faktore koji doprinose pozitivnim ili negativnim učincima.

6. ZAKLJUČAK

Glavni nalazi ovog istraživanja ukazuju da potencijacijski podražaj sa elastičnim užetom u prosjeku akutno poboljšava izvedbe trčanja u slalomu kod svih nogometaša, ali i specifično kod grupa definiranih prema dominantnosti horizontalnog mehaničkog profila. Akutno povećanje brzine lopte kod udarca utvrđeno je samo kod nogometaša dominantnih u teorijskoj maksimalnoj sili. U sprintu je većinom zabilježen značajan pad izvedbe kod svih nogometaša, ali i specifično kod definiranih grupa.

Treneri bi trebali razmotriti uključivanje potencijacijskih podražaja poput sprinta s elastičnim užetom u trening rutine, posebno prije aktivnosti koje zahtijevaju visoku razinu agilnosti i brze promjene pravca. Navedeni potencijacijski podražaji mogu biti korisniji za nogometaše dominantne u sili kada je cilj poboljšanje brzine lopte. Ključna je pažljiva periodizacija potencijacijskih podražaja kako bi se izbjegao prekomjerni zamor i osigurao optimalan oporavak, čime se maksimizira njihov pozitivan učinak. Pristup potencijacijskim podražajima trebalo bi prilagoditi ovisno o fiziološkim karakteristikama sportaša. Potencijacijski podražaji mogu biti korisniji za nogometaše dominantne u sili kada je cilj poboljšanje sprinta na startu od 5 do 10 metra, dok nogometaši dominantni u brzini mogu zahtijevati specifične programe za poboljšanje maksimalne brzine trčanja.

Potencijalna metodološka ograničenja uključuju izbor opterećenja, broj ponavljanja, trajanje odmora i mjerenje parametara. Potrebno je prilagoditi metodologiju kako bi se bolje razumjeli individualni odgovori na opterećenje. Prijedlozi za buduće studije uključuju varijacije u opterećenju, duže periode odmora i analizu dugoročnih učinaka potencijacijskih podražaja. Treneri bi trebali prilagoditi pristup potencijacijskim podražajima, uzimajući u obzir individualne razlike među sportašima i njihove specifične fiziološke karakteristike. Integracija potencijacijskih podražaja u širi kontekst periodizacije treninga kako bi se maksimizirale performanse bez negativnih efekata zamora. Razumijevanje balansa između potencijacije i zamora je ključno za optimizaciju performansi.

Ovi rezultati daju prve dokaze ispitivanja akutnih odgovora sa horizontalnim elastičnim otporom u sprintu na izvedbe sprinta, slaloma i udarac kod amaterskih nogometaša selekcioniranih prema dominantnosti u horizontalnom mehaničkom profilu. Potrebna su daljnja istraživanja kako bi se ispitaio dugoročni učinak redovite primjene potencijacijskih

podražaja na performanse sprinta, slaloma i udarca kod nogometaša. Detaljnije studije koje ispituju individualne varijacije u odgovorima na potencijacijske podražaje mogu pružiti uvid u optimizaciju treninga za različite sportaše. Potrebna su dodatna istraživanja kako bi se bolje razumjeli mehanizmi iza ovih učinaka i razvili optimalni protokoli za implementaciju potencijacijskih podražaja u treninge za poboljšanje performansi.

7. PREDNOSTI I NEDOSTATCI ISTRAŽIVANJA

Ovo istraživanje, kao i mnoga druga, ima svoje prednosti i nedostatke. Sa ciljem maksimalne transparentnosti i jasnoće predstavljenih rezultata, ukratko će biti navedene prednosti i nedostaci provedenog istraživanja.

Prednosti:

- prvo ispitivanje akutnih učinaka sa elastičnim užetom u sprintu
- prvo ispitivanje akutnih učinaka prema dominantnosti u horizontalnom mehaničkom profilu

Nedostaci:

- budući da se centar težišta tijela također ubrzava u okomitom smjeru tijekom svakog koraka u sprintu, potencijalni učinci vezani za ovaj aspekt nisu uzeti u obzir
- ne uključenost vertikalnog mehanički profil; velika vrijednost F_0 u horizontalnom smjeru može biti rezultat velikog vertikalnog $P_{\max}$ i visoke kvalitete prijenosa vertikalno-horizontalno (tj. dobar $RF_{\max}$ i D_{RF}), a niska vrijednosti F_0 u horizontalnom smjeru može biti rezultat velikog vertikalnog $P_{\max}$ i niske kvalitete prijenosa vertikalno-horizontalno (niske vrijednosti $RF_{\max}$ i D_{RF}); i obrnuto, niska razina vertikalnog $P_{\max}$ s visokokvalitetnim prijenosom daje dobre vrijednosti $RF_{\max}$ i D_{RF}
- u istraživanju su sudjelovali sportaši niže razine natjecanja
- istraživanje je provedeno na prirodnoj travi, a ne u kontroliranim uvjetima
- mjerenje umora mišića nakon protokola (npr. elektromiografija, izokinetika)

8. LITERATURA

- Amiri-Khorasani, M., & Ferdinands, R. E. D. (2014). The acute effect of stretching on the kinematics of instep kicking in soccer. *Sports Technology*, 7(1–2), 69–78.
- Amiri-Khorasani, M., & Kellis, E. (2013). Static vs dynamic acute stretching effect on quadriceps muscle activity during soccer instep kicking. *Journal of Human Kinetics*, 39(1), 37–47.
- Amiri-Khorasani, M., Osman, N., & Yusof, A. (2010). Electromyography assessments of the vastus medialis muscle during soccer instep kicking between dynamic and static stretching. *Journal of Human Kinetics*, 24(1), 35–41.
- Andrews, T. R., Mackey, T., Inkrott, T. A., Murray, S. R., Clark, I. E., & Pettitt, R. W. (2011). Effect of hang cleans or squats paired with countermovement vertical jumps on vertical displacement. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(9), 2448–2452.
- Arcos, A. L., Yanci, J., Mendiguchia, J., Salinero, J. J., Brughelli, M., & Castagna, C. (2014). Short-term training effects of vertically and horizontally oriented exercises on neuromuscular performance in professional soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(3), 480–488.
- Arsac, L. M., & Locatelli, E. (2002). Modeling the energetics of 100-m running by using speed curves of world champions. *Journal of Applied Physiology*, 92(5), 1781–1788.
- Asgari, M., Nazari, B., Bizzini, M., & Jaitner, T. (2023). Effects of the FIFA 11+ program on performance, biomechanical measures, and physiological responses: A systematic review. *Journal of Sport and Health Science*, 12(2), 226–235.
- Augustus, S., Hudson, P. E., & Smith, N. (2021). The effect of approach velocity on pelvis and kick leg angular momentum conversion strategies during football instep kicking. *Journal of Sports Sciences*, 39(20), 2279–2288.
- Bacvarevic, B. B., Pazin, N., Bozic, P. R., Mirkov, D., Kukolj, M., & Jaric, S. (2012). Evaluation of a composite test of kicking performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(7), 1945–1952.

- Baena-Raya, A., Sánchez-López, S., Rodríguez-Pérez, M. A., García-Ramos, A., & Jiménez-Reyes, P. (2020). Effects of two drop-jump protocols with different volumes on vertical jump performance and its association with the force-velocity profile. *European Journal of Applied Physiology*, 120(2), 317–324.
- Barnes, K. R., Hopkins, W. G., McGuigan, M. R., & Kilding, A. E. (2015). Warm-up with a weighted vest improves running performance via leg stiffness and running economy. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 18(1), 103–108.
- Bentley, I., Atkins, S. J., Edmundson, C. J., Metcalfe, J., & Sinclair, J. K. (2016). Impact of harness attachment point on kinetics and kinematics during sled towing. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(3), 768–776.
- Bevan, H. R., Cunningham, D. J., Tooley, E. P., Owen, N. J., Cook, C. J., & Kilduff, L. P. (2010). Influence of postactivation potentiation on sprinting performance in professional rugby players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(3), 701–705.
- Bloomfield, J., Polman, R., & O'Donoghue, P. (2007). Physical demands of different positions in FA Premier League soccer. *Journal of Sports Science and Medicine*, 6(1), 63–70.
- Boullosa, D., Beato, M., Iacono, A. Dello, Cuenca-Fernández, F., Doma, K., Schumann, M., Zagatto, A. M., Loturco, I., & Behm, D. G. (2020). A new taxonomy for postactivation potentiation in sport. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 15(8), 1197–1200.
- Buchheit, M., & Mendez-Villanueva, A. (2013). Reliability and stability of anthropometric and performance measures in highly-trained young soccer players: Effect of age and maturation. *Journal of Sports Sciences*, 31(12), 1332–1343.
- Cavagna, G. A., Komarek, L., & Mazzoleni, S. (1971). The mechanics of sprint running. *The Journal of Physiology*, 217(3), 709–721.
- Chatzopoulos, D. E., Michailidis, C. J., Giannakos, A. K., Alexiou, K. C., Patikas, D. A., Antonopoulos, C. B., & Kotzamanidis, C. M. (2007). Postactivation potentiation effects after heavy resistance exercise on running speed. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(4), 1278–1281.

- Chelly, S. M., & Denis, C. (2001). Leg power and hopping stiffness: Relationship with sprint running performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(2), 326–333.
- Chiu, L. Z. F., & Barnes, J. L. (2003). The fitness-fatigue model revisited: Implications for planning short-and long-term training. *Strength and Conditioning Journal*, 25(6), 42–51.
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* (2. izd.). Lawrence Erlbaum Associates.
- Colado, J. C., Garcia-Masso, X., Pellicer, M., Alakhdar, Y., Benavent, J., & Cabeza-Ruiz, R. (2010). A comparison of elastic tubing and isotonic resistance exercises. *International Journal of Sports Medicine*, 31(11), 810–817.
- Crewther, B. T., Kilduff, L. P., Cook, C. J., Middleton, M. K., Bunce, P. J., & Yang, G.-Z. (2011). The acute potentiating effects of back squats on athlete performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(12), 3319–3325.
- Cronin, J., Hansen, K., Kawamori, N., & McNair, P. (2008). Effects of weighted vests and sled towing on sprint kinematics. *Sports Biomechanics*, 7(2), 160–172.
- Cross, M. R., Brughelli, M., Brown, S. R., Samozino, P., Gill, N. D., Cronin, J. B., & Morin, J. B. (2015). Mechanical properties of sprinting in elite rugby union and rugby league. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(6), 695–702.
- Cross, M. R., Brughelli, M., Samozino, P., & Morin, J. B. (2017). Methods of power-force-velocity profiling during sprint running: A narrative review. *U Sports Medicine*, 47(7), 1255–1269.
- di Prampero, P. E., Botter, A., & Osgnach, C. (2015). The energy cost of sprint running and the role of metabolic power in setting top performances. *European Journal of Applied Physiology*, 115(3), 451–469.
- Dobbs, W. C., Toluoso, D. V, Fedewa, M. V, & Esco, M. R. (2019). Effect of postactivation potentiation on explosive vertical jump: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(7), 2009–2018.
- Docherty, D., & Hodgson, M. J. (2007). The application of postactivation potentiation to elite sport. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2(4), 439–444.

- Dörge, H. C., Andersen, T. B., Sørensen, H., & Simonsen, E. B. (2002). Biomechanical differences in soccer kicking with the preferred and the non-preferred leg. *Journal of Sports Sciences*, 20(4), 293–299.
- Edouard, P., Mendiguchia, J., Lahti, J., Arnal, P. J., Gimenez, P., Jiménez-Reyes, P., Brughelli, M., Samozino, P., & Morin, J.-B. (2018). Sprint acceleration mechanics in fatigue conditions: Compensatory role of gluteal muscles in horizontal force production and potential protection of hamstring muscles. *Frontiers in physiology*, 9, 1706.
- Escobar Hincapié, A., Agudelo Velásquez, C. A., Ortiz Uribe, M., García Torres, C. A., & Rojas Jaramillo, A. (2021). Unilateral and bilateral post-activation performance enhancement on jump performance and agility. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(19), 10154.
- Evetovich, T. K., Conley, D. S., & McCawley, P. F. (2015). Postactivation potentiation enhances upper-and lower-body athletic performance in collegiate male and female athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(2), 336–342.
- Faude, O., Koch, T., & Meyer, T. (2012). Straight sprinting is the most frequent action in goal situations in professional football. *Journal of Sports Sciences*, 30(7), 625–631.
- Fernández-Galván, L. M., Prieto-González, P., Sánchez-Infante, J., Jiménez-Reyes, P., & Casado, A. (2022). The post-activation potentiation effects on sprinting abilities in junior tennis players. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(4), 2080.
- Furusawa, K., Hill, A., & Parkinson, J. (1927). The dynamics of „sprint“ running. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Containing Papers of a Biological Character*, 102(713), 29–42.
- Gelen, E. (2010). Acute effects of different warm-up methods on sprint, slalom dribbling, and penalty kick performance in soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(4), 950–956.
- Gołaś, A., Maszczyk, A., Zajac, A., Mikołajec, K., & Stastny, P. (2016). Optimizing post activation potentiation for explosive activities in competitive sports. *Journal of Human Kinetics*, 52(1), 95–106.

- González-Mohino, F., Martín, R., Santos-García, D., Fidel, P., de Asis Fernandez, F., Yustres, I., & González-Ravé, J. (2018). Effects of High-intensity Warm-ups on Running Performance. *International Journal of Sports Medicine*, 39(6), 426–432.
- Gouvêa, A. L., Fernandes, I. A., César, E. P., Silva, W. A. B., & Gomes, P. S. C. (2013). The effects of rest intervals on jumping performance: A meta-analysis on post-activation potentiation studies. *Journal of Sports Sciences*, 31(5), 459–467.
- Grange, R. W., Vandenboom, R., & Houston, M. E. (1993). Physiological significance of myosin phosphorylation in skeletal muscle. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 18(3), 229–242.
- Guex, K., Daucourt, C., & Borloz, S. (2015). Validity and reliability of maximal-strength assessment of knee flexors and extensors using elastic bands. *Journal of Sport Rehabilitation*, 24(2), 151–155.
- Guggenheimer, J. D., Dickin, D. C., Reyes, G. F., & Dolny, D. G. (2009). The effects of specific preconditioning activities on acute sprint performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(4), 1135–1139.
- Häkkinen, K., & Myllylä, E. (1990). Acute effects of muscle fatigue and recovery on force production and relaxation in endurance, power and strength athletes. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 30(1), 5–12.
- Hamada, T., Sale, D. G., MacDougall, J. D., & Tarnopolsky, M. A. (2000). Postactivation potentiation, fiber type, and twitch contraction time in human knee extensor muscles. *Journal of Applied Physiology*, 88(6), 2131–2137.
- Hammami, A., Zois, J., Slimani, M., Russel, M., & Bouhleb, E. (2018). The efficacy and characteristics of warm-up and re-warm-up practices in soccer players: A systematic review. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 58(1), 135–149.
- Hedges, L. V., & Olkin, I. (1985). *Statistical Methods for Meta-Analysis* (1. izd.). Elsevier.
- Helene, O., & Yamashita, M. T. (2010). The force, power, and energy of the 100 meter sprint. *American Journal of Physics*, 78(3), 307–309.

- Hodgson, M., Docherty, D., & Robbins, D. (2005). Post-activation potentiation: Underlying physiology and implications for motor performance. *Sports medicine*, 35(7), 585–595.
- Hooper, S. L., & Mackinnon, L. T. (1995). Monitoring Overtraining in Athletes. Recommendations. *Sports Medicine*, 20(5), 321–327.
- Hooper, S. L., Mackinnon, L. T., Howard, A., Gordon, R. D., & Bachmann, A. W. (1995). Markers for monitoring overtraining and recovery. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27(1), 106–112.
- Hunter, J. P., Marshall, R. N., & McNair, P. J. (2005). Relationships between ground reaction force impulse and kinematics of sprint-running acceleration. *Journal of Applied Biomechanics*, 21(1), 31–43.
- Iaia, M. F., Rampinini, E., & Bangsbo, J. (2009). High-intensity training in football. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 4(3), 291–306.
- Karp, J. R. (2001). Muscle Fiber Types and Training. *Strength and Conditioning Journal*, 23(5), 21–26.
- Kawamori, N., Newton, R. U., Hori, N., & Nosaka, K. (2014). Effects of weighted sled towing with heavy versus light load on sprint acceleration ability. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(10), 2738–2745.
- Kilduff, L. P., Bevan, H. R., Kingsley, M. I. C., Owen, N. J., Bennett, M. A., Bunce, P. J., Hore, A. M., Maw, J. R., & Cunningham, D. J. (2007). Postactivation potentiation in professional rugby players: Optimal recovery. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(4), 1134–1138.
- Krčmár, M., Krčmárová, B., Bakaľár, I., & Šimonek, J. (2021). Acute performance enhancement following squats combined with elastic bands on short sprint and vertical jump height in female athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(2), 318–324.
- Kümmel, J., Bergmann, J., Prieske, O., Kramer, A., Granacher, U., & Gruber, M. (2016). Effects of conditioning hops on drop jump and sprint performance: A randomized

- crossover pilot study in elite athletes. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 8(1), 1.
- Lim, J. J. H., & Kong, P. W. (2013). The application of postactivation potentiation on sprint performance. *Journal of Australian Strength and Conditioning*, 21(1), 61–66.
- Lima, J. B., Marin, D., Barquilha, G., Da Silva, L., Puggina, E., Pithon-Curi, T., & Hirabara, S. (2011). Acute effects of drop jump potentiation protocol on sprint and countermovement vertical jump performance. *Human Movement*, 12(4), 324–330.
- Linder, E. E., Prins, J. H., Murata, N. M., Derenne, C., Morgan, C. F., & Solomon, J. R. (2010). Effects of preload 4 repetition maximum on 100-m sprint times in collegiate women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(5), 1184–1190.
- Linnamo, V., Häkkinen, K., & Komi, P. V. (1997). Neuromuscular fatigue and recovery in maximal compared to explosive strength loading. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 77, 176–181.
- Linthorne, N. P., & Cooper, J. E. (2013). Effect of the coefficient of friction of a running surface on sprint time in a sled-towing exercise. *Sports Biomechanics*, 12(2), 175–185.
- Lockie, R. G., Lazar, A., Davis, D. S. L., & Moreno, M. R. (2017). Effects of postactivation potentiation on linear and change-of-direction speed: Analysis of the current literature and applications for the strength and conditioning coach. *Strength and Conditioning Journal*, 40(1), 75–91.
- Low, D., Harsley, P., Shaw, M., & Peart, D. (2015). The effect of heavy resistance exercise on repeated sprint performance in youth athletes. *Journal of Sports Sciences*, 33(10), 1028–1034.
- Maloney, S. J., Turner, A. N., & Fletcher, I. M. (2014). Ballistic exercise as a pre-activation stimulus: A review of the literature and practical applications. *Sports medicine*, 44(10), 1347–1359.
- Mangine, G. T., Huet, K., Williamson, C., Bechke, E., Serafini, P., Bender, D., Hudy, J., & Townsend, J. (2018). A resisted sprint improves rate of force development during a 20-m sprint in athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(6), 1531–1537.

- Mara, J. K., Thompson, K. G., Pumpa, K. L., & Morgan, S. (2017). Quantifying the high-speed running and sprinting profiles of elite female soccer players during competitive matches using an optical player tracking system. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(6), 1500–1508.
- Markovic, G., Dizdar, D., & Jaric, S. (2006). Evaluation of tests of maximum kicking performance. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 46(2), 215–220.
- Marshall, J., Turner, A. N., Jarvis, P. T., Maloney, S. J., Cree, J. A., & Bishop, C. J. (2017). Postactivation potentiation and change of direction speed in elite academy rugby players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(6), 1551–1556.
- Masuda, K., Kikuhara, N., Demura, S., Katsuta, S., & Yamanaka, K. (2005). Relationship between muscle strength in various isokinetic movements and kick performance among soccer players. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 45(1), 44–52.
- Matusiński, A., Gołas, A., Zajac, A., & Maszczyk, A. (2022). Acute effects of resisted and assisted locomotor activation on sprint performance. *Biology of Sport*, 39(4), 1049–1054.
- Matusiński, A., Pietraszewski, P., Krzysztofik, M., & Gołaś, A. (2021). The effects of resisted post-activation sprint performance enhancement in elite female sprinters. *Frontiers in Physiology*, 12, 651659.
- McBride, J. M., Nimphius, S., & Erickson, T. M. (2005). The acute effects of heavy-load squats and loaded countermovement jumps on sprint performance. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(4), 893–897.
- 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.
- Melchiorri, G., & Rainoldi, A. (2011). Muscle fatigue induced by two different resistances: Elastic tubing versus weight machines. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 21(6), 954–959.

- Monaghan, D. J., & Cochrane, D. J. (2020). Can backward sled towing potentiate sprint performance? *Journal of Strength and Conditioning Research*, 34(2), 345–354.
- Mor, A., Karakaş, F., Mor, H., Yurtseven, R., Yilmaz, A. K., & Acar, K. (2022). The effects of resistance band exercises on some performance parameters in young football players. *Ankara Üniversitesi Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu SPORMETRE Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, 20(3), 128–142.
- Morin, J. B., Bourdin, M., Edouard, P., Peyrot, N., Samozino, P., & Lacour, J. R. (2012). Mechanical determinants of 100-m sprint running performance. *European Journal of Applied Physiology*, 112(11), 3921–3930.
- Morin, J. B., Edouard, P., & Samozino, P. (2011). Technical ability of force application as a determinant factor of sprint performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(9), 1680–1688.
- Morin, J. B., Jeannin, T., Chevallier, B., & Belli, A. (2006). Spring-mass model characteristics during sprint running: Correlation with performance and fatigue-induced changes. *International Journal of Sports Medicine*, 27(2), 158–165.
- Morin, J. B., & Samozino, P. (2016). Interpreting power-force-velocity profiles for individualized and specific training. U *International Journal of Sports Physiology and Performance* (Sv. 11, Izdanje 2, str. 267–272). Human Kinetics Publishers Inc.
- Morin, J. B., Samozino, P., Edouard, P., & Tomazin, K. (2011). Effect of fatigue on force production and force application technique during repeated sprints. *Journal of Biomechanics*, 44(15), 2719–2723.
- Morin, J.-B., Gimenez, P., Edouard, P., Arnal, P., Jiménez-Reyes, P., Samozino, P., Brughelli, M., & Mendiguchia, J. (2015). Sprint acceleration mechanics: The major role of hamstrings in horizontal force production. *Frontiers in physiology*, 6, 404.
- Ng, C. Y., Chen, S. E., & Lum, D. (2020). Inducing postactivation potentiation with different modes of exercise. *Strength and Conditioning Journal*, 42(2), 63–81.

- Orjalo, A. J., Lockie, R. G., Balfany, K., & Callaghan, S. J. (2020). The effects of lateral bounds on post-activation potentiation of change-of-direction speed measured by the 505 test in college-aged men and women. *Sports*, 8(5), 71.
- Ozturk, M., & Gelen, E. (2015). The acute effects of specific preconditioning activities on penalty kick performance in soccer players. *Anthropologist*, 22(3), 679–686.
- Pääsuke, M., Ereline, J., & Gapeyeva, H. (1999). Twitch contractile properties of plantar flexor muscles in power and endurance trained athletes. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 80(5), 448–451.
- Pääsuke, M., Saapar, L., Ereline, J., Gapeyeva, H., Requena, B., & Oöpik, V. (2007). Postactivation potentiation of knee extensor muscles in power- and endurance-trained, and untrained women. *European Journal of Applied Physiology*, 101(5), 577–585.
- Palucci Vieira, L. H., Santinelli, F. B., Carling, C., Kellis, E., Santiago, P. R. P., & Barbieri, F. A. (2021). Acute effects of warm-up, exercise and recovery-related strategies on assessments of soccer kicking performance: A critical and systematic review. *Sports Medicine*, 51(4), 661–705.
- Peng, H. Te, Zhan, D. W., Song, C. Y., Chen, Z. R., Gu, C. Y., Wang, I. L., & Wang, L. I. (2021). Acute effects of squats using elastic bands on postactivation potentiation. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(12), 3334–3340.
- Rabita, G., Dorel, S., Slawinski, J., Sàez-de-Villarreal, E., Couturier, A., Samozino, P., & Morin, J. B. (2015). Sprint mechanics in world-class athletes: A new insight into the limits of human locomotion. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 25(5), 583–594.
- Rahimi, R. (2007). The acute effects of heavy versus light-load Squats on sprint performance. *Facta Universitatis: Physical Education and Spor*, 5(2), 163–169.
- Randell, A. D., Cronin, J. B., Keogh, J. W. L., & Gill, N. D. (2010). Transference of strength and power adaptation to sports performance-horizontal and vertical force production. *Strength and Conditioning Journal*, 32(4), 100–106.

- Romero-Franco, N., Jiménez-Reyes, P., Castaño-Zambudio, A., Capelo-Ramírez, F., Rodríguez-Juan, J. J., González-Hernández, J., Toscano-Bendala, F. J., Cuadrado-Peñafiel, V., & Balsalobre-Fernández, C. (2017). Sprint performance and mechanical outputs computed with an iPhone app: Comparison with existing reference methods. *European Journal of Sport Science*, 17(4), 386–392.
- Sale, D. G. (2002). Postactivation potentiation: Role in human performance. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 30(3), 138–143.
- Samozino, P., Edouard, P., Sangnier, S., Brughelli, M., Gimenez, P., & Morin, J. B. (2014). Force-velocity profile: Imbalance determination and effect on lower limb ballistic performance. *International Journal of Sports Medicine*, 35(6), 505–510.
- Samozino, P., Rabita, G., Dorel, S., Slawinski, J., Peyrot, N., Saez de Villarreal, E., & Morin, J. B. (2016). A simple method for measuring power, force, velocity properties, and mechanical effectiveness in sprint running. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 26(6), 648–658.
- Samozino, P., Rejc, E., Di Prampero, P. E., Belli, A., & Morin, J.-B. (2012). Optimal force-velocity profile in ballistic movements--altius: citius or fortius? *Medicine and science in sports and exercise*, 44(2), 313–322.
- Seitz, L. B., de Villarreal, E. S., & Haff, G. G. (2014). The temporal profile of postactivation potentiation is related to strength level. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(3), 706–715.
- Seitz, L. B., & Haff, G. G. (2015). Application of methods of inducing potentiation during the preparation of rugby players. *Strength & Conditioning Journal*, 37(1), 40–49.
- Seitz, L. B., & Haff, G. G. (2016). Factors modulating post-activation potentiation of jump, sprint, throw, and upper-body ballistic performances: A systematic review with meta-analysis. *U Sports Medicine* (Sv. 46, Izdanje 2, str. 231–240). Springer International Publishing.
- Seitz, L. B., Mina, M. A., & Haff, G. G. (2017). A sled push stimulus potentiates subsequent 20-m sprint performance. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 20(8), 781–785.

- Seitz, L. B., Trajano, G. S., & Haff, G. G. (2014). The back squat and the power clean: Elicitation of different degrees of potentiation. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(4), 643–649.
- Simoneau, G. G., Bereda, S. M., Sobush, D. C., & Starsky, A. J. (2001). Biomechanics of elastic resistance in therapeutic exercise programs. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 31(1), 16–24.
- Slawinski, J., Bonnefoy, A., Ontanon, G., Leveque, J. M., Miller, C., Riquet, A., Chèze, L., & Dumas, R. (2010). Segment-interaction in sprint start: Analysis of 3D angular velocity and kinetic energy in elite sprinters. *Journal of Biomechanics*, 43(8), 1494–1502.
- Smith, C. E., Hannon, J. C., McGladrey, B., Shultz, B., Eisenman, P., & Lyons, B. (2014). The effects of a postactivation potentiation warm-up on subsequent sprint performance. *Human Movement*, 15(1), 36–44.
- Sole, C. J., Moir, G. L., Davis, S. E., & Witmer, C. A. (2013). Mechanical analysis of the acute effects of a heavy resistance exercise warm-up on agility performance in court-sport athletes. *Journal of Human Kinetics*, 39(1), 147–156.
- Sporis, G., Jukic, I., Milanovic, L., & Vucetic, V. (2010). Reliability and factorial validity of agility tests for soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(3), 679–686.
- Stølen, T., Chamari, K., Castagna, C., & Wisløff, U. (2005). Physiology of soccer: An update. *Sports Medicine*, 35(6), 501–536.
- Suchomel, T. J., Lamont, H. S., & Moir, G. L. (2016). Understanding vertical jump potentiation: A deterministic model. *Sports Medicine*, 46(6), 809–828.
- Suchomel, T. J., Sato, K., DeWeese, B. H., Ebben, W. P., & Stone, M. H. (2016). Potentiation following ballistic and nonballistic complexes: The effect of strength level. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(7), 1825–1833.
- Terzis, G., Spengos, K., Karampatsos, G., Manta, P., & Georgiadis, G. (2009). Acute effect of drop jumping on throwing performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(9), 2592–2597.

- Tesch, P. A., Thorsson, A., & Fujitsuka, N. (1989). Creatine phosphate in fiber types of skeletal muscle before and after exhaustive exercise. *Journal of Applied Physiology*, 66(4), 1756–1759.
- Thompson, M. A. (2017). Physiological and Biomechanical Mechanisms of Distance Specific Human Running Performance. *Integrative and Comparative Biology*, 57(2), 293–300.
- Thorstensson, A., & Karlsson, J. (1976). Fatiguability and fibre composition of human skeletal muscle. *Acta Physiologica Scandinavica*, 98(3), 318–322.
- Till, K. A., & Cooke, C. (2009). The effects of postactivation potentiation on sprint and jump performance of male academy soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(7), 1960–1967.
- Tillaar, R. V. D., & Heimborg, E. V. (2018). Comparison of different sprint training sessions with assisted and resisted running: Effects on performance and kinematics in 20-m sprints. *Human Movement*, 18(2), 21–29.
- Tillin, N. A., & Bishop, D. (2009). Factors modulating post-activation potentiation and its effect on performance of subsequent explosive activities. *Sports Medicine*, 39(2), 147–166.
- Toprak, T., Bakici, D., Kaymakçi, A. T., & Gelen, E. (2022). Effects of static and dynamic post-activation potentiation protocols on change of direction performance in adolescent soccer players. *Acta Facultatis Educationis Physicae Universitatis Comenianae*, 62(2), 96–108.
- Turner, A. P., Bellhouse, S., Kilduff, L. P., & Russell, M. (2015). Postactivation potentiation of sprint acceleration performance using plyometric exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(2), 343–350.
- van den Tillaar, R. (2021). Effect of active resisted 30 m sprints upon step and joint kinematics and muscle activity in experienced male and female sprinters. *Journal of sports sciences*, 39(9), 1060–1069.

- van Ingen Schenau, G. J., Jacobs, R., & de Koning, J. J. (1991). Can cycle power predict sprint running performance? *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 63(3–4), 255–260.
- Vandenboom, R., Grange, R. W., & Houston, M. E. (1995). Myosin phosphorylation enhances rate of force development in fast-twitch skeletal muscle. *The American Journal of Physiology*, 268(37), C596–C603.
- Vandewalle, H., Pérès, G., & Monod, H. (1987). Standard Anaerobic Exercise Tests. *Sports Medicine*, 4(4), 268–289.
- 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.
- Weyand, P. G., Sternlight, D. B., Bellizzi, M. J., & Wright, S. (2000). Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements. *Journal of Applied Physiology*, 89(5), 1991–1999.
- Whelan, N., O'Regan, C., & Harrison, A. J. (2014). Resisted sprints do not acutely enhance sprinting performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(7), 1858–1866.
- Williams, J. J., Herron, R. L., Spradley, B., & Saracino, P. (2021). Postactivation potentiation effect of heavy sled towing on subsequent sprints. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(5), 1229–1233.
- Wilson, J. M., Duncan, N. M., Marin, P. J., Brown, L. E., Loenneke, J. P., Wilson, S. M. C., Jo, E., Lowery, R. P., & Ugrinowitsch, C. (2013). Meta-analysis of postactivation potentiation and power: Effects of conditioning activity, volume, gender, rest periods, and training status. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(3), 854–859.
- Winwood, P. W., Posthumus, L. R., Cronin, J. B., & Keogh, J. W. L. (2016). The acute potentiating effects of heavy sled pulls on sprint performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(5), 1248–1254.

- Wong, M. A., Dobbs, I. J., Watkins, C. M., Barillas, S. R., Lin, A., Archer, D. C., Lockie, R. G., Coburn, J. W., & Brown, L. E. (2017). Sled towing acutely decreases acceleration sprint time. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(11), 3046–3051.
- Wyland, T. P., Van Dorin, J. D., & Reyes, G. F. C. (2015). Postactivation potentiation effects from accommodating resistance combined with heavy back squats on short sprint performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(11), 3115–3123.
- Yetter, M., & Moir, G. L. (2008). The acute effects of heavy back and front squats on speed during forty-meter sprint trials. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(1), 159–165.
- Young, W. B. (2006). Transfer of strength and power training to sports performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1(2), 74–83.
- Zabaloy, S., Carlos-Vivas, J., Freitas, T. T., Pareja-Blanco, F., Loturco, I., Comyns, T., Gálvez-González, J., & Alcaraz, P. E. (2022). Muscle activity, leg stiffness, and kinematics during unresisted and resisted sprinting conditions. *Journal of strength and conditioning research*, 36(7), 1839–1846.
- Zisi, M., Stavridis, I., Agilara, G.-O., Economou, T., & Paradisis, G. (2022). The acute effects of heavy sled towing on acceleration performance and sprint mechanical and kinematic characteristics. *Sports*, 10(5), 77.
- Zois, J., Bishop, D. J., Ball, K., & Aughey, R. J. (2011). High-intensity warm-ups elicit superior performance to a current soccer warm-up routine. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 14(6), 522–528.
- Zubčić, D. (2022). *Akutni i kronični utjecaj različitih vrsta opterećenja na izvedbu bilateralnoga vertikalnoga skoka s obzirom na mehanički profil sila – brzina*. (Doktorski rad, Sveučilište u Zagrebu). Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Zucker, R. S., & Regehr, W. G. (2002). Short-term synaptic plasticity. *Annual Review of Physiology*, 64, 355–405.

9. ŽIVOTOPIS AUTORA

Kristijan Mitrečić je rođen u Zaboku 07.02.1988., po nacionalnosti Hrvat, hrvatski državljanin. Otac je jednog dječaka. Pohađao je Osnovnu školu Stjepana Radića u Brestovcu Orehovičkom te opću gimnaziju u Srednjoj školi Zlatar. Nakon završetka srednje škole, upisuje Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, na kojemu 2012. godine stječe titulu magistra kineziologije s nogometa. Na istoimenom fakultetu upisuje doktorski studij 2017. godine.

Pred kraj diplomskog studija sudjelovao je u radu Sportsko – dijagnostičkog centra na Kineziološkom fakultetu u Zagrebu. Tijekom studija radi kao trener-volonter u nogometnom klubu Oštrc iz Zlatara sa selekcijom pionira. Nakon diplomskog studija radi kao kondicijski i nogometni trener u više nogometnih klubova NK Bistra, NK Zagorec Krapina, NK Hrvatski Dragovoljac, NK Krka iz Novo mesto, NK Zabok, NK Sloga i NK Pregrada. Od rujna 2014. godine, zaposlen je na radnom mjestu nastavnika tjelesne i zdravstvene kulture u Srednjoj školi Konjščina.

Autor ili koautor je četiri znanstvena i jednog stručnog članka te je sudjelovao na međunarodnim znanstvenim i stručnim skupovima.

Popis radova:

1. Mitrečić, K. (2010). Prevencija ozljede mišića stražnje strane natkoljenice u nogometaša. Kondicijski trening, 8 (2), str. 57-65.

2. Rozijan, F. i Mitrečić, K. (2018). Razlike u kinantropološkim obilježjima učenika dviju srednjih škola u Krapinsko-zagorskoj županiji i usporedba rezultata s orijentacijskim vrijednostima učenika u srednjem školstvu Republike Hrvatske. U: Babić, V. (ur.) Zbornik radova 27. Ljetne škole kineziologa Republike Hrvatske. Opatija, Hrvatski kineziološki savez, str. 103-109.

3. Mitrečić, K., Rozijan, F. i Šupljika Gabelica, L. Razlike finalnih stanja kinantropoloških obilježja učenika dviju srednjih škola u Krapinsko zagorskoj županiji. U: Babić, V. (ur.) Zbornik radova 27. Ljetne škole kineziologa Republike Hrvatske. Opatija, Hrvatski kineziološki savez, str. 97-102.

4. Mitrečić, K. i Vučetić, V. (2019). Promjene u sastavu tijela tijekom godine. U: Babić, V. (ur.) Zbornik radova 28. Ljetne škole kineziologa Republike Hrvatske. Zadar, Hrvatski kineziološki savez, str. 645-652.

5. Milanović, L., Mitrečić, K. i Dadić, M. (2021). Differences between winning and losing teams at the 2018 FIFA World Cup in Russia in situational parameters of a football match. Proceedings book of the 9th international scientific conference on kinesiology. Opatija, Hrvatska, str. 808-812.