



UNIVERZITET U BEOGRADU
FAKULTET SPORTA I FIZIČKOG VASPITANJA



Nemanja M. Zlojutro

**AKUTNI EFEKTI BRZIH EKSCENTRIČNIH
KONTRAKCIJA SA RAZLIČITIM
VELIČINAMA OPTEREĆENJA
NA MANIFESTACIJU POSTAKTIVACIJSKE
POTENCIJACIJE**

doktorska disertacija

Beograd, 2025



UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF SPORT AND PHYSICAL EDUCATION



Nemanja M. Zlojutro

**ACUTE EFFECTS OF FAST ECCENTRIC
CONTRACTIONS WITH DIFFERENT SIZES
OF LOAD ON THE MANIFESTATION OF
POSTACTIVATION POTENTIATION**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2025

MENTOR:

1. Dr Aleksandar Nedeljković, redovni profesor, Univerzitet u Beogradu – Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja

ČLANOVI KOMISIJE:

1. Dr Dejan Suzović, redovni profesor, Univerzitet u Beogradu – Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja, predsjednik komisije;

2. Dr Marko Ćosić, docent, Univerzitet u Beogradu – Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja, član

3. Dr Filip Kukić, docent, Univerzitet u Banjoj Luci – Fakultet fizičkog vaspitanja i sporta, član

Datum odbrane:

Zahvaljujem se

Majci Mileni, supruzi Milici i sinu Kostu koji su imali strpljenja za vrijeme koje sam posvetio doktoratu, koji su mi pružali bezuslovnu podršku, pomagali i bodrili me svaki put kada je bilo teško. Veliko HVALA!

Mom ocu, Momčilu, koji nije dočekao ovaj trenutak, ali čiji su neizmjerena ljubav, vjera i podrška bili dio svakog mog koraka. Njegove riječi i primjer nastavili su da me inspirišu i daju mi snagu. Ova disertacija je moj skroman način da mu se zahvalim. Veliko HVALA!

Mentoru, prof. dr Aleksandru Nedeljkoviću, na podršci tokom trajanja čitavih doktorskih studija, ukazanom povjerenju, prenesenom znanju, savjetima, strpljenju i pomoći u svim fazama izrade doktorske disertacije. HVALA!

Svom, prof. dr Borku Petroviću koji je bio uz mene na svakom koraku ovog puta, ne samo kao mentor, već i kao oslonac i inspiracija. Njegova podrška, strpljenje i nesebična spremnost da podijeli svoje znanje, učinili su da svaki izazov postane lakši, a svaki uspjeh značajniji. HVALA!

Kolegi, doc. dr Filipu Kukiću na podršci, strpljenju, nesebičnim i konstruktivnim savjetima koji su veoma doprinijeli poboljšanju kvaliteta doktorske disertacije. HVALA!

Kolegi i prijatelju Zdravku Aničiću, koji je ovaj izazovan akademski put učinio ne samo podnošljivim, već i zabavnim. Njegova podrška, smisao za humor i beskrajne diskusije, od naučnih tema do životnih anegdota, učinili su ovaj proces bogatijim i ispunjenijim. HVALA!

Prijateljima i kolegama koji su me svakodnevno okruživali i pružali podršku, iako ih nisam pojedinačno naveo, kao i ispitanicima koji su posvetili svoje vrijeme i trud učestvujući u eksperimentima. HVALA!

Doktorsku disertaciju posvećujem mojoj porodici i roditeljima!

Bez vas ništa od ovoga ne bi bilo moguće.

U najtežim trenucima bili ste mi najveća podrška.

Ne postoji riječ HVALA kojom bih mogao da vam se dovoljno zahvalim.

Akutni efekti brzih ekscentričnih kontrakcija sa različitim veličinama opterećenja na manifestaciju postaktivacijske potencijacije

Sažetak:

Cilj doktorske disertacije je da se ispituju akutni efekti različitih brzina kontrakcija sa 3 vrste opterećenja na postaktivacijsku potencijaciju (PAP). Postaktivacijska potencijacija se definiše kao fiziološki fenomen koji dovodi do akutnog povećanja sposobnosti ispoljavanja sile i snage skeletnih mišića koje nastaje kao direktna posljedica prethodne snažne voljne mišićne kontrakcije, odnosno potencijacijskog podražaja (Borba i sar., 2017). Potencijacija je vršena sa 3 serije sa 3 ponavljanja, dinamičkim kontrakcijama sa opterećenjem 90% od 1RM-a (ECC90%), brzim ekscentričnim kontrakcijama sa 60% (EC60%) i 40% (EC40%) od 1RM-a na uzorku od 20 studenata. Eksperimentalna procedura je sprovedena u četiri odvojene sesije sa 7 dana pauze između sesija. Antropometrijska mjerenja i procjena 1RM-a u vježbi čučanj na Smit mašini izvršena su u okviru prve sesije. Akutni efekti PAP-a procijenjeni su na osnovu kinematičkog parametara - maksimalne visine skoka (h), mjerenjem rezultata na testiranju prije i nakon primjene protokola, (*Countermovement Jump* - CMJ), u okviru druge, treće i četvrte sesije, redom: ECC90%, EC60% i EC40%. Pauza između potencijacijskog podražaja i CMJ-a je bila 6 minuta kod sve 3 potencijacije i nakon sve tri serije. Analizom rezultata ANOVA za ponovljena mjerenja utvrđeno je da postoji statistički značajna razlika u visini skoka nakon primjene sve 3 vrste potencijacije, $p < .001$. Bonferroni post hoc analiza pokazala je značajne razlike između visina CMJ-a nakon potencijacija ECC90% (2.81 ± 1.08 cm) i EC60% (2.45 ± 0.8 cm), $p < .005$. Dalje, prosječne vrijednosti visine skoka nakon ECC90% i EC60% su značajno veće u odnosu nakon EC40% (1 ± 0.3 cm). Rezultati ove studije ukazuju na to da je moguće primijeniti dinamičke 90% od 1RM-a i brze ekscentrične kontrakcije sa opterećenjima 60% i 40% od 1RM-a u cilju akutnog povećanja visine CMJ-a nakon perioda pauze od 6 minuta kod studenata. Iako je najveći efekat zabilježen pri većim intenzitetima (90% i 60% 1RM), čak i opterećenje od 40% od 1RM-a dovelo je do statistički i praktično značajnog, ali najmanje izraženog poboljšanja, što sugerise njegovu moguću primjenu u situacijama kada visokointenzivna aktivacija nije preporučljiva.

Ključne riječi: PAP, brza ekscentrična kontrakcija, eksplozivna snaga, CMJ, OptoGait

Naučna oblast: Fizičko vaspitanje i sport

Uža naučna oblast: Nauke fizičkog vaspitanja . sporta i rekreacije

UDK broj: 796:612.766(043.3)

Acute Effects of Fast Eccentric Contractions with Different Load Magnitudes on the Manifestation of Postactivation Potentiation

Abstract:

The aim of the doctoral dissertation is to investigate the acute effects of fast eccentric contractions with different load on the postactivation potentiation (PAP). Postactivation potentiation is defined as a physiological phenomenon that leads to an acute increase in the ability to exert force and power of skeletal muscles, which occurs as a direct result of a previous strong voluntary muscle contraction, or potentiating stimulus (Borba et al., 2017). Potentiation was performed using 3 sets of 3 repetitions with dynamic contractions (ECC90%) at 90% of one repetition maximum (1RM-a), fast eccentric contractions at 60% (EC60%), and 40% (EC40%) 1RM-a on a sample of 20 students. The procedure was carried out in four sessions with a 7-day rest between sessions. Anthropometric measurements and 1RM-a assessment using the barbell squat on the Smit machine were conducted in the first session. Acute PAP effects were assessed based on kinematic parameters (*maximal jump height* - h) using pretest and posttest Countermovement Jump (CMJ) tests in the second, third, and fourth sessions. The rest period between the potentiation stimulus and CMJ was 6 minutes for all conditions. Repeated measures ANOVA showed significant differences in jump height after all three types of potentiation ($p < .001$). Bonferroni post-hoc analysis revealed significant differences between ECC90% (2.81 ± 1.08 cm) and EC60% (2.45 ± 0.8 cm) potentiation ($p < .005$). Additionally, jump height after ECC90% and EC60% was significantly higher compared to EC40% (1 ± 0.3 cm). The results of this study suggest that it is possible to apply dynamic contractions at 90% of 1RM and fast eccentric contractions with loads of 60% and 40% of 1RM to acutely enhance CMJ height following a 6-minute rest period in university students. Although the greatest effect was observed at higher intensities (90% and 60% of 1RM), even the 40% 1RM load resulted in a statistically and practically significant, albeit less pronounced, improvement, indicating its potential applicability in situations where high-intensity activation may not be advisable.

Key words: PAP, fast eccentric contraction, explosive strength, CMJ, OptoGait

Scientific field: Physical Education and Sport

Scientific subfield: Science of Physical Education, Sports and Recreation

UDC number: 796:612.766(043.3)

SADRŽAJ

1. UVOD	10
1.1. Postaktivacijska potencijacija	12
1.1.1. Fiziološki mehanizmi postaktivacijske potencijacije	13
1.1.2. Fosforilacija regulacijskih lakih lanaca miozina	13
1.1.3. Povećana aktivacija velikih motornih jedinica	14
1.1.4. Promjena ugla penacije	15
1.2. Razlike između PAP i PAPE	16
2. FAKTORI POSTAKTIVACIJSKE POTENCIJACIJE	17
2.1. Uticaj jačine i snage na PAP	17
2.2. Uticaj tipa mišićnih vlakana na PAP	18
2.3. Uticaj pola na PAP	18
2.4. Uticaj trajanja mišićne kontrakcije na PAP	19
2.5. Uticaj intenziteta opterećenja na PAP	20
2.6. Uticaj pauze na PAP	21
2.7. Uticaj tipa mišićne kontrakcije na PAP	22
3. NEUROMIŠIĆNE OSNOVE EKSCENTRIČNE KONTRAKCIJE	23
3.1. Neurofiziološki aspekti ekscentrične kontrakcije	23
3.2. Biomehanički aspekti ekscentrične kontrakcije	23
3.3. Efekti ekscentričnog treninga na mišićnu jačinu, snagu i hipertrofiju	24
3.4. Ekscentrična kontrakcija kao faktor modulacije PAP	25
4. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA	27
5. PROBLEM, PREDMET I CILJEVI ISTRAŽIVANJA	30
6. HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA	31
7. METOD	32
7.1. Uzorak ispitanika	32
7.2. Eksperimentalni dizajn	32
7.3. Procedura testiranja	32
7.4. Statistička obrada podataka	36
8. REZULTATI	37
9. DISKUSIJA	42
9.1. Ograničenja studije	47
10. ZAKLJUČAK	48
10.1. Značaj istraživanja	48
11. LITERATURA	50
Prilog 1. Saglasnost sa procedurom testiranja	62
Prilog 2. Saglasnost Etičke komisije za realizaciju istraživanja	64
Prilog 3. Kopija naslovne strane objavljenog rada	65
Biografija autora	66
Bibliografija autora	67
Izjava o autorstvu	68
Izjava o istovjetnosti štampane i elektronske verzije doktorskog rada	69
Izjava o korišćenju	70

Skraćenice:

PAP - postaktivacijska potencijacija

1RM - jedna maksimalna repeticija

ECC90% - potencijacija dinamičkom kontrakcijom i opterećenjem 90% od 1RM-a

EC60% - potencijacija brzom eksentričnom kontrakcijom i opterećenjem 60% od 1RM-a

EC40% - potencijacija brzom eksentričnom kontrakcijom i opterećenjem 40% od 1RM-a

CMJ - vertikalni skok s pripremom (*Countermovement Jump*)

$V_{\min}$ – minimalna brzina pri 1RM

PRT - pretest

PSTS1 - posttest prva serija

PSTS2 - posttest druga serija

PSTS3 - posttest treća serija

CV - koeficijent varijacije

SV - srednja vrijednost

SD - standardna devijacija

Δ ECC90% - razlika između pretesta i najveće vrijednosti posttesta nakon potencijacije sa ECC90%

Δ EC60% - razlika između pretesta i najveće vrijednosti posttesta nakon potencijacije sa EC60%

Δ EC40% - razlika između pretesta i najveće vrijednosti posttesta nakon potencijacije sa EC40%

1. Uvod

Sport, a samim tim i sportski trening, tokom posljednje decenije doživljava intenzivnu evoluciju uslovljenu savremenim zahtjevima takmičarskog sporta. U eri kada se traže vrhunski rezultati, a konkurencija je sve veća, sportisti su izloženi konstantno rastućim fiziološkim, biomehaničkim i psihološkim zahtjevima. Ovaj napredak podrazumijeva i značajne promjene u pristupima planiranju i realizaciji trenažnih procesa, pri čemu se kontinuirano razvijaju nove i sve sofisticiranije metode treninga u cilju maksimizacije sportskih performansi. Kinematičke analize jasno ukazuju na to da su fizički zahtjevi u sportskim igrama porasli za gotovo 50% u odnosu na period od prije petnaestak godina (Gabbett, 2016). Ovo povećanje obuhvata ne samo veću frekvenciju i intenzitet motoričkih radnji, nego i kompleksnost samih pokreta, što zahtijeva unapređenje svih komponenti fizičke pripreme. U tom kontekstu, značaj fizičke pripremljenosti sportista dobija novu dimenziju i postaje jedan od ključnih faktora uspjeha. Savremena kondiciona priprema više nije bazirana isključivo na razvoju opštih motoričkih sposobnosti, već je precizno usmjerena i specifična, uz neizostavnu ulogu individualne dijagnostike i analize sportskih zahtjeva. Posebna pažnja pridaje se razvoju onih motoričkih sposobnosti koje su direktno povezane s uspješnošću u specifičnim sportskim aktivnostima a jedna od najvažnijih među njima je sposobnost brzog ispoljavanja mišićne sile, odnosno eksplozivne snage ili dinamičke snage.

Dinamička snaga definiše se kao sposobnost čovjeka da u što kraćem vremenskom intervalu proizvede i ispolji visoke vrijednosti sile (Cormie i sar., 2011). Ova sposobnost ima ključnu ulogu u aktivnostima koje zahtijevaju visoke performanse u trčanju, skakanju, promjeni pravca kretanja i izvođenju brzih balističkih pokreta. Na neurofiziološkom nivou, sposobnost brzog razvoja sile zavisi od faktora kao što su regrutacija motornih jedinica, brzina aktivacije mišićnih vlakana, međumišićna koordinacija, elastična svojstva mišićno-tetivnog sistema i efikasnost neuromišićne sinergije (Aagaard i sar., 2002; Tillin & Folland, 2014). U biomehaničkom smislu, snaga (P) se može kvantifikovati kao produkt sile (F) i brzine (V), odnosno $P = F \times V$ (Stojanović i sar., 2015). Dakle, maksimalna snaga se može povećati na dva osnovna načina: povećanjem generisane sile, što je povezano sa razvojem mišićne jačine, ili povećanjem brzine izvođenja pokreta, što zahtijeva poboljšanje reaktivnih sposobnosti. Međutim, važno je napomenuti da između ove dvije varijable postoji obrnuto proporcionalna relacija, povećanje sile obično rezultira smanjenjem brzine i obrnuto, što predstavlja osnovni princip odnosa sile-brzine (Haff & Nimphius, 2012). Upravo iz tog razloga, optimalno poboljšanje snage zahtijeva uravnotežen razvoj oba faktora kroz specifične trenažne protokole koji uključuju rad na maksimalnoj jačini, brzinskoj i eksplozivnoj snazi. Savremeni pristupi u kondicionom treningu usmjereni su na identifikaciju individualnog profila sportiste u kontekstu sile i brzine, te prema tome i na selekciju adekvatnih metoda treninga sa submaksimalnim i maksimalnim opterećenjima za razvoj jačine, do rada s manjim opterećenjima pri velikim brzinama za razvoj brzinsko snažnih svojstava (Loturco i sar., 2018). U tom smislu, dinamička snaga se posmatra ne kao izolovana sposobnost, već kao rezultat integracije više faktora, uključujući biomehaničke, neuromišićne i metaboličke komponente, koje zajedno čine osnovu sportskog performansa.

Naučna zajednica je u posljednje dvije decenije značajno intenzivirala istraživanja u oblasti neuromišićne stimulacije i modifikacije akutnih odgovora mišića na prethodne kontrakcije visokog intenziteta, što je dovelo do važnih otkrića u vezi s fenomenom poznatim kao postaktivacijska potencijacija (PAP), što su potvrdili Beato i saradnici (2019). Naime, brojna istraživanja su potvrdila da neposredno nakon izvođenja vježbi s velikim opterećenjem ili visoko intenzivnim mišićnim kontrakcijama dolazi do kratkotrajnog poboljšanja sposobnosti ispoljavanja eksplozivne snage, odnosno poboljšanja u izvođenju dinamičkih, balističkih i pliometrijskih pokreta (Liu i sar., 2024). Ovaj akutni, vremenski ograničen učinak, zasnovan na prethodnoj mišićnoj aktivaciji, predstavlja suštinu fenomena PAP-a, koji se u literaturi sve češće razdvaja od šireg pojma, naknadnih efekata (engl. *after-effect phenomenon*), kako su ga prvobitno nazivali (Siff & Verkhoshansky, 1999; Sale,

2002). Sam termin, PAP, prošao je kroz višedecenijsku evoluciju. Njegovi korijeni sežu još u 19. vijek, kada je u laboratorijskim uslovima zapažen (engl. *staircase effect*), odnosno, postepeno povećanje amplituda mišićnih kontrakcija kao odgovor na prethodnu stimulaciju (Blazevich & Babault, 2019). Tokom 1930-ih godina ovaj fenomen je dobio naziv post-tetanička potencijacija, baziran na zapažanjima da nakon tetaničke stimulacije dolazi do povećane ekscitabilnosti mišića. Savremeni naziv PAP postao je dominantan tokom 1970-ih godina, prvenstveno kroz radove sovjetskih biomehaničara i sportskih fiziologa (Verkhoshansky & Verkhoshansky, 2011).

Uprkos značajnim nalazima koji potvrđuju efikasnost protokola PAP-a u akutnom poboljšanju sportskih performansi, naučnici su nedavno uveli novi pojam, postaktivacijsko povećanje performansi (engl. *postactivation performance enhancement* - PAPE). Novi pojam je uveden s ciljem da se jasno razgraniče čisto fiziološki mehanizmi potencijacije od onih koji dovode do stvarnog, mjerljivog poboljšanja sportskog izvođenja (Blazevich & Babault, 2019). Naime, PAPE koncept uzima u obzir i faktore kao što su povećanje tjelesne temperature, viskoznosti mišića, povećanje amplitude pokreta, kao i promjene u percepciji napora, što sve zajedno doprinosi boljem izvođenju, iako mehanizmi ne moraju biti isključivo posljedica neurofiziološke potencijacije (Cuenca-Fernández i sar., 2017). Tako se u novijoj literaturi PAP definiše kao akutno poboljšanje mišićne funkcije uslijed neurofizioloških mehanizama koje nastaje nakon izvođenja predaktivacijskih podražaja, dok se PAPE odnosi na akutno poboljšanje sportskog izvođenja koje može biti posljedica više međusobno povezanih faktora, a ne isključivo mišićne potencijacije (Blazevich & Babault, 2019; Kasicki i sar., 2024). Ovakvo razgraničenje ima važne implikacije za praksu, jer omogućava trenerima i sportskim naučnicima da preciznije biraju protokole u zavisnosti od ciljeva, na primjer laboratorijsko testiranje neurofiziološkog odgovora ili poboljšanje takmičarskih performansi. Eksperimentalni dokazi jasno pokazuju da pravilno programirani PAP i PAPE protokoli, koji uključuju optimalne odnose intenziteta, volumena, trajanja odmora i specifičnosti mišićnih grupa, mogu značajno poboljšati eksplozivne sposobnosti sportista različitih profila (Dobbs i sar., 2019; Boullousa i sar., 2020). Međutim, ovi efekti su individualno varijabilni i zavise od niza faktora, uključujući trenažni status sportiste, tip mišićnih vlakana, pol, kao i vremenski interval između potencijacije i testiranja efekata podražaja (Garbisu-Hualde & Santos-Concejero, 2021).

U trenažnoj praksi, prethodno opisani fenomen PAP-a primjenjuje se kroz različite oblike organizacije trenažnog sadržaja, među kojima se posebno ističe kontrastni trening ili takozvana kompleksna metoda. Suština ovog pristupa leži u sekvencijalnom kombinovanju vježbi s velikim opterećenjem i eksplozivnih pokreta sličnog biomehaničkog obrasca, kako bi se izazvala akutna neuromišićna stimulacija koja omogućava snažnije i brže kontrakcije u naknadnim akcijama (Docherty & Hodgson, 2007; Wilson i sar., 2013). Ovaj oblik treninga oslanja se na fiziološke principe PAP-a, čime postaje vrijedan alat za akutno poboljšanje performansi, ali i za dugoročni razvoj eksplozivne snage, ako se pravilno programira. Kontrastni trening je posebno koristan u sportovima koji zahtijevaju kombinaciju maksimalne sile i brzine, kao što su atletika, fudbal, košarka i odbojka. Brojne studije su potvrdile efikasnost ove metode, ističući da pravilna implementacija PAP protokola može rezultirati značajnim poboljšanjima u sprinterskim performansama, visini skoka, snazi udarca ili bacanja (Seitz & Haff, 2016; Beato i sar., 2019). Međutim, i pored brojnih pozitivnih nalaza, u naučnoj literaturi i dalje postoje određene nedoumice i neslaganja u pogledu ključnih varijabli koje determinišu efikasnost PAP efekta, uključujući: tip mišićne kontrakcije, veličinu i prirodu opterećenja, brzinu savladavanja otpora, trajanje odmora između vježbi, kao i individualne karakteristike sportiste (Tillin & Bishop, 2009; Cuenca-Fernández i sar., 2017).

Zbog svega navedenog, cilj ovog istraživanja jeste da se sistematski ispita uticaj različitih vrsta mišićnih kontrakcija, različitih veličina opterećenja, kao i brzine izvođenja vježbi potencijacije, s posebnim akcentom na brzinu ekscentrične faze, na akutne efekte PAP-a. Dosadašnja istraživanja ukazuju da ekscentrične kontrakcije, naročito kada se izvode velikom brzinom, izazivaju značajne neurofiziološke promjene, uključujući povećanu aktivaciju motornih jedinica, bolju sinhronizaciju u

njihovom regrutovanje, te povećanu osjetljivost miofibrilarnog aparata na kalcijum (Ca^{2+}), što sve zajedno doprinosi većoj efikasnosti kontrakcije (Franchi i sar., 2017; Qian i sar., 2023; Bai i sar., 2025;). Ekscentrične kontrakcije imaju specifične karakteristike koje ih čine izuzetno pogodnim za primjenu u PAP protokolima, mogu da generišu veću silu uz manje metaboličke zahtjeve, manje zamaranje u odnosu na koncentrične kontrakcije, te značajan uticaj na mehanička svojstva mišićno-tetivnog kompleksa (Suchomel i sar., 2019). U praksi, one su najčešće zastupljene kroz izvođenje pliometrijskih vježbi, ekscentričnih varijanti čučnjeva, pokreta u kojima se vrši ekstenzija ili izvođenja ekscentričnih kontrakcija na uređajima koji omogućavaju promjenjivi otpor kao što su izoinercijalni uređaji (engl. *flywheel*). Brze ekscentrične kontrakcije dodatno naglašavaju specifične adaptacije kroz poboljšanje refleksne aktivacije (engl. *stretch-shortening cycle*), što može rezultirati poboljšanjem u brzinskim i reaktivnim sposobnostima pojedinca (Seiberl i sar., 2021).

1.1. Postaktivacijska potencijacija

Postaktivacijska potencijacija (PAP) se definiše kao fiziološki fenomen koji dovodi do akutnog povećanja sposobnosti ispoljavanja sile i snage skeletnih mišića koje nastaje kao direktna posljedica prethodne snažne voljne mišićne kontrakcije, odnosno potencijacijskog podražaja (Sale, 2002; Borba i sar., 2017). Ova neuromišićna facilitacija predstavlja kratkotrajni efekat prethodnog opterećenja, koji može imati značajan uticaj na izvođenje eksplozivnih zadataka kao što su vertikalni skok, sprint ili bacanje (Dello i sar., 2016). Prethodna aktivacija, poznata i kao *potencijacijski podražaj*, u funkcionalnom smislu najčešće podrazumijeva izvođenje vježbe sa spoljašnjim opterećenjem, biomehanički slične pokretu koji će uslijediti, ali bez dodatnog opterećenja, takozvane *pretvarajuće vježbe* (Perić & Petrović, 2015). Pretvarajuće vježbe su najčešće eksplozivne, pliometrijske ili brzinske prirode, na primjer skok, sprint ili bacanje, a selektuju se tako da reflektuju prirodu pokreta koji se trenira (Cormier i sar., 2022). Slikovito rečeno, nakon čučnja sa submaksimalnim opterećenjem, na primjer 85-95% od 1RM-a, može da dođe do akutnog povećanja visine vertikalnog skoka, upravo zahvaljujući efektu PAP-a (Anthi i sar., 2014). Pojava PAP-a je posebno interesantna zbog svojih potencijala kako za akutno poboljšanje performansi, tako i za dugoročnu trenažnu adaptaciju. U posljednjim decenijama, brojna istraživanja u sportskim laboratorijama pokazala su da se naizmjeničnim izvođenjem vježbi potencijacije visokog i niskog intenziteta mogu postići sinergijski efekti koji dovode do unapređenja eksplozivne snage, koordinacije i regrutacije motornih jedinica (Tillin & Bishop, 2009). Trening sa submaksimalnim opterećenjem izaziva kratkoročnu povećanu razdražljivost centralnog nervnog sistema, čime se obezbjeđuje veća efikasnost u narednim kontrakcijama, koje mogu trajati od 4 do 10 minuta nakon inicijalne aktivacije, u zavisnosti od tipa kontrakcije, opterećenja, nivoa treniranosti i fiziološkog profila sportiste (Ebben i sar., 2000; Tillin & Bishop, 2009). Ovo se poklapa sa takozvanim prozorom PAP efekta, unutar kojeg je preporučeno sprovesti pretvarajuću vježbu kako bi se postigli maksimalni efekti.

Efekti PAP-a se mogu izazvati i u laboratorijskim uslovima pomoću maksimalnih izometrijskih kontrakcija, kao i post-tetaničkih kontrakcija izazvanih elektromišićnom stimulacijom (Baudry & Duchateau, 2007). Ipak, u sportu je najčešći oblik indukcije PAP-a putem ekscentrično-koncentričnih kontrakcija, jer one omogućavaju visoki intenzitet uz biomehaničku specifičnost (Sale, 2002). Najčešći trenažni protokoli za izazivanje PAP-a su kontrastni trening i kompleksna metoda. Kontrastni trening se zasniva na izmjeni vježbi s visokim i niskim opterećenjem, pri čemu je cilj izazvati PAP kroz biomehaničku i neuromišićnu sličnost pokreta. Kompleksna metoda je slična, ali često koristi kombinaciju sličnog obrasca pokreta i kontrolisanih pauza. Na primjer, izvođenje čučnja s 90% od 1RM-a, zatim pauza od 4-8 minuta, pa izvođenje vertikalnog skoka, omogućava manifestaciju PAP efekta (Wilson i sar., 2013; Beato i sar., 2019). I pored velikog broja studija koje potvrđuju postojanje i potencijal PAP-a, fiziološki mehanizmi još uvijek nisu u potpunosti razjašnjeni, a brojni faktori, uključujući pol, trenažni status, tip mišićnih vlakana, veličinu i tempo opterećenja, dužinu pauze između vježbi značajno utiču na manifestaciju ovog fenomena (De Hoyó

i sar., 2015; Blazevich & Babault, 2019). Neki autori stoga predlažu termin PAPE, kao širi koncept koji uzima u obzir i druge fiziološke promjene koje nisu nužno povezane s fosforilacijom miozina, ali doprinose poboljšanju performansi (Cuenca-Fernández i sar., 2017; Blazevich & Babault, 2019).

1.1.1. Fiziološki mehanizmi postaktivacijske potencijacije

Naučna i stručna zajednica do danas je predložila dva osnovna mehanizma:

- Fosforilacija regulacijskih lakih lanaca miozina (MLC), što aktin i miozin čini osjetljivim na Ca^{2+} koji se oslobađa iz sarkoplazmatičnog retikuluma tokom eksplozivne kontrakcije mišića (Tillin & Bishop, 2009; Bauer i sar., 2019).

- Povećana sinaptička ekscitacija velikih motornih jedinica, povećanje post-sinaptičke potencijacije i naknadno povećanje generisanja mišićne sile na osnovu povećana regrutacije brzih mišićnih vlakana (Xenofondos i sar., 2010).

1.1.2. Fosforilacija regulacijskih lakih lanaca miozina

Fosforilacija regulacijskih lakih lanaca miozina (MLC) predstavlja jedan od ključnih molekularnih mehanizama u procesu regulacije mišićne kontrakcije, posebno u kontekstu akutnih neuromišićnih adaptacija. Miozin, kao osnovni motorni protein u skeletnom mišiću, sastoji se od dvije teške i dvije lake lančane podjedinice, od kojih MLC ima ulogu u modulaciji interakcije između aktina i miozina (Vandenboom, 2016). Fosforilaciju MLC-a katalizuje enzim miozin laki lanac kinaza (MLCK), koji se aktivira vezivanjem Ca^{2+} na kalmodulin, regulatorni protein koji omogućava aktivaciju MLCK-a nakon oslobađanja Ca^{2+} iz sarkoplazmatičnog retikuluma (Magupalli i sar., 2013). Kada se MLCK-a aktivira dolazi do fosforilacije MLC-a, što uzrokuje strukturne promjene na glavi miozina, povećavajući njenu fleksibilnost i sposobnost da stupa u interakciju sa aktinom. Ovaj proces omogućava učestalije i brže formiranje poprečnih mostova između aktinskih i miozinskih vlakana, što se funkcionalno manifestuje kao povećana kontraktilna snaga mišića (Alamo i sar., 2015; Vandenboom, 2016). Fosforilacija MLC-a ne samo da povećava brzinu razvoja sile (*rate of force development* - RFD), već i smanjuje vrijeme potrebno za postizanje vršne sile (F_{max}), čime direktno doprinosi efektivnosti eksplozivnih pokreta (Grange i sar., 1993; Sale, 2002). Važno je napomenuti da su ovi efekti naročito izraženi pri niskim koncentracijama Ca^{2+} , odnosno u uslovima kada je aktivacija djelimična, odnosno pri nisko frekventnim tetaničkim kontrakcijama ili tokom mišićnog trzaja, gdje fosforilacija MLC omogućava mišiću da postigne veću silu nego što bi to bilo moguće samo aktivacijom Ca^{2+} (Tillin & Bishop, 2009). U tom kontekstu, važan fenomen je i trzajna potencijacija (*twitch potentiation* - TP), koja predstavlja akutno povećanje amplitude pojedinačnog mišićnog trzaja nakon prethodne kontrakcije visokog intenziteta. Trzajna kontrakcija se definiše kao kratak odgovor mišića na jedan akcioni potencijal, dok je TP mehanizam koji omogućava da se i u tim uslovima razvije veća sila, prvenstveno zahvaljujući fosforilaciji MLC-a. Tri glavna načina povećanja sile trzaja su: (1) kontinuirana maksimalna voljna kontrakcija, (2) tetanička stimulacija visoke frekvencije i (3) stimulacija subfuzijske frekvencije (Latash, 2008). Takođe, TP pokazuje povećanje RFD-a i smanjenje vremena do maksimalne sile, što je ključno za brze, eksplozivne pokrete u sportskim aktivnostima (Tillin & Bishop, 2009). Zanimljivo je da TP, za razliku od PAP-a, ne povećava vršnu silu pri visoko frekventnim kontrakcijama, već samo RFD što sugerise da oba fenomena imaju komplementarne, ali ne i identične efekte u različitim uslovima mišićne aktivacije (Hodgson i sar., 2005). Nadalje, veličina TP odgovora zavisi od intenziteta i trajanja prethodne kontrakcije, kao i od tipa mišićnih vlakana gdje pojedinci s većim procentom brzih mišićnih vlakana tip II, pokazuju veće efekte (Hamada i sar., 2000).

Iako se MLCK-a smatra primarnim enzimom za fosforilaciju MLC-a, najnovija istraživanja su pokazala da su i drugi molekularni mehanizmi uključeni u regulaciju ovog procesa. Rho-kinaza, serin/treonin kinaza povezana s regulacijom citoskeleta, direktno učestvuje u fosforilaciji MLC što povećava aktivnost miozinske ATP-aze i doprinosi boljoj kontraktilnosti glatkih mišića (Amano i sar., 1996). Inhibicija Rho-kinaze pokazala je značajno smanjenje u fosforilaciji MLC-a i proizvodnji sile, što potvrđuje njenu važnu ulogu u skeletnim mišićima (Parizi i sar., 2000). Pored toga, značajnu ulogu ima i regulatorna podjedinica miozin fosfataze (*myosin phosphatase target 1* - MYPT1), ovaj enzim je odgovoran za defosforilaciju MLC-a. Tokom intenzivne fizičke aktivnosti, dolazi do fosforilacije MYPT1, što inhibira aktivnost miozin-fosfataze, posredno omogućavajući održavanje povišenog nivoa MLC fosforilacije i produžavanje efekata potencijacije (Stull i sar., 2011). Podaci iz eksperimentalnih studija dodatno potvrđuju da su visoko intenzivni protokoli, naročito oni koji uključuju ekscentrične i pliometrijske kontrakcije, povezani sa povećanjem fosforilacije MLC-a i u brzim i sporim mišićnim vlaknima, što direktno utiče na povećanje mišićne sile i eksplozivne snage (Lambley i sar., 2020). Ova otkrića potvrđuju važnost MLC fosforilacije kao biohemijškog markera efikasne neuromišićne stimulacije u okviru PAP protokola.

Dakle, pretpostavlja se da fosforilacija MLC-a predstavlja molekularnu osnovu PAP-a, koja se manifestuju kroz povećano generisanje sile, RFD-a i eksplozivnih sposobnosti (Tillin & Bishop, 2009). Trenažnim sredstvima koja ciljaju ovu fiziološku adaptaciju može značajno doprinijeti razvoju eksplozivne snage i sportskih performansi, naročito ako se pravilno manipuliše varijablama kao što su brzina kontrakcije, trajanje pauze i selekcija vježbi.

1.1.3. Povećana aktivacija velikih motornih jedinica

Nekoliko eksperimentalnih studija pokazalo je da izvođenje vježbi visokog intenziteta, posebno onih koje uključuju velike mišićne grupe i složene višezglobne pokrete, dovodi do povećanja sinaptičke ekscitacije motornih jedinica višeg reda. Ovaj fenomen podrazumijeva povećanu regrutaciju motornih jedinica sa višim pragom aktivacije, uglavnom tip II, što kao rezultat daje veću silu tokom narednih kontrakcija, kako u izometrijskim tako i u dinamičkim režimima rada (Stuart i sar., 1988). Pretpostavlja se da je ovaj efekat u velikoj mjeri posredovan porastom unutar ćelijske koncentracije Ca^{2+} , koji se oslobađa iz sarkoplazmatičnog retikuluma tokom intenzivne mišićne kontrakcije. Povećane količine Ca^{2+} ne samo da direktno utiče na proces ekscitacija-kontrakcija, već i na otpuštanje neurotransmitera na motornoj ploči, što omogućava bržu i efikasniju sinaptičku transmisiju (Enoka & Duchateau, 2008). Upravo zbog toga, porast Ca^{2+} može djelovati kao modulator sinaptičke efikasnosti, omogućavajući bržu depolarizaciju postsinaptičke membrane i lakšu regrutaciju dodatnih motornih jedinica (Del Vecchio i sar., 2019). Ova neurofiziološka aktivacija doprinosi pojačanju signala koji nervni sistem šalje mišićima, što predstavlja jedan od ključnih mehanizama u ispoljavanju efekata PAP-a. U tom kontekstu, H-refleks, koji predstavlja električno izazvani refleks sličan miotatičkom refleksu, koristi se kao indirektna mjera spinalne ekscitabilnosti (Güllich & Schmidtbleicher, 1996). Povećanje amplitude H-refleksa nakon snažne mišićne aktivacije tumači se kao pokazatelj povećane efikasnosti sinaptičkog prenosa, što reflektuje veći broj aktiviranih motornih jedinica i veću stopu ispaljivanja akcionih potencijala (Zehr, 2002).

Studija koju su sprovedi Seitz i saradnici (2014) analizirala je efekat čučnja sa velikim opterećenjem na regrutaciju i stopu aktivacije motornih jedinica kod mišića ekstenzora koljena. Rezultati su pokazali značajno povećanje aktivacije motornih jedinica višeg reda neposredno nakon izvođenja čučnja, kao i brzine njihove aktivacije tokom narednih kontrakcija. Ovo jasno ukazuje na ulogu složenih višezglobnih pokreta u neuromišićnoj aktivaciji kroz potencijacijske mehanizme. Slične nalaze potvrdila je i kasnija studija Seitz i saradnika (2016), koja je istraživala efekat vježbe mrtvog dizanja sa velikim opterećenjem na mišiće plantarnih fleksora. Ustanovljeno je da ovakva vrsta mišićne aktivacije dovodi do povećane regrutacije motornih jedinica višeg reda, kao i do akutnog povećanja brzine njihovog ispaljivanja, što se funkcionalno manifestovalo kroz povećanu

mišićnu silu. Ovi nalazi imaju jasnu primjenu u trenažnoj praksi, posebno u kontekstu postaktivacijskih strategija čiji je cilj kratkoročna optimizacija eksplozivnih performansi. Pored toga, brojni autori ističu da su pomenuti efekti izraženiji kod sportista sa razvijenom maksimalnom snagom i velikim procentom brzih mišićnih vlakana tip II, što implicira da je manifestacija PAP-a uslovljena individualnim neurofiziološkim profilom (Tillin & Bishop, 2009; Seitz & Haff, 2016). Stoga, efekti povećane sinaptičke ekscitacije i regrutacije velikih motornih jedinica imaju snažno uporište u dosadašnjim istraživanjima i predstavljaju jedan od osnovnih mehanizama koji stoji iza PAP fenomena.

1.1.4. Promjena ugla penacije

Promjena ugla penacije mišićnih vlakana predstavlja jedan od mehanizama koji potencijalno mogu doprinijeti pozitivnim efektima PAP-a. Ugao penacije definiše se kao ugao između smjera mišićnih vlakana i tetive, odnosno aponeuroze (Franchi i sar., 2017). Ovaj arhitektonski parametar mišića, odnosno manji ugao penacije, utiče na sposobnost mišića da poveća broj aktivnih mišićnih vlakana po poprečnom presjeku, što može povećati ukupnu silu koju mišić može generisati (Martin-Rodriguez i sar., 2024). Pretpostavka je da se nakon primjene vježbi potencijacije, poput maksimalnih voljnih izometrijskih kontrakcija, ugao penacije mišićnih vlakana smanjuje. Ovo smanjenje može imati mehaničku prednost pri transferu sile kroz tetivu na kost (Tillin & Bishop, 2009).

Jedno od istraživanja koje je proučavalo ovaj efekat sproveli su Mahlfeld i saradnici (2004), gdje su, koristeći ultrazvuk, mjerili ugao penacije mišića *m. vastus lateralis* u mirovanju, prije i nakon maksimalne voljne izometrijske kontrakcije u trajanju od 3 s. Rezultati su pokazali da se ugao penacije odmah nakon kontrakcije (15.7°) nije značajno promijenio u odnosu na vrijednost prije kontrakcije (16.2°). Međutim, 3 do 6 minuta nakon kontrakcije, isti ugao se značajno smanjio na 14.4° ($p < 0.05$). Iako bi ova promjena bila ekvivalentna samo 0.9% povećanja u prijenosu sile na tetivu, postoji mogućnost da ovaj efekat pozitivno doprinosi pojavi PAP-a. Ipak, povećanje sinhronizacije vezivnog tkiva i tetiva tokom PAP-a moglo bi smanjiti bilo kakvo povećanje u prijenosu sila (Tillin & Bishop, 2009).

Nadalje, istraživanja su pokazala da su manji penacijski uglovi fascikula u mirovanju pozitivno povezani sa povećanjem prenosa sile i bržim razvojem RFD-a. Ove korelacije su bile jače tokom dinamičkih mišićnih kontrakcija u poređenju sa izometrijskim kontrakcijama, naročito u ranoj fazi skraćivanja mišića, 0-75 ms (Van Hooren i sar., 2024). Arhitektura mišića i prenos sile, koji se odnose na brzine skraćivanja mišića bili su značajno viši tokom dinamičkih kontrakcija, čime je omogućeno efikasnije prenošenje sile i veće vrijednosti RFD-a. Ovaj odnos sugerise da dinamički režim rada omogućava veće promjene u dužini mišićno-tetivne jedinice što olakšava efikasniji prenos sile, posebno u zadacima koji zahtijevaju brže skraćivanje mišića (Mörl i sar., 2016). Nasuprot tome, tokom izometrijskih kontrakcija, gdje su promjene oblika mišića ograničene zbog fiksnih položaja zglobova, povezanost između penacijskog ugla i RFD-a bila je slabija. Ovi nalazi naglašavaju značaj svojstava mišićne arhitekture, posebno penacijskog ugla, prilikom brzog generisanja sile, pri čemu dinamičke kontrakcije pružaju povoljnije uslove za maksimizaciju RFD-a, što može imati uticaj na efekat PAP-a. Iako su ovi nalazi obećavajući, potrebno je dodatno istražiti kako promjene u uglu penacije mišićnih vlakana utiču na efikasnost PAP-a. Buduća istraživanja trebala bi se fokusirati na različite tipove mišića, varijacije u trenažnim protokolima i individualne karakteristike ispitanika kako bi se bolje razumio ovaj mehanizam.

1.2. Razlike između PAP i PAPE

Postaktivacijska potencijacija (PAP) i postaktivacijsko povećanje performansi (PAPE) predstavljaju dve povezane, ali različite fiziološke adaptacije koje nastaju kao odgovor na prethodnu kontrakciju visokog intenziteta (Prieske i sar., 2020). Iako oba fenomena uključuju kratkotrajno unapređenje neuromuskularne funkcije, one se razlikuju u vremenskoj dimenziji, osnovnim mehanizmima delovanja i kontekstu primjene, što ima direktne implikacije na oblast sportskog treninga i naučnih istraživanja.

Kao što je već prethodno objašnjeno PAP se definiše kao kratkotrajno poboljšanje sposobnosti mišića da razvije silu, indukovano prethodnim kontrakcijama visokog intenziteta, najčešće u formi tetaničnih podražaja. Ovaj fenomen je usko povezan sa fosforilacijom lakih lanaca miozinskih glava, što rezultuje većom osetljivošću aktinsko-miozinskih kompleksa na Ca^{2+} i omogućava brži razvoj sile (Grange i sar., 1993; Sale, 2002). Efekat PAP-a se najčešće manifestuje unutar prvih nekoliko minuta nakon stimulacije, obično 1-6 minuta, a potom brzo opada, što značajno ograničava njegov praktični potencijal (Hamada i sar., 2000). Pored toga, eksperimentalni protokoli PAP-a uglavnom podrazumijevaju laboratorijske uslove.

Nasuprot tome, koncept PAPE se odnosi na funkcionalno unapređenje sportskih performansi, poput skoka uvis, sprinta ili eksplozivnog izvođenja snage, koje se javlja nakon prethodnog opterećenja mišića velikim intenzitetom. Za razliku od PAP-a, PAPE efekti se razvijaju u širem vremenskom prozoru, najčešće između 7 i 20 minuta, i posledica su sinergijskog delovanja više faktora, uključujući povećanje mišićne temperature, unapređenje regrutacije motornih jedinica i pojačanu centralnu ekscitabilnost (Cuenca-Fernández i sar., 2017; Tillin & Bishop, 2009). Zbog toga se PAPE smatra praktično značajnijim u kontekstu realnih trenažnih i takmičarskih uslova, jer omogućava stabilniji i dugotrajniji transfer efekata prethodnog opterećenja na izvođenje. Takođe, razlikuju se i metodološki aspekti u ispitivanju ova dva fenomena, PAP se dominantno istražuje u strogo kontrolisanim laboratorijskim uslovima, koristeći statičke mišićne kontrakcije, dok se PAPE uglavnom procenjuje kroz dinamičke, sportu specifične zadatke, kao što su čučnjevi, skokovi ili sprintevi (Blazevich & Babault, 2019). Ova razlika u pristupu rezultira i različitim profilima ispitanika gdje studije o PAP-u često uključuju manje uzorke ispitanika i preciznu biomehaničku analizu, dok PAPE istraživanja obuhvataju širu sportsku populaciju i funkcionalne testove u stvarnim uslovima. Iako oba fenomena proističu iz identične stimulacije, kontrakcije visokog intenziteta, PAP i PAPE predstavljaju odvojene fiziološke entitete. Njihovo jasno razlikovanje je od ključne važnosti za pravilnu interpretaciju naučnih nalaza i za razvoj optimalnih trenažnih strategija koje imaju za cilj maksimizaciju akutnih performansi kod sportista. Međutim, u daljem tekstu ovog rada korišćen je termin PAP, kao dominantan i široko prihvaćen izraz u naučnoj i stručnoj literaturi. Zadržavanje termina PAP omogućava dosljednost u terminologiji i metodološkoj interpretaciji unutar okvira ovog istraživanja.

2. Faktori postaktivacijske potencijacije

Empirijski je potvrđeno da fenomen postaktivacijske potencijacije nema jednake efekte na različite pojedince, odnosno, postoje velike razlike u veličini ispoljavanja efekta PAP-a na koje utiču različiti faktori (Xenofondos i sar., 2010; Evetovich i sar., 2015). Prema analizi dosadašnjih istraživanja veličina efekta PAP-a najviše zavisi od balansa između zamora i potencijacije, odnosno od perifernih faktora koji se odnose na mišićni sistem i centralnih faktora koji se odnose na neuralnu (CNS) komponentu (Raisser & MacIntosh, 2000). Taj odnos zavisi od mnogo faktora: nivoa treniranosti, veličine spoljašnjeg opterećenja i pauze. Ranija istraživanja potvrdila su da kontrakcija mora biti maksimalnog ili submaksimalnog intenziteta (Rixon i sar., 2007). Međutim moguće je koristiti i srednja opterećenja za aktiviranje PAP-a (Wilson i sar., 2013). Broj faktora koji utiču na induciranje PAP-a nisu jasno definisani, osim faktora koje su Tilin i Bishop (2009) spomenuli kao najvažnije: uticaj jačine i snage, tip mišićnih vlakana, pol, veličina opterećenja, pauza, tip kontrakcije.

2.1. Uticaj jačine i snage na PAP

Jačina i sposobnost ispoljavanja mišićne snage predstavljaju ključne determinante PAP-a, s obzirom na njihov direktan uticaj na neuromišićne mehanizme koji leže u osnovi ovog fenomena. Prema istraživanjima, visoki nivoi maksimalne jačine i eksplozivne snage povezani su sa izraženijim efektima PAP-a, kako u pogledu varijabli mišićne sile, tako i u pogledu kinematičkih performansi, naročito kod kompleksnih višezglobnih pokreta kao što je vertikalni skok (Seitz i sar., 2014).

Sportisti sa izraženijom maksimalnom mišićnom jačinom pokazuju veću efikasnost u aktivaciji velikih motornih jedinica, što je od posebnog značaja za manifestaciju PAP-a. Nalazi istraživanja Hamada i saradnika (2000) ukazali su da su ispitanici sa većom sposobnošću generisanja sile bilježili značajno veći porast u visini vertikalnog skoka nakon potencijacijskog protokola, u poređenju sa slabijim ispitanicima. Slični nalazi potvrđeni su i u kasnijim istraživanjima, u kojima se dosljedno izvještava da osobe sa većim apsolutnim i relativnim vrijednostima sile ostvaruju izraženije PAP efekte (Gourgoulis i sar., 2003; Chiu i sar., 2003; Xenofondos i sar., 2010; Seitz i sar., 2016). Konkretno, Ruben i saradnici (2010) utvrdili su da su pojedinci koji su mogli da izvedu čučanj sa spoljašnjim opterećenjem jednakim dvostrukoј vrijednosti sopstvene tjelesne mase imali značajno veće efekte PAP-a, u poređenju sa onima čija je relativna jačina bila niža. Takva superiornost u odgovoru na PAP intervenciju može se djelimično objasniti efikasnijom regrutacijom brzih mišićnih vlakana tip II, kao i višim stepenom intramuskularne koordinacije koji je razvijen kod snažnijih pojedinaca.

Takođe, u meta-analizi koju su sproveli Seitz i saradnici (2016), pokazano je da sportisti sa višim nivoima jačine i iskustvom rada sa spoljnim opterećenjem većim od 2 godine manifestuju izraženije PAP efekte u odnosu na manje utrenirane ispitanike. Ovi nalazi su dodatno potvrđeni u meta-analizi Wilson i saradnika (2013), u kojoj je utvrđeno da sportisti bilježe veće PAP efekte u odnosu na neutrenirane osobe, što dodatno implicira značaj jačine kao fundamentalnog faktora u optimizaciji PAP odgovora. S tim u vezi, Suchomel i saradnici (2016) su takođe potvrdili ovu tezu, navodeći da su profesionalni sportisti pokazali najizraženije efekte PAP-a. u poređenju sa sportistima srednjeg ranga i amaterima. Uz to, Kilduff i saradnici (2007) naglašavaju da razvoj maksimalne sile pozitivno utiče na sposobnost efikasne aktivacije centralnog nervnog sistema tokom protokola PAP-a, čime se omogućava viši stepen ekscitabilnosti motorne kore i efektivnija sinhronizacija motornih jedinica. Ovi neurofiziološki mehanizmi značajno doprinose poboljšanoј kontraktilnoj funkciji nakon primjene prethodnog opterećenja, što se manifestuje kroz poboljšane performanse eksplozivnih pokreta.

Uzimajući sve navedeno u obzir, može se zaključiti da jačina i snaga predstavljaju ključne modulatore odgovora na PAP protokole. Njihovo prisustvo u optimalnim vrijednostima omogućava ne samo veći transfer akumulirane kontraktilne energije, već i efikasniju reaktivaciju mehanizama koji podupiru akutna poboljšanja performansi (Seitz i sar., 2016). Stoga, u kontekstu trenažnih intervencija koje imaju za cilj da iskoriste PAP efekat, razvoj i održavanje visoke mišićne jačine mora biti jedan od prioriteta, posebno kod sportista čiji se sportski uspjeh oslanja na eksplozivna motorička svojstva.

2.2. Uticaj tipa mišićnih vlakana na PAP

Brzokontrahujuća vlakna tip II dovode do znatno većeg PAP efekta u poređenju sa sporim vlaknima tip I (Vandervoort & McComas, 1983). Na primer, Hamada i saradnici (2000) utvrdili su snažnu vezu između brzine trzaja mišića i veličine PAP efekta, što je vrijeme do vršne sile trzaja bilo kraće, tipično za tip II vlakna, to je PAP bio veći. Ista studija je pokazala da su ispitanici sa najvećim PAP efektom imali u prosjeku oko 72% brzih mišićnih vlakana u *m. vastus lateralis*, dok su oni sa manjim efektom imali oko 39%. Slični rezultati potvrđeni su i u istraživanjima, gdje su podijelili ispitanike u grupe prema mišićnoj tipologiji: jedna grupa imala je više od 70% brzih vlakana, a druga više od 60% sporih vlakana u *m. vastus lateralis*. Nakon maksimalne voljne kontrakcije od 5 sekundi, grupa sa većim procentom brzih mišićnih vlakana ostvarila je povećanje trzajne sile od oko 126%, dok je kod grupe sa sporim vlaknima povećanje iznosilo svega 38% (Hamada i sar., 2003). Ovaj drastičan kontrast potvrđuje da brza mišićna vlakna imaju daleko veći potencijal za PAP u odnosu na spora vlakna.

Empirijski primjeri ovih razlika uočeni su i na nivou različitih mišića, poput *m. gastrocnemius*, mišića sa pretežno brzim vlaknima, koji pokazuje veće povećanje trzajne sile poslije tetanusa nego mišići sa dominantno sporim vlaknima, na primjer *m. soleus* (Vandervoort & McComas, 1983). Takođe, *m. tibialis anterior*, mišić koji sadrži veći procenat brzih vlakana ima izraženiji PAP u odnosu na plantarne fleksore, gdje dominira *m. soleus*, sporija vlakna (Grange i sar., 1993). Sve ove studije konzistentno ističu mišićnu tipologiju kao jedan od važnijih faktora koji određuju koliki će PAP efekat biti ispoljen (Hamada i sar., 2000; Blazevich & Babault, 2019). Mehanizam koji stoji iza ove pojave vezan je za razlike na nivou miofibrilarnih proteina između vlakana tip I i II. Brza mišićna vlakna sadrže izoforme miozina i regulatorne proteine koji su efikasniji za fosforilaciju tokom snažnijih kontrakcija, što dovodi do većeg porasta osjetljivosti na Ca^{2+} i snažnijeg vezivanja poprečnih mostova (Baudry & Duchateau, 2007; Blazevich & Babault, 2019). Tip II mišićnih vlakna tako ostvaruju veći skok u generisanju sile nakon potencijacije. Nasuprot tome, sporokontrahujuća vlakna tip I imaju sporije kinetičke karakteristike i manju sklonost ka fosforilaciji miozinskih lanaca, zbog čega je i njihova postaktivaciona dobit u sili znatno skromnija (Grange i sar., 1993; Hamada i sar., 2000).

2.3. Uticaj pola na PAP

Sve je više dokaza koji ukazuju na to da pol može predstavljati važan modulirajući faktor u ispoljavanju fenomena PAP-a. Razlike između muškaraca i žena u pogledu mišićne mase, tipa mišićnih vlakana, hormonskog statusa i nervne aktivacije, značajno utiču na intenzitet i trajanje PAP efekta (Tillin & Bishop, 2009). Jedna od ključnih fizioloških razlika koja doprinosi varijabilnosti PAP efekta među polovima jeste razlika u ukupnoj mišićnoj masi. Muškarci u prosjeku posjeduju veći mišićni volumen, što omogućava generisanje većih apsolutnih sila tokom kontrakcija visokog intenziteta (Hamada i sar., 2000). Pored toga, muškarci posjeduju veću zastupljenost brzih mišićnih vlakana tipa II, koja su najviše odgovorna za brzu i snažnu kontrakciju, što direktno doprinosi većem potencijalu za manifestaciju PAP-a (Tillin & Bishop, 2009). Nasuprot tome, žene generalno imaju manji udio brzih vlakana, kao i manju ukupnu mišićnu masu, što može ograničiti maksimalnu silu i

brzinu prirasta sile koje su ključne za efikasnost PAP-a (Cuenca-Fernández i sar., 2017). Ove razlike dovode do zaključka da žene, iako sposobne da manifestuju PAP efekat, to čine u manjoj mjeri i uz potrebu za prilagođenim protokolima koji uzimaju u obzir njihovu individualnu fiziološku strukturu.

Hormonalni status ima ulogu u regulaciji mišićne mase, sinteze proteina i regeneracije nakon napora. Testosteron, dominantni anabolički hormon kod muškaraca, ima direktan efekat na hipertrofiju mišićnih vlakana, a samim tim i na sposobnost regrutacije motornih jedinica (Ahtiainen i sar., 2005). Ova hormonalna prednost omogućava muškarcima bržu adaptaciju na visoko intenzivne kontrakcije i bržu regeneraciju, što pozitivno utiče na kvalitet i trajanje PAP efekta (Tillin & Bishop, 2009). Kod žena, niži nivoi testosterona, kao i ciklične promjene u hormonskom statusu usled menstrualnog ciklusa, mogu uticati na fluktuaciju snage, umora i sposobnosti regeneracije, što dodatno komplikuje određivanje optimalnog trenutka za ispoljavanje PAP-a (Romero-Moraleda i sar., 2019). Ipak, postoje dokazi da žene u fazi folikularne dominacije, kada su estrogeni na višem nivou, mogu pokazati poboljšanu neuromišićnu funkciju, što potencijalno može povećati osetljivost na PAP u toj fazi ciklusa (Sung i sar., 2014).

Takođe, neuralni faktori mogu da igraju ulogu u manifestaciji PAP-a, budući da efikasna regrutacija brzih motornih jedinica i njihova sinhronizacija određuju sposobnost za eksplozivno generisanje sile (Rassier & Macintosh, 2000). Studije pokazuju da muškarci posjeduju veću sposobnost aktivacije velikih motornih jedinica, što rezultuje izraženijom postaktivacionom facilitacijom, odnosno povećanjem snage kao direktnog neuralnog odgovora na prethodni potencijalski podražaj (Seitz i sar., 2014). Žene, sa druge strane, pokazuju niži stepen aktivacije brzih motornih jedinica, kao i manju efikasnost u korišćenju istih tokom eksplozivnih zadataka. Ove razlike doprinose slabijoj manifestaciji PAP efekta, iako individualne varijacije mogu značajno modifikovati ove nalaze (Cuenca-Fernández i sar., 2017). Dalje, vrijeme koje je potrebno za manifestaciju maksimalnog PAP efekta nakon aktivnosti potencijacije takođe varira između polova. Muškarci najčešće ostvaruju optimalan balans između umora i facilitacije u periodu od 4 do 8 minuta nakon kontrakcije visokog intenziteta (Seitz i sar., 2014). Kod žena je, međutim, ovaj vremenski okvir pomjeren, pa se optimalni efekat PAP-a često javlja tek nakon 6 do 12 minuta, što implicira produženo vrijeme oporavka što je rezultat sporije eliminacije umora ili manje izraženog efekta potencijacije (Wilson i sar., 2013). Zbog toga je neophodno individualno prilagođavanje PAP protokola kod žena, uključujući izbor odgovarajućih opterećenja, dužinu kontrakcije i dužina pauze, kako bi se postigao željeni pozitivan efekat.

2.4. Uticaj trajanja mišićne kontrakcije na PAP

Trajanje kontrakcije tokom potencijacije može značajno uticati na sposobnost mišića da generiše snagu i eksplozivnost kao i na efikasnost regrutacije motornih jedinica (Tillin & Bishop, 2009). Istraživanje je pokazalo da kraće ili duže trajanje može smanjiti efekte PAP-a, jer ne omogućava dovoljno vremena za aktivaciju neuromišićnog sistema, niti dovodi do optimalnog umora mišića (Haff i sar., 2015). Duže trajanje kontrakcije može povećati nivo fosforilacije lakih lanaca miozina, što je ključno za povećanje osjetljivosti miofilamenata na Ca^{2+} . Ova promjena može doprinijeti većoj sili tokom kasnijih kontrakcija (Maffiuletti i sar., 2016). Pored toga, duže trajanje ekscentričnih kontrakcija može imati dugotrajnije efekte na PAP, u odnosu na kraće trajanje izometrijskih i koncentričnih kontrakcija (Beato i sar., 2019).

Kod izometrijskih kontrakcija, utvrđeno je da maksimalna potencijacija nastupa nakon 5-10 s maksimalne voljne kontrakcije (MVC), dok prekratke < 3 s ili preduge kontrakcije > 30 s smanjuju PAP zbog neadekvatne stimulacije ili prekomjernog zamora (Vandervoort & McComas, 1983). Izometrijske MVC kontrakcije od 6 s izazivaju porast trzajne sile za oko 150-180%, a efekti traju do 10 minuta (Baudry & Duchateau, 2004). Kod koncentričnih kontrakcija, trajanje PAP stimulusa često

se određuje kroz broj ponavljanja i tempo izvođenja. Serije od 1-5 ponavljanja sa umjerenim do submaksimalnim intenzitetom, 60-84% od 1RM-a, te ukupnim trajanjem 5-10 s, najefikasnije indukuju PAP (Wilson i sar., 2013). Prekratke potencijacije, na primjer 1 ponavljanje, mogu biti nedovoljne za potpuni efekt, dok duže serije uzrokuju zamor i smanjuju potencijaciju (Esformes i sar., 2011). Ekscentrične kontrakcije mogu proizvesti snažan PAP efekat zbog visokog nivoa tenzije, ali i veći rizik od zamora i oštećenja mišića. Jedna ekscentrična kontrakcija od 6 s pokazala je sličnu efikasnost kao i koncentrična i izometrijska istog trajanja ali se duže trajanje ne preporučuje zbog većeg metaboličkog stresa (Baudry & Duchateau, 2004). U pogledu populacije, elitni sportisti sa većom efikasnošću neuromišićne aktivacije ispoljavaju snažniji PAP i mogu imati koristi i od kraćih kontrakcija (Hamada i sar., 2000; Tillin & Bishop, 2009). Nasuprot tome, rekreativci zahtjevaju duže trajanje stimulusa za ispoljavanje PAP-a, ali su skloniji zamoru, pa je efekat često neutralan ili negativan (Wilson i sar., 2013).

2.5. Uticaj intenziteta opterećenja na PAP

Intenzitet spoljašnjeg opterećenja kao varijabla u potencijacijskim protokolima predstavlja jedan od najvažnijih faktora u ispoljavanju PAP-a. Brojna istraživanja potvrđuju da različiti nivoi opterećenja izazivaju različite odgovore u pogledu kratkoročnog poboljšanja eksplozivnih performansi, pri čemu su rezultati u literaturi djelimično kontradiktorni, ali pružaju značajne uvide u primjenu PAP-a u trenažnom procesu (Pajerska i sar., 2020).

Teorijski okvir PAP efekta pretpostavlja da savladavanje prethodnog opterećenja može da dovede do povećanja mišićne performanse u sledećoj kontrakciji, naročito u pogledu gradijenta sile, koji je direktno povezan sa brzinom njenog priraštaja (Wilson i sar., 2013). Jedna od najobimnijih meta-analiza na ovu temu pokazala je da srednje opterećenje, odnosno intenzitet od 60-84% od 1RM-a, dovodi do značajno boljeg PAP odgovora nego veoma visoki intenziteti > 85% od 1RM-a, koji su proizveli znatno manji efekat, bez obzira na nivo treniranosti ispitanika (Wilson i sar., 2013). Ove nalaze dodatno potvrđuju Dello i Seitz, (2018) kao i Tseng i saradnici (2021), koji takođe navode da je srednji intenzitet opterećenja optimalan za postizanje PAP odgovora. S druge strane, istraživanje Seitz i i saradnika (2016) pokazuje da submaksimalna opterećenja, 80-90% od 1RM-a, generišu veći efekat u odnosu na umjerena opterećenja. Zanimljiv je nalaz istog istraživanja gdje je najveći efekat, ostvaren korišćenjem pliometrijskih protokola potencijacije, što implicira da eksplozivne vježbe bez spoljašnjeg opterećenja takođe mogu imati vrlo snažan PAP efekat. Nadalje, neke studije dodatno diferenciraju efikasnost različitih intenziteta opterećenja. Istraživanja pokazuju da submaksimalna 90% i umjerena 60% od 1RM-a opterećenja pri izvođenju vježbe kao što je čučanj mogu pozitivno uticati na visinu CMJ-a, što potvrđuje i studija (Bauer i sar., 2019). Pored navedenih nalaza, istraživanje Beato i saradnika (2019) jasno pokazuje da izometrijske i ekscentrične kontrakcije izvedene na submaksimalnim intenzitetima 80-90% od 1RM-a rezultuju većim poboljšanjima u performansama u poređenju sa kontrakcijama na nižim intenzitetima. U skladu s tim, Prieske i saradnici (2018) ističu da je upravo opterećenje koje odgovara 85-90% od 1RM-a najefikasnije u poboljšanju snage u naknadnim pliometrijskim skokovima. Sličan nalaz zabilježili su i Wilson i saradnici (2013), koji navode da umjerena opterećenja 60-70% od 1RM-a takođe uspješno indukuju PAP u kontekstu sprinterskih performansi.

Zanimljivo je i da određena istraživanja ističu pozitivan efekat i nižih intenziteta. Studije (Bridgeman i sar., 2017; Godwin i sar., 2021) ukazuju na to da i manja opterećenja mogu izazvati PAP efekat, što može biti posebno relevantno u radu sa mlađim, manje treniranim sportistima, ili kada su energetske zahtjevi sporta ograničeni. Ipak, ovakvi protokoli često zahtjevaju precizno programiranje dužine pauze kako bi potencijacija nadvladala zamor. Studija Sharma i saradnika (2018) direktno je uporedila pliometrijski protokol, gdje se potencijacija vršila sa 40 brzih skokova i čučnjevima sa 90% od 1RM-a, kod fudbalera, te pokazala da je pliometrijski stimulus doveo do boljeg PAP odgovora u pogledu visine skoka i sprinta, posebno kada se mjerenje vršilo 10 minuta nakon

potencijacije. S tim u vezi, velika opterećenja ne proizvode uvijek jednak benefit, što implicira da je kod nekih pojedinaca potencijacija pliometrijskom kontrakcijom efikasniji metod stimulacije PAP-a. Takođe, istraživanja pokazuju da treniranost ispitanika igra ključnu ulogu u efektivnosti PAP protokola sa submaksimalnim opterećenjem. Chiu i saradnici (2003) su pokazali da je potencijacija visokim intenzitetom, 5 serija sa 1 ponavljanjem sa 90% od 1RM-a, značajno poboljšala visinu skoka kod iskusnih sportista, dok isti protokol nije imao efekat kod rekreativaca, što sugerise da su trenirani pojedinci u većoj mjeri sposobni da iskoriste mehanizme PAP-a nakon submaksimalnog opterećenja.

Dakle, intenzitet opterećenja tokom potencijacije je jedna od ključnih varijabli u manifestaciji PAP efekta. Umjerena do submaksimalna opterećenja 70-85% od 1RM-a pokazuju najstabilniji i najizraženiji efekat, dok maksimalna opterećenja mogu biti efikasna samo u specifičnim uslovima i kod visoko treniranih pojedinaca. Pliometrijski stimulusi često daju visok efekt PAP-a i mogu biti praktična zamjena za opterećenja kada je potrebno smanjiti zamor. U praksi, selekcija optimalnog intenziteta treba da bude individualizovana, uzimajući u obzir nivo treniranosti, vrstu sporta, cilj performanse i dostupno vrijeme za ispoljavanje PAP efekta

2.6. Uticaj pauze na PAP

Pauza između vježbe potencijacijskog podražaja i pretvarajuće vježbe predstavlja jedan od važnih faktora koji značajno utiče na efekat PAP (Chen i sar., 2023). Optimalno trajanje pauze između ovih aktivnosti predmet je brojnih istraživanja zbog svoje važnosti za praktičnu primjenu u sportskom treningu. Dosadašnja istraživanja pokazala su značajne varijacije u preporukama za optimalnu dužinu pauze. Tako, prema rezultatima (Bauer i sar., 2019; Beato i sar., 2019; Beato i sar., 2021a), najveći efekti na visinu skoka nakon primjene vježbi potencijacije pojavljuju se između 3 i 9 minuta. Nadalje, istraživanja poput onih koje su sproveli (Seitz i sar., 2014; Bridgeman i sar., 2017) ukazuju na to da je visina CMJ-a statistički značajno veća kada su pauze bile 2 i 6 minuta u odnosu na duže pauze od 12 minuta. Specifično, Seitz i saradnici (2016) preporučuju interval odmora od 5 do 7 minuta, dok Wilson i saradnici (2013) predlažu nešto dužu pauzu od 7 do 10 minuta. Takođe, Gouvêa i saradnici (2013) sugerisu optimalan interval od 8 do 12 minuta za maksimiziranje efekta PAP-a. Međutim, zanimljivo je primijetiti rezultate novijeg istraživanja koje su sproveli Tseng i saradnici (2021), koji upućuju na to da efekti PAP-a nisu samo kratkotrajni, nego mogu trajati čak i do 48 sati nakon primjene vježbe potencijacije, što ukazuje na kompleksnost fenomena PAP-a i važnost daljih istraživanja u ovom području. U svojoj meta-analizi Dobbs i saradnici (2019) zaključuju da pauza između potencijacije i glavne aktivnosti ne bi trebalo da bude kraća od 3 minute, jer upravo taj interval omogućava dovoljan oporavak neuromišićnog sistema i time osigurava optimalnu manifestaciju PAP-a. U tom smislu, vremenski interval pauze je direktno povezan s procesima oporavka fosfagenskog energetskog sistema, obnavljanjem ekscitabilnosti mišićne membrane i omogućavanjem dovoljnog odmora za maksimalno iskorištavanje efekata PAP-a (Vandervoort & McComas, 1983; Sale, 2002).

Pored trajanja pauze, vrsta primijenjene vježbe potencijacije ima značajan uticaj na optimalnu dužinu pauze. Pliometrijske vježbe zahtijevaju kraće pauze 3-5 minuta za maksimalizaciju efekta PAP-a, dok potencijacija s naglaskom na jačinu i snagu mogu imati koristi od nešto dužih pauza 7-10 minuta (Arias i sar., 2016). Razlog za ove razlike vjerovatno leži u specifičnosti zamora koji izazivaju pojedine vrste vježbi, na primjer pliometrijske vježbe izazivaju manji nivo umora i brži oporavak u poređenju sa tradicionalnim vježbama snage. Važan faktor koji dodatno određuje idealno trajanje pauze jeste trenažni status pojedinca. Dobro utrenirani sportisti imaju brži oporavak i optimalnu manifestaciju PAP efekata pri nešto kraćim pauzama, koje se kreću u rasponu od 4 do 8 minuta. S druge strane, rekreativci ili manje trenirani pojedinci bolje reaguju kada se primjenjuju duže pauze 8-12 minuta, što je posljedica sporijeg oporavka neuromišićnog sistema kod slabije utreniranih osoba (Kilduff i sar., 2008; Li i sar., 2024). Takođe, oblik mišićne kontrakcije korišćen u potencijacijskoj vježbi ima značajan uticaj na optimalnu dužinu pauze. Potencijacija ekscentričnim

kontrakcijama ostvaruje najbolji efekat PAP-a nakon 8 minuta pauze, dok koncentrične kontrakcije pokazuju vrhunac PAP efekta već nakon 4 minute pauze (Nibali i sar., 2015). Razlike u vremenu potrebnom za optimalnu manifestaciju PAP-a između ovih tipova kontrakcija mogu biti rezultat različitih oblika neuromišićnog zamora, kao i različitih obrazaca regrutacije motornih jedinica.

2.7. Uticaj tipa mišićne kontrakcije na PAP

Do sada je ustanovljeno da se efekat PAP-a može ostvariti putem voljnih mišićnih kontrakcija (VMK), kao i putem elektrostimulacije mišića (EMS) (Binder-Macleod i sar., 2002). Ipak, rezultati istraživanja Requena i saradnika (2008) ističu veći uticaj VMK u poređenju sa EMS na pojavu PAP efekta. Razlog tome može biti što VMK omogućavaju veću sinhronizaciju motornih jedinica i intenzivniju neuro-mišićnu aktivaciju (Tillin & Bishop, 2009). S tim u vezi, brojna istraživanja su pokazala da različiti tipovi mišićnih kontrakcija, izometrijska, koncentrična i ekscentrična, imaju pozitivan uticaj na neuro-mišićne performanse, uključujući i efekat PAP-a (Vargas-Molina i sar., 2021). Većina dostupnih istraživanja fokusirana je na dinamičke mišićne režime rada, prvenstveno koncentrične i ekscentrične kontrakcije, pri čemu su evidentirani pozitivni efekti u vidu povećanja snage i eksplozivnosti kod osoba različitih nivoa treniranosti (Suchomel i sar., 2016). Ipak, značajan broj radova potvrđuje i efikasnost izometrijskih kontrakcija u izazivanju PAP efekta (Esformes i sar., 2011; Tsolakis i sar., 2011; Xenofondos i sar., 2023; Koźlenia & Domaradzki, 2024; Eon i sar., 2024). Nalazi studija Bogdanis i saradnika (2014) kao i Kannas i saradnika (2024) ukazuju da brze ekscentrične kontrakcije, pravilno dozirane i sa odgovarajućim periodom oporavka, mogu biti efikasan metod stimulacije neuromišićnog sistema u funkciji poboljšanja eksplozivnih performansi. Izometrijski režim rada se naročito pokazao efikasnim kod pojedinaca sa visokim sposobnostima generisanja sile, gdje snažna i kratkotrajna izometrijska kontrakcija dovodi do povećane neuromišićne ekscitabilnosti (Arabatzis i sar., 2014). Prema istraživanju, Latorre-Román i saradnika (2018), različiti intenziteti izometrijskih kontrakcija dovode do poboljšanja performansi kod sprinteva i skokova, pri čemu je trajanje kontrakcije i interval odmora između kontrakcije i testiranja ključan faktor koji određuje veličinu efekta. Kod poređenja efekata dinamičkih i izometrijskih režima rada na manifestaciju PAP-a, Harat i saradnici (2020) ističu da dinamičke kontrakcije imaju veće pozitivne efekte na iskusnije sportiste, vjerovatno zbog bolje adaptacije na specifične neuromišićne obrasce i bolju koordinaciju motornih jedinica pri izvođenju kompleksnih pokreta. U prilog tome ide i tvrdnja Suchomela i saradnika (2016), koji su dokazali veću efikasnost balističkih pokreta, kao što su eksplozivne koncentrične kontrakcije, u poređenju sa nebalističkim oblicima predaktivacije. Suprotno ovim nalazima, istraživanja poput onog koje su sproveli Bogdanis i saradnici (2014) ističu da izometrijske kontrakcije mogu imati čak veći efekat u poređenju sa koncentričnim ili ekscentričnim. Ovaj nalaz može biti posljedica veće voljne aktivacije i specifičnosti neuromišićnog odgovora pri statičkom radu mišića.

Takođe, značajan pozitivan uticaj na PAP registrovan je i kod pliometrijskih aktivnosti, koje kroz naglašenu ekscentrično-koncentričnu komponentu i ciklus izduženje-skraćenje (SSC) dodatno podstiču neuromišićnu aktivaciju (Seitz & Haff, 2016; Sharma i sar., 2018). Ipak, rezultati istraživanja koje su sproveli Vargas-Molina i saradnici (2021) pokazuju kako nema statistički značajnih razlika između protokola koji podrazumijevaju 2 serije od 3 ponavljanja dinamičkog čučnja sa opterećenjem od 75% od 1RM-a i 2 serije od po 4 s izometrijskog čučnja pod istim opterećenjem i uglom od 90° u zglobo koljena. Ovaj rezultat sugerise da se slični efekti PAP-a mogu ostvariti i izometrijskim i dinamičkim režimima rada, što otvara dodatna pitanja u vezi optimalnih protokola potencijacije. Međutim, još uvijek postoje nejasnoće oko preciznog uticaja pojedinačnih varijabli, poput optimalne brzine, trajanja i intenziteta kontrakcije, kao i specifičnosti pokreta u odnosu na ciljne sportske aktivnosti, koje značajno određuju veličinu i trajanje PAP efekta (Stastny i sar., 2024).

3. Neuromišićne osnove ekscentrične kontrakcije

Ekscentrična mišićna kontrakcija nastaje kada mišić generiše manju mišićnu silu u odnosu na spoljašnje opterećenje što za rezultat ima udaljavanje mišićnih pripoja (Perić & Petrović, 2015). Posljednjih godina ekscentrični trening pa samim tim i ekscentrična mišićna kontrakcija postaju sve veći predmet naučnih istraživanja zbog svoje primjene u razvoju jačine, snage, hipertrofije i rehabilitaciji povreda. Studije su pokazale da ekscentrični trening može da izazove specifične adaptacije koje nisu uvijek prisutne u koncentričnom ili izometrijskom režimu rada mišića (Douglas i sar., 2017).

3.1. Neurofiziološki aspekti ekscentrične kontrakcije

Dosadašnjim nalazima se došlo do indicija da fiziološki faktori igraju ključnu ulogu pri generisanju velike sile tokom ekscentrične mišićne kontrakcije. Konkretno se misli na arhitekturu, odnosno, strukturu i rad sarkomere, funkcionalne jedinice mišićnih vlakana. Preciznije, teorija klizanja filamenata, koja je objašnjena kao generalni model mišićne kontrakcije a odnosi se na interakciju između poprečnih mostića aktina i miozina. Međutim ova teorija ne uspijeva da do kraja objasni specifične karakteristike ekscentričnih mišićnih kontrakcija (Hessel i sar., 2017). Ovo se odnosi na fenomene kao što su, rezidualni razvoj sile tokom aktivnog istezanja, bolja energetska efikasnost u toku ekscentričnih kontrakcija, kao i povećan nivo generisane sile u poređenju sa koncentričnim ili izometrijskim kontrakcijama (Herzog, 2014). Skeletni mišići imaju mogućnost generisanja veće relativne sile tokom ekscentrične mišićne kontrakcije u odnosu na koncentričnu i izometrijsku kontrakciju i to čak za 50% (Westing i sar., 1988; Hollander i sar., 2007; Zatsiorsky, 2008; Schoenfeld i sar., 2017). Ove karakteristike ukazuju na složenost mehanizama koji se odvijaju tokom ekscentričnih kontrakcija. Istraživanjima se došlo do saznanja da tokom ekscentričnih kontrakcija sa prethodno pomenutim filamentima aktivira se i treći strukturalni protein titin, koji je ključan za stabilizaciju sarkomere i regulaciju pasivne sile (Qian i sar., 2023). Studije koje su istraživale fiziološke mehanizme mišićnih kontrakcija u *in vivo* uslovima podržale su ovu teoriju (Wisdom i sar., 2015). Nakon što je titin bio uklonjen iz jedne grupe mišića kod zečeva, taj mišić nije pokazao stepen aktivnog istezanja. Osim što ima svoj zaštitni mehanizam smatra se da ovaj protein ima efekat pri povećanom generisanju sile u mišiću tokom ekscentrične kontrakcije (Hessel i sar., 2017). Pretpostavlja se da tokom ekscentričnih kontrakcija dolazi i do aktivacije Goldžijevog tetivnog organa kao zaštitnog neurološkog mehanizama. Ovaj neurotendinozni receptor ima ulogu u inhibiciji prekomjerne tenzije, čime štiti mišićno-tetivni sistem od potencijalnih povreda (Proske & Gandevia, 2012). Istovremeno, postoje indicije da ekscentrično opterećenje može selektivnije angažovati brza mišićna vlakna tip II, iako ova pretpostavka još uvek predstavlja predmet naučnih diskusija (Franchi i sar., 2017). Takođe, na nivou CNS-a, zabilježena je veća kortikalna ekscitabilnost u toku ekscentričnih pokreta, uprkos nižoj frekvenciji aktivacije motoričkih jedinica (Duchateau & Baudry, 2014). Dalje, primjenom ekscentričnog mišićnog naprezanja moguće je izazvati povećanje dužine sarkomere (Toigo & Boutellier, 2006). Veća dužina sarkomere omogućava više slobodnog mjesta za vezivanje aktina i miozina što dalje može da utiče na povećanje amplitude pokreta (McMahon i sar., 2014).

3.2. Biomehanički aspekti ekscentrične kontrakcije

Studije su pokazale da ekscentrične mišićne kontrakcije izazivaju značajno veću aktivaciju velikih motornih jedinica i brzih mišićnih vlakana tipa II, što može doprinijeti povećanju maksimalne sile i snage (Schoenfeld, 2010; Wagle i sar., 2017; Wallace i sar., 2018). S obzirom da u mišiću postoji veliki broj motornih jedinica do sada je poznato da apsolutna mišićna sila zavisi od broja, frekvencije i sinhronizacije angažovanih motornih jedinica (Jarić, 1997). Adaptacija mišića je proporcionalna mehaničkom radu te je primijećen veći odgovor na trening u kome se koristila samo ekscentrična kontrakcija, posebno kada su u pitanju parametri snage (Vikne i sar., 2006). Biomehanički, ponovljeni

ekscentrični trening dovodi do adaptacija poput povećanja čvrstoće sarkomera, pojačanog vezivnog matriksa i povećane krutosti tetive, što sve doprinosi većoj otpornosti mišića na mehanički stres (Hyldahl & Hubal, 2014).

S obzirom na činjenicu da aktivna i pasivna komponenta mišićne sile djeluju u smjeru skraćivanja, a viskozna komponenta suprotno od smjera promjene dužine mišićnih vlakana zaključilo se da je mišićna sila daleko veća pri ekscentričnoj nego pri koncentričnoj mišićnoj kontrakciji (Jarić, 1997). Nadalje, ovaj tip mišićne kontrakcije omogućava brže generisanje sile u jedinici vremena, odnosno RFD-a, što je veoma važno u sportovima koji zahtijevaju eksplozivne pokrete. Takođe, ekscentrični trening povećava sposobnost mišića da apsorbira silu prilikom kontakta sa podlogom, što je dalje važno za prevenciju povreda, naročito, u sportovima gdje se razvijaju velike sile reakcije podloge u samom kontaktu sa njom (Guilhem i sar., 2016). Rezultat ovih efekata su neuromišićne adaptacije izazvane ekscentričnim mišićnim kontrakcijama koje izazivaju povećan nivo aktivacije motornih jedinica, povećavajući fascikularnu dužinu mišića, kao i promjene u CNS-u koje utiču na efikasniju muskularnu i intermuskularnu koordinaciju (Franchi i sar., 2017). Ovaj fenomen može se jasno sagledati i na klasičnoj krivoj odnosa sila-brzina, gdje koncentrične mišićne kontrakcije karakteriše inverzna zavisnost, što znači da povećanje brzine skraćivanja mišića rezultira smanjenjem ostvarene sile. Nasuprot tome, tokom ekscentričnih kontrakcija sila ostaje relativno stabilna ili čak pokazuje tendenciju blagog porasta pri povećanju brzine izduženja mišića. Ovo su donekle potvrdili Hortobágyi i Katch (1990) u svojoj studiji, da, pri identičnim ugaonim brzinama, ekscentrične kontrakcije proizvode značajno veći obrtni moment u odnosu na koncentrične kontrakcije.

Ovaj tip mišićne kontrakcije je energetski ekonomičniji u poređenju sa koncentričnom i izometrijskom kontrakcijom, jer zahtijeva čak i do 4 puta manje metabolitičkog rada, ali proizvodi veću mehaničku silu (Seger & Thorstensson, 2005; Franchi i sar., 2017; Douglas i sar., 2017). Ovo može biti rezultat smanjene nervne aktivacije, pri maksimalnoj ekscentričnoj kontrakciji, što pokazuju i niže EMG amplitude. Dalje, manje je frekventno klizanje filamentskih mostova i manja brzina hemijskih reakcija, pa se ATP troši sporije, a i dio mehaničke energije se vraća kroz elastične komponente umjesto da se gubi kao toplota (Hody i sar., 2019). Ovakav fenomen može imati značajan uticaj na motornu kontrolu, odnosno, preciznost pokreta pri ekscentričnom opterećenju može biti otežana jer se manje motornih jedinica regrutuje za dati nivo generisane sile (Hoppeler, 2016). Niža stopa regrutacije motornih jedinica tokom ekscentričnih kontrakcija može predstavljati jedan od mehanizama koji stoje iza fenomena poznatog kao „voljni deficit“, odnosno stanja u kojem slabije trenirani ispitanici pokazuju nedovoljnu sposobnost da u potpunosti voljno aktiviraju mišić prilikom izvođenja maksimalnih ekscentričnih kontrakcija (Aagaard i sar., 2000; Enoka & Duchateau, 2017). S tim u vezi, nepotpuna aktivacija muskulature tokom maksimalnih ekscentričnih napora može biti povezana sa centralnim inhibicijskim procesima, koji su izraženiji kod osoba bez prethodnog iskustva u ekscentričnim režimima rada (Babault i sar., 2001).

3.3. Efekti ekscentričnog treninga na mišićnu jačinu, snagu i hipertrofiju

Studije sugeriraju da ekscentrični režim opterećenja može rezultovati većim povećanjem snage i hipertrofije u odnosu na koncentrični trening. Da ekscentrični trening dovodi do većeg povećanja snage nego što je to slučaj kod koncentričnog treninga su potvrdili Vikne i saradnici (2006). Ekscentrični trening može izazvati specifične neuralne adaptacije, kao što su povećana aktivacija visokopražnih motornih jedinica što opet pozitivno utiče na ispoljavanje pomenutih motoričkih sposobnosti (Douglas i sar., 2017). Primjena ekscentričnih mišićnih kontrakcija često izaziva veća mehanička oštećenja mišićnog tkiva u poređenju sa koncentričnim kontrakcijama, naročito kada se koriste supramaksimalna opterećenja. Ove mikrotraume mišića iniciraju proces remodelovanja tkiva, što dugoročno dovodi do povećanja sile i snage, predstavljajući pozitivan kumulativni efekat ovog režima rada mišićnih vlakana (Hody i sar., 2019). Oštećenje vlakana uzrokovano ekscentričnim

opterećenjem takođe dovodi do izraženijeg inflamatornog odgovora, ključnog za oporavak i adaptaciju mišićnog tkiva (Peake i sar., 2017).

Ekscentrični trening snažno stimulise mišićnu hipertrofiju putem većeg mehaničkog stresa i mikrooštećenja, pokrećući niz molekularnih signala koji pojačavaju proteinsku sintezu (Damas i sar., 2018). Utvrđeno je da ekscentrične kontrakcije aktiviraju izraženiju ekspresiju gena povezanih sa hipertrofijom, poput IGF-1 i MGF, u poređenju sa koncentričnim kontrakcijama (Chen i sar., 2023). Rezultati istraživanja, Franchi i saradnika (2017) pokazali su da programi treninga sa dominantno ekscentričnim kontrakcijama uz progresivno opterećenje dovode do značajnog povećanja mišićne mase. Potvrdu ovih rezultata pružaju zaključci meta-analize Douglas i saradnika (2017), koji su ukazali na veće hipertrofijske efekte ekscentričnog treninga u odnosu na koncentrični ili izometrijski trening. Mada meta-analiza Schoenfeld i saradnika (2017) nije pronašla statistički značajne razlike kada je ukupno opterećenje bilo izjednačeno između režima treninga, ekscentrični trening je i dalje energetski efikasniji zbog manjeg energetskog troška pri ostvarivanju visokih nivoa sile (LaStayo i sar., 2014).

Osim na snagu i hipertrofiju, ekscentrični trening pozitivno utiče i na mišićnu izdržljivost, odnosno, otpornost na zamor. Ponovljeni ekscentrični naponi rezultiraju adaptacijama koje smanjuju oštećenja u sledećim treninzima, što direktno doprinosi većoj otpornosti na zamor (McHugh, 2003). Takođe, ovaj trening može dovesti do povećane mitohondrijske gustine i kapilarizacije, čime se poboljšava lokalna metabolička izdržljivost mišića. Nadalje, ekscentrične kontrakcije zahtevaju manji energetski trošak za generisanje iste sile, što omogućava ekonomičniji rad mišića tokom dugotrajnih aktivnosti (LaStayo i sar., 2014). Takođe, ekscentrični trening pokazuje značajnu primjenu u rehabilitaciji povreda mišića i tetiva, jer doprinosi poboljšanju funkcije mišićno-tetivnog kompleksa i ubrzava oporavak (Beyer i sar., 2015).

3.4. Ekscentrična kontrakcija kao faktor modulacije PAP

Ekscentrične kontrakcije igraju značajnu ulogu u manifestaciji PAP efekta zahvaljujući svojoj sposobnosti generisanja visokih sila uz relativno niži energetski trošak i manji akutni zamor. Korišćenjem ekscentričnih pokreta moguće je primjeniti snažan kondicionirajući stimulus koji rezultira izraženijim PAP efektom (Dobbs i sar., 2019). Studija Beato i saradnika (2020) potvrdila je da ekscentrično preopterećenje putem treninga na inercijalnoj mašini (*flywheel*) značajno poboljšava eksplozivne sposobnosti poput skoka u dalj i vertikalnog skoka nekoliko minuta nakon primjenjenog opterećenja. Međutim, istraživanja pokazuju da i tradicionalna supramaksimalna opterećenja mogu dovesti do sličnih efekata, što sugerise da intenzitet kontrakcije igra ključnu ulogu u efektu PAP-a (Beato i sar., 2021b). Važan faktor u primjeni PAP-a jeste pravilno programiranje opterećenja i odmora, jer je PAP prolazan i najizraženiji je unutar perioda od 1 do 10 minuta nakon potencijacije aktivnosti. Ukoliko je ekscentrično opterećenje preveliko ili period odmora nedovoljan, akutni zamor može umanjiti pozitivne efekte PAP-a. Iz tog razloga, preporučuju se protokoli sa malim brojem ponavljanja visoko intenzivnih ekscentričnih vježbi, praćenih odgovarajućom pauzom, na primjer 1-3 ponavljanja uz 4-6 minuta odmora, radi maksimalne efikasnosti (Dobbs i sar., 2019). Ovo ukazuje da ekscentrične kontrakcije predstavljaju efikasnu metodu za praktično iskorišćavanje PAP fenomena u sportu i treningu, omogućavajući sportistima i trenerima kratkotrajno povećanje mišićne sile, eksplozivnosti i ukupnih performansi.

Navedeni nalazi inicirali su razmatranje mogućnosti da li primjena malih i umjerenih intenziteta opterećenja, u kombinaciji sa brzim ekscentričnim mišićnim kontrakcijama mogu proizvesti pozitivne efekte na postaktivacijsku potencijaciju. Na ovo razmišljanje navodi činjenica da sila kojom mišić djeluje na svojim pripojima raste sa porastom brzine mišićne kontrakcije pri djelovanju spoljašnje sile tokom ekscentrične kontrakcije (Jarić, 1997). Dalje, utvrđeno je da ekscentrično djelovanje mišića može proizvesti sličnu silu, s manjom aktivacijom mišića nego kod

koncentrične ili izometrijske kontrakcije, a takođe, i veće generisanje sile s manjom aktivacijom motornih jedinica (Hamill & Knutzen, 2009). Prethodna istraživanja pretpostavljaju da brze ekscentrične kontrakcije mogu izazvati značajnu neuromišićnu stimulaciju, koja može poboljšati performanse u eksplozivnim vježbama. Međutim, efekti različitih veličina opterećenja u kombinaciji sa brzinom ekscentričnih kontrakcija na PAP još uvijek nisu potpuno istraženi.

4. Dosadašnja istraživanja

Prve studije koje su istraživale postaktivacijsku potencijaciju datiraju još sa početka 20. vijeka, gdje su istraživači vršili aktivaciju izolovanih mišićnih vlakana pomoću elektro stimulacije i na taj način izazivali fiziološki efekat u literaturi poznat kao prethodno pomenut pojam post-tetanička potencijacija (Gullich & Schmidtbleicher, 1996). Studije koje su se bavile ispitivanjem uticaja različitih protokola na efekte PAP-a najčešće su koristile tradicionalne vježbe sa opterećenjem kao vježbe potencijacije. S obzirom da su predmet istraživanja u ovom radu bile dvije različite kontrakcije, dinamička (*ekscentrično-koncentrična*) i ekscentrična, te različit intenzitet opterećenja kao i brzine kontrakcija, a na osnovu tih faktora je izvršena analiza dosadašnjih istraživanja. Dalje, u većini slučajeva čučanj se koristio kao vježba potencijacije kako bi izazvali efekat poboljšanja performansi nakon aktivacije PAP-a kod vertikalnih skokova (Krzysztofik i sar., 2023a-c).

Najveći broj studija je ispitivao uticaj submaksimalnih opterećenja na ispoljavanje efekata PAP-a. Da je mehanizam postaktivacijske potencijacije moguće značajno poboljšati kroz dinamički režim rada u vježbi potencijacije prikazali su (Young i sar., 1998) u svom istraživanju na uzorku od 10 iskusnih sportista. Ispitanici su prvo izvodili 2 serije sa 5 vertikalnih skokova, potom se izvodila vježba polučučnja sa spoljašnjim opterećenjem u jednoj seriji sa 5 ponavljanja. Nakon toga uslijedila je pauza od 4 minuta a nakon pauze izvodio se vertikalni skok u jednoj seriji sa 5 ponavljanja. Rezultati su pokazali da se visina vertikalnog skoka u testu, koji se izvodio nakon polučučnja sa spoljašnjim opterećenjem, povećala za 2.8% u odnosu na vertikalni skok koji se izvodio neposredno prije polučučnja. Dalje, Bauer i saradnici (2019) su pokazali da izvođenje čučanja kroz 4 ponavljanja sa opterećenjem 90% od 1RM-a dinamičkom mišićnom kontrakcijom, dakle, ekscentrično-koncentričnom, nakon 3 minuta pauze ima pozitivne efekte na visinu CMJ-a. Statistički značajno prosječno povećanje visine CMJ-a od 1.7 cm dobijeno je i na uzorku od 12 aktivnih sportista koji su izvodili čučanj kroz 3 ponavljanja sa opterećenjem 85% od 1RM-a (Evetovich i sar., 2015). Nadalje, primjena submaksimalnog opterećenja u vježbi potencijacije, čučanj sa opterećenjem 90% od 1RM-a, može izazvati pozitivne efekte na PAP kod sportista, ali ne i kod rekreativaca. Zabilježeno je prosječno povećanje visine CMJ-a kod sportista 1-3% nakon 5 minuta pauze (Chiu i sar., 2003). Rezultati jedne meta-analize su pokazali da su 104 studije od 179, što je ekvivalentno 58.1 %, koje su koristile opterećenje 80-90% od 1RM-a imale pozitivne efekte na PAP (Dobbs i sar., 2019). Dinamičke kontrakcije sa submaksimalnim opterećenjem, kao što je 90% od 1RM-a, aktiviraju velike motorne jedinice, a samim tim i veliki procenat brzih vlakana tipa II, koja su ključna za generisanje velike sile. Nadalje, generisanje velike sile u vježbi potencijacije značajno utiče na ispoljavanje eksplozivne snage u naknadnim pretvarajućim vježbama (Seitz i sar., 2016). Dakle, istraživanja su pokazala da dinamičke kontrakcije sa submaksimalnim opterećenjem, ne samo da dovode do akutnog povećanja visine CMJ-a putem PAP-a, već i do hroničnih adaptacija koje poboljšavaju eksplozivnu snagu (Tillin & Bishop, 2019). Da se pozitivni efekti na PAP, odnosno na visinu CMJ-a, mogu javiti i nakon primjene umjerenih opterećenja pokazali su rezultati nekoliko studija. Visina CMJ-a je bila statistički značajna nakon izvođenja polučučnja u obimu od jedne serije sa opterećenjima 10 sa 60%, 5 sa 80% i 1 ponavljanje sa 100% od 1RM-a na uzorku mladih fudbalera (Petisco i sar., 2019). Međutim, opterećenje 80% od 1RM-a je imalo najveće efekte na PAP. Suprotno tome dobijeni rezultati studije koje je prikazala da primjena opterećenja 40%, 60%, 80% i 100% od 1RM-a u čučnju ne dovodi do statistički značajnih razlika u visini CMJ-a kod mladih fudbalera (Tifton & Franchini, 2017).

Trenutno ne postoji veliki broj studija o korišćenju izolovanih ekscentričnih mišićnih kontrakcija u vježbama potencijacije kao stimulatora za akutno poboljšanje PAP-a (Beato i sar., 2020). Prethodno objavljene studije koje su istraživale uticaj ekscentričnog mišićnog režima rada, na PAP efekte koristili su različite rekvizite i sredstva poput tradicionalne vježbe sa supramaksimalnim opterećenjem (engl. *eccentric overload* - EOL), (Wagle i sar., 2017); izoinercijalne mašine (engl. *flywheel*), (Beato i sar., 2021a); ekspandera ili elastičnih traka (Aboodarda i sar., 2013); korigovanje

spoljašnjeg opterećenja u toku samog rada od strane trenera ili pomoćnika (engl. *accentuated eccentric load* - AEL), (Tseng i sar., 2021; Ditch, 2024); skokovi u dubinu (Bridgeman i sar., 2017); te ispuštanje opterećenja na kraju ekscentrične faze skoka (Sheppard i sar., 2008).

Međutim najčešći vid potencijacije sa korišćenjem ekscentričnih opterećenja vršen je metodološkim principom akcentovanih ekscentričnih kontrakcija (AEL). Pojam AEL predstavlja metodu koja omogućava primjenu dinamičkih pokreta kroz čitav ciklus ekscentrično-koncentrične kontrakcije, pri čemu se u ekscentričnoj fazi koriste veća opterećenja, dok u koncentričnoj se koriste manja opterećenja (Ditch, 2024). Nekoliko studija je prikazalo da je AEL metoda superiornija na akutno povećanje visine CMJ-a u odnosu na tradicionalne metode (Patus, 2021; Tseng i sar., 2021). Zanimljivu procedura testiranja, uticaja potencijacije sa AEL i supramaksimalnim opterećenjima 105%, 110% i 120% od 1RM-a, sproveli su Munger i saradnici (2017). Tokom ekscentrične faze pokreta koristile su posebno dizajnirane kuke (engl. *weight releasers*) zakačene na spoljašnji dio šipke na kojima je bilo dodatno opterećenje a koje bi se same otkaçile na kraju ekscentrične faze pokreta kada bi opterećenje na kukama dodirnulo podlogu. Ekscentrična faza je trajala 3 s a nakon toga se sa opterećenjem 90% od 1RM-a izvodio koncentrični dio pokreta što je brže bilo moguće. Rezultati su pokazali da supramaksimalno ekscentrično opterećenje 120% od 1RM-a i umjereno opterećenje 65 % od 1RM-a u koncentričnoj fazi može da se koristi u vježbi prednji čučanj radi povećanja izlaznih performansi u koncentričnoj fazi pokreta (Merrigan i sar., 2021). Potencijaciju polučućnjem kroz ekscentričnu fazu koristili su Krzysztolik i saradnici (2023a) za izazivanje pozitivnih efekata na PAP. U njihovom protokolu, iskusni dizači tegova izvodili su 2 serije po 2 polučućnja sa 110% od 1RM-a, pri čemu su se testiranja performansi vršila na 3, 6, 9 i 12 minuta nakon opterećenja. Dalje, potencijacijski podražaj u vidu AEL, 105% od 1RM-a u vježbi čučanj koji se izvodio kroz 3 serije sa 4 ponavljanja dok se koncentrični dio pokreta izvodio sa 80 % od 1RM-a uticao je na ispoljavanje maksimalne sile i brzinu generisanja sile ali nije uticao na visinu CMJ-a (Tseng i sar., 2021). Nedostatak prethodno navedene studije bio je previše široki vremenski okviri za testiranje PAP-a 10 minuta, 24 i 48 sati nakon primjene potencijacijskog podražaja. Međutim, rezultati nekih istraživanja nisu pokazali pozitivan uticaj supramaksimalnog opterećenja na izlazne performance u koncentričnom režimu rada (Ojasto & Häkkinen, 2009; Wagle i sar., 2017).

Da protokoli kroz obrasce pokreta sa dominantnom ekscentričnom mišićnom kontrakcijom sa submaksimalnim opterećenjem mogu biti efikasan metod za akutno povećanje maksimalne snage kod treniranih muškaraca studentskog uzrasta pokazali su Mike i saradnici (2017). Ispitanici su izvodili čučanj na Smit mašini kroz ekscentrično-koncentrični režim rada 4 sa 6 ponavljanja sa opterećenjem 80-85% od 1RM-a sa trajanjem ekscentrične faze pokreta 2, 4 i 6 s. Rezultati ukazuju da ekscentrične kontrakcije sa dužim trajanjem negativno utiču na eksplozivne pokrete poput vertikalnog skoka u odnosu na kraće trajanje. Zabilježeno je i povećanje snage u koncentričnoj fazi pokreta kod vertikalnih skokova nakon primjene 3 serije sa 4 ponavljanja prednjeg čučnja sa 90% i 120 % od 1RM-a kroz brzinu ekscentrične kontrakcije 2 s (Stastny i sar., 2024).

Uticaj malih opterećenja primjenjenih putem AEL protokola na indukciju postaktivacijske potencijacije ispitan je u relativno malom broju studija. Dosadašnji nalazi su pokazali da ovakav tip treninga ima uticaj na brzo pomjeranje teških lanaca miozina koje utiče na poboljšanja kod ispoljavanja sile odnosno jačine i snage (Ojasto & Häkkinen, 2009; Friedmann-Bette i sar., 2010; Walker i sar., 2016). Nekoliko studija je koristilo spoljašnje opterećenje u procentima u odnosu na tjelesnu masu (TM) ispitanika. Akcentovana ekscentrična kontrakcija sa opterećenjem 20% od TM tokom izvođenja 5 skokova u dubinu (engl. *drop jump*) pokazala se kao najefektivnije opterećenje za dostizanje veće visine CMJ-a nakon 2 minuta pauze u odnosu na dodatna opterećenja 10% od TM i bez dodatnog opterećenja, na uzorku treniranih sportista (Bridgeman i sar., 2017). Slične nalaze dobili su Lloyd i saradnici, (2021) na uzorku mladih sportista nakon primjene skokova u dubinu sa dodatnim opterećenjem 15% od TM. Nadalje, opterećenje 30% od TM kroz potencijaciju AEL sa dodatnim elastičnim opterećenjem imalo je pozitivne efekte na visinu skoka za 9.52% u odnosu na opterećenja

20% TM i bez dodatnog opterećenja (Aboodarda i sar., 2013). Ova inovativna metoda, gdje se opterećenje od 10 kg, koje se nalazilo u svakoj ruci, ispuštalo nakon završetka ekscentričnog dijela CMJ-a statistički je značajno uticalo na visinu skoka za čak 11% (Sheppard i sar., 2008). Slični nalazi, odnosno, povećanje visine CMJ-a 5.8% otkriveni su i nakon primjene submaksimalnog opterećenja sa elastičnim gumama (Popp Marin i sar., 2021). Međutim, suprotno prethodnim nalazima, opterećenja koja su ekvivalentna 20% i 30% od TM tokom izvođenja skokova u dubinu sa elastičnim gumama značajno su uticala na povećanje ekscentričnog impulsa i RFD-a ali nisu imala uticaj na visinu skoka kod utreniranih sportista (Aboodarda i sar., 2014). Moguć razlog izostanka pozitivnih efekata su gume koje su imale zadatak da dodatno naglase ekscentričnu mišićnu kontrakciju jer sila otpora raste nelinearno u zavisnosti od dužine istezanja gume. Dalje, kao vježba potencijacije koristio se i sam CMJ, pri čemu su dodatno opterećenje činile bučice od 20% i 40% od TM, ali samo u ekscentričnoj fazi pokreta (Godwin i sar., 2021). Rezultati ove studije su pokazali da nije dobijen statistički značajan uticaj na visinu CMJ-a niti za jedno od ova dva opterećenja, ali su pozitivno uticala na izlazne parametre snage.

Posljednjih godina desila se hiperprodukcija naučnih studija koje su za predmet istraživanja imale uticaj naglašene ekscentrične kontrakcije pomoću izoinercijalnih mašina (*flywheel*) na manifestaciju PAP-a. Izoinercijalna mašina radi na principu da se ispoljavanjem snage u koncentričnom režimu rada poveća opterećenje u naknadnoj ekscentričnoj fazi pokreta (Suchomel i sar., 2019). Rezultati istraživanja ukazuju da je ovaj modalitet kao vježbe potencijacije efikasan za izazivanje PAP efekta (Cormier i sar., 2024). Protokol koji se sastojao od izvođenja 3 serije sa 6 ponavljanja polučučnja maksimalnom brzinom na izoinercijalnoj mašini sa srednjim opterećenjem, masa diska 1.9 kg i velikim opterećenjem gdje je masa diska bila 6.0 kg, statistički značajno utiče na visinu CMJ-a (Beato i sar., 2021a). Dalje, naglašene ekscentrične kontrakcije kroz polučučanj na izoinercijalnoj mašini sa opterećenjem (inercija = $0.029 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$) 3 serije sa 6 ponavljanja imale su pozitivne efekte na visinu CMJ-a nakon pauze od 6 minuta, kod studenata koji aktivno igraju fudbal (Keijzer i sar., 2020). Takođe, da izoinercijalni model treninga u trajanju od 8 sedmica ima pozitivan hronični uticaj na visinu CMJ od 11.7% kod košarkaša srednjoškolaca pokazala je studija Stojanović i saradnika (2021). Slične nalaze potvrdili su Murton i saradnici, (2021) u studiji koja je ispitivala uticaj potencijacijske vježbe putem izoinercijalne mašine i tradicionalnog treninga snage kroz 4 sedmice na visinu CMJ-a.

Pregledom i analizom dosadašnjih istraživanja uviđeno je da je veoma mali broj studija ispitivao uticaj izolovanih ekscentričnih mišićnih kontrakcija na efekte postaktivacijske potencijacije. Rezultati jedne takve studije pokazali su da 5 ponavljanja sa 85% od 1RM-a u polučučnju, kroz ekscentričnu fazu pokreta koja je trajala 4 s, odnosno, pri ugaonoj brzini oko 30°/s, statistički značajno ne utiču na parametre performansi kod CMJ-a nakon pauze 2 minuta (Kannas i sar., 2024). Jedno od mogućih objašnjenja za ovakve rezultate je veoma kratak vremenski period pauze od 2 minuta između vježbe potencijacije i CMJ-a. Međutim, da opterećenje 70% od 1RM-a u polučučnju kroz ekscentrični dio pokreta ima statistički značajan efekta na PAP nakon 3 minute pauze pokazali su rezultati studije koju su sproveli Bogdanis i saradnici (2014). Ispitanici su izvodili 9.3 ± 1.5 ponavljanja polučučanja do 90° u zglobo koljena samo u ekscentričnom dijelu pokreta dok su 2 asistenta vraćali opterećenje u početnu poziciju. U studiji nije determinisana brzina tokom ekscentričnog dijela pokreta što može da predstavlja veoma bitan faktor.

Iako protokoli potencijacijskog podražaja ekscentričnom mišićnom kontrakcijom pokazuju potencijalne akutne efekte na manifestaciju PAP-a, ipak postoji nedostatak konsenzusa u pogledu optimalnih parametara, uključujući brzinu ekscentrične kontrakcije, veličinu opterećenja i dužinu pauze. Pored toga većina postojećih istraživanja fokusira se na akcentovanu ekscentričnu mišićnu kontrakciju dok je veoma mali broj studija koje ispituju potencijalne efekte izolovane ekscentrične potencijacije na PAP. Ove praznine u naučnoj literature ukazuju na potrebu za daljim istraživanjima kako bi se bolje razumjeli različiti modaliteti potencijacije i njihovi efekti na manifestaciju PAP-a.

5. Problem, predmet i ciljevi istraživanja

Problem istraživanja proizlazi iz činjenice da nijedno prethodno istraživanje nije koristilo identičnu ili metodološki sličnu proceduru tokom potencijacije. Dalje, na osnovu pregleda i analize literature može se zaključiti da postoji nekonzistentno mišljenje kada su u pitanju opterećenja i režim rada mišića u vježbi predopterećenja na efekte ispoljavanja postaktivacijske potencijacije. S obzirom na naučnu podijeljenost i empirijske rezultate pojedinih istraživanja te mnogo faktora koji mogu da utiču na PAP, bilo je teško izvršiti sistematizaciju dosadašnjih naučnih istraživanja i njihovih zaključaka. Dodatni problem je veoma mali broj studija čiji su predmet istraživanja bile brze i naglašene ekscentrične izolovane kontrakcije u vježbi potencijacije. Na osnovu navedenog postavljeni su predmet, ciljevi i zadaci istraživanja.

Predmet ovog istraživanja je ispitivanje akutnih efekata različitih vrsta potencijacije i veličina opterećenja na postaktivacijsku potencijaciju. Konkretnije, ispitivanje akutnog uticaja submaksimalnog opterećenja kroz ekscentrično-koncentričnu kontrakciju te umjerenog i malog opterećenja kroz brze ekscentrične kontrakcije na visinu vertikalnog skoka.

Ciljevi istraživanja:

Cilj 1: Ispitati uticaj opterećenja 90% od 1RM-a kroz ekscentrično - koncentričnu kontrakciju na manifestaciju post aktivacijske potencijacije.

Cilj 2: Ispitati uticaj opterećenja 60% od 1RM-a kroz brzu ekscentričnu kontrakciju na manifestaciju post aktivacijske potencijacije.

Cilj 3: Ispitati uticaj opterećenja 40% od 1RM-a kroz brzu ekscentričnu kontrakciju na manifestaciju post aktivacijske potencijacije.

6. Hipoteze istraživanja

Na osnovu pregleda dosadašnje literature i u skladu sa predmetom i ciljevima ove studije definisane su 4 hipoteze istraživanja.

Hipoteza 1: Opterećenje 90% od 1RM-a kroz ekscentrično-koncentričnu kontrakciju u vježbi čučanj značajno utiče na akutno povećanje visine vertikalnog skoka s pripremom.

Hipoteza 2: Opterećenje 60% od 1RM-a kroz brzu ekscentričnu kontrakciju u vježbi čučanj značajno utiče na akutno povećanje visine vertikalnog skoka s pripremom.

Hipoteza 3: Opterećenje 40% od 1RM-a kroz brzu ekscentričnu kontrakciju u vježbi čučanj značajno utiče na akutno povećanje visine vertikalnog skoka s pripremom.

Hipoteza 4: Opterećenje 90% kroz ekscentrično-koncentričnu kontrakciju i 60% od 1RM-a kroz brzu ekscentričnu kontrakciju u vježbi čučanj značajno više utiču na akutno povećanje visine vertikalnog skoka s pripremom u odnosu na opterećenje 40% od 1RM-a kroz brzu ekscentričnu kontrakciju.

Zadaci koji su sprovedeni da bi se realizovali postavljeni ciljevi i provjerile hipoteze istraživanja:

1. Pregledani i analizirani do sada korišćeni protokoli potencijacije, opterećenja, režima rada mišića i pauze.
2. Pregledani i analizirani do sada korišćeni protokoli za procjenu 1RM-a u čučnju, i varijable za procjenu efekata postaktivacijske potencijacije.
3. Obezbjeđena potrebna dokumentacija prije samog testiranja (odobrenje etičke komisije Fakulteta fizičkog vaspitanja i sporta, Univerziteta u Banjoj Luci; odobrenje prodekana za nauku za korišćenje fakultetske opreme i instrumentarija; saglasnost ispitanika sa protokolom testiranja).
4. Ispitanici su bili upoznati sa protokolom istraživanja, pravilnom tehnikom izvođenja čučnja na Smit mašini i tehnikom vertikalnog skoka s pripremom.
5. Izvršena je procjena telesne kompozicije i mjerenje antropometrijskih karakteristika ispitanika.
6. Izvršena je statistička analiza dobijenih podataka.
7. Prikazani su i interpretirani rezultati istraživanja.

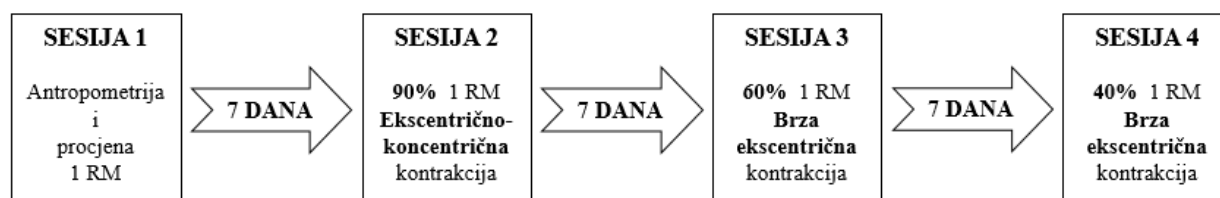
7. Metod

7.1. Uzorak ispitanika

Uzorak ispitanika činilo je 20 studenata muškog pola, 10 studenata Fakulteta Fizičkog Vaspitanja i Sporta i 10 studenata Fakulteta Bezbjednosnih nauka, Univerziteta u Banjoj Luci, uzrasta: 21.4 ± 0.6 godina; tjelesne mase: 88.8 ± 8.4 kg; tjelesne visine: 184.5 ± 5.4 cm; procenat tjelesnih masti: $16.3 \pm 3.4\%$ (prosječna vrijednost $\pm$ standardna devijacija). Kriterijumi za učešće u testiranju su bili: da su ispitanici normalnog zdravstvenog statusa, redovno uključeni u trenažni proces, da su bez mišićnih povreda u zadnja 3 mjeseca u vrijeme testiranja, te da imaju najmanje 3 godine iskustva u radu sa spoljašnjim opterećenjem. Svi ispitanici su bili upoznati sa potencijalnim rizicima i benefitima testiranja te su dali pismenu saglasnost za dobrovoljno učešće u istraživanju (Prilog 1). Sve procedure su bile sprovedene prema odredbama Helsinške Deklaracije a Etički komitet Fakulteta Fizičkog Vaspitanja i Sporta, Univerzitet u Banjoj Luci, (broj odluke 11.1/989/24), odobrio je sprovođenje ove studije (Prilog 2).

7.2. Eksperimentalni dizajn

Studija je bila pre-eksperimentalnog dizajna (engl. *one-group pretest-posttest*). Sva mjerenja su sprovedena u okviru 4 odvojene sesije sa po 7 dana pauze između svake sesije (Grafik 1.) Antropometrijska mjerenja i procjena 1RM-a u vježbi čučanj na Smit mašini vršena su u okviru prve sesije. Testiranje akutnih efekata, različitih vrsta potencijacije na kinematičke parametre CMJ-a, odnosno, postaktivacijsku potencijaciju izvršena su u okviru druge, treće i četvrte sesije. U okviru druge sesije korišćeno je opterećenje 90% od 1RM-a, (ECC90%) u čučnju kroz dinamičku (*ekscentrično-koncentričnu*) mišićnu kontrakciju. U trećoj i četvrtoj sesiji primijenjena su opterećenja 60% (EC60%) i 40% (EC40%) od 1RM-a, ali kroz brze ekscentrične kontrakcije, redosljedom.



Grafik 1. Dizajn istraživanja

7.3. Procedura testiranja

Sva testiranja su sprovedena, na Institutu za sport u laboratoriji za biomehaniku pri Fakultetu Fizičkog Vaspitanja i Sporta Univerziteta u Banjoj Luci, u jutarnjim časovima (*između 9:00-12:00*) u kontrolisanim eksperimentalnim uslovima (*temperatura vazduha 20-23 °C, relativna vlažnost vazduha 45-55%*).

U okviru prve sesije ispitanici su nakon upoznavanja sa eksperimentalnim protokolom pristupili antropometrijskim mjeranjima tjelesne visine stadiometrom (SECA 206, Njemačka) sa preciznošću od 0,1 cm i kompozicije tijela bioelektričnom impedancom (Tanita BC - 418MA, Tokio, Japan). Na početku svake sesije ispitanici su sprovodili standardni protokol zagrijavanja koji se sastojao od 10-minutnog pedaliranja bicikl ergometra (Monark, Švedska) na konstantnom opterećenju (*1 W*kg tjelesne mase ispitanika*). Odmah nakon pedaliranja, ispitanici su izvodili vježbe mobilnosti i dinamičkog istezanja u trajanju od 6 minuta. Prije izvođenja samih eksperimentalnih protokola ispitanici su izveli 2 serije sa po 4 ponavljanja dodatnog zagrijavanja u vježbi čučanj na

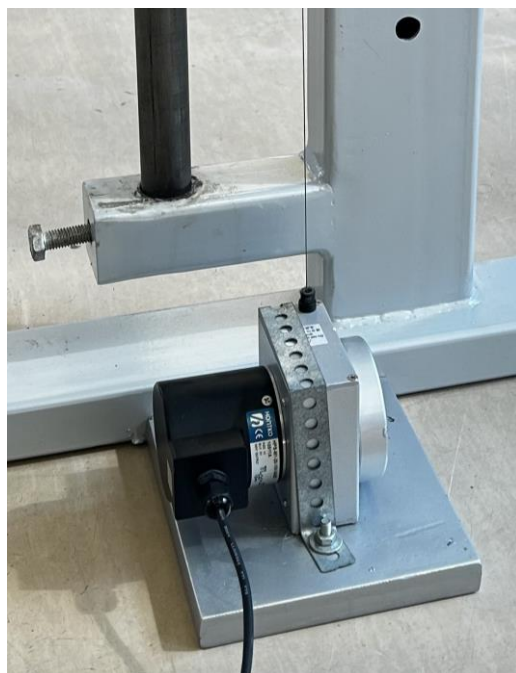
Smit mašini sa individualnim opterećenjima oko 30% i 40% od 1RM-a sa 3 minuta pauze između serija. Treba napomenuti da su se identična zagrijavanja sprovodila prije svake sesije.

Procjena 1RM-a u čučnju kroz dinamičku mišićnu kontrakciju vršila se u laboratorijskim uslovima na modifikovanoj „Smit“ mašini koja je konstruisana za potrebe ove studije a korišćena je u ranijim istraživanjima kod Nedeljković (2016). Smit mašina je imala standardne dimenzije sa 4 kuglična ležaja koja su koeficijent trenja svela na zanemariv nivo. Čučanj se izvodio sa paralelno postavljenim stopalima malo šire od širine kukova sa dubinom do 90° u zglobu koljena. Ugao u zglobu koljena od 90° je bio izmjeren pomoću SG12F goniometra (Leica Vetronix, Njemačka) a dubina spuštanja se kontrolisala sa posebno dizajniranom spravom koja se nalazila iza ispitanika dok je izvodio čučanj (Slika 1). Ispitanici su izvodili ukupno 12 ponavljanja, sa 5 različitih opterećenja, 50%, 60%, 70%, 80% sa 3 ponavljanja i 90% sa 1 ponavljanjem, na osnovu aktuelnog 1RM-a koji je svaki ispitanik prijavio prije samog testiranja. Od ispitanika se zahtijevalo da svako ponavljanje izvrše maksimalnom mogućom brzinom dok ih je i istraživač dodatno verbalno motivisao. Prosječna vrijednost 1RM-a je bila 148.4 ± 20.4 kg.



Slika 1. „Smit“ mašina na kojoj su vršena testiranja i potencijacija

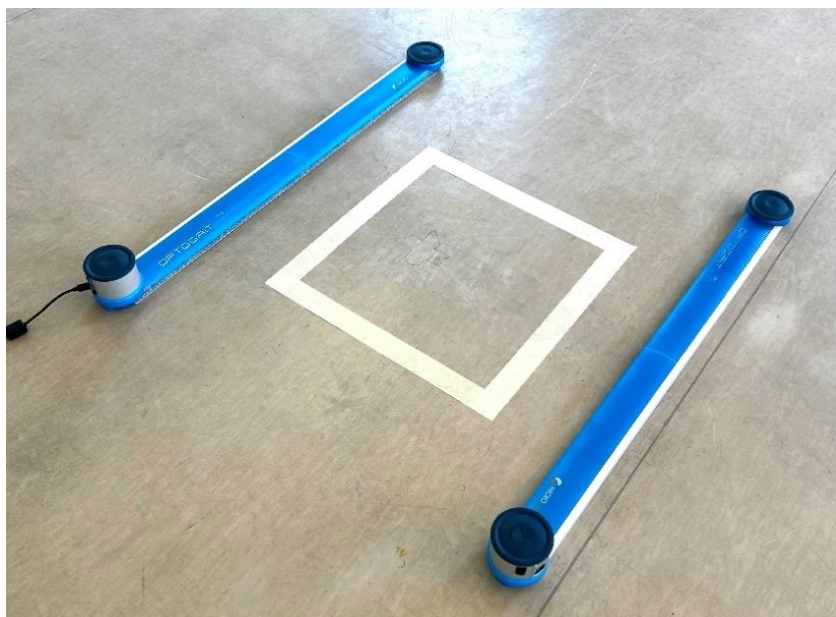
Za procjenu kinematičkih parametara čučnja korišćen je linearni enkoder (Hontko HPSM1, New Taipei City 23545, Tajvan) koji je bio pričvršćen za unutrašnji dio šipke i tokom kretanja šipke sa opterećenjem bilježio krivu koja je predstavljala promjenu visine šipke u vremenu sa frekvencijom uzorkovanja od 1000 Hz (Slika 2). Derivacijom signala pomoću posebno napisanog računarskog programa za obradu sirovog signala (National Instruments LabVIEW, 2010, Austin, TX, USA) dobio se rezultat promjene brzine tokom vremena. Na osnovu relacije opterećenje-brzina (engl. *load-velocity*), dobijene metodom mjerenja u više tačaka prema García-Ramos, (2023) i primjenom modela linearne regresije i minimalne brzine (V_{min}), vršila se procjena 1RM-a za svakog ispitanika. Nivo značajnosti se procjenjivao na osnovu koeficijenta determinacije (R^2) i 95% intervala pouzdanosti (95% CI).



Slika 2. Pozicija linearnog enkodera tokom testiranja i potencijacije

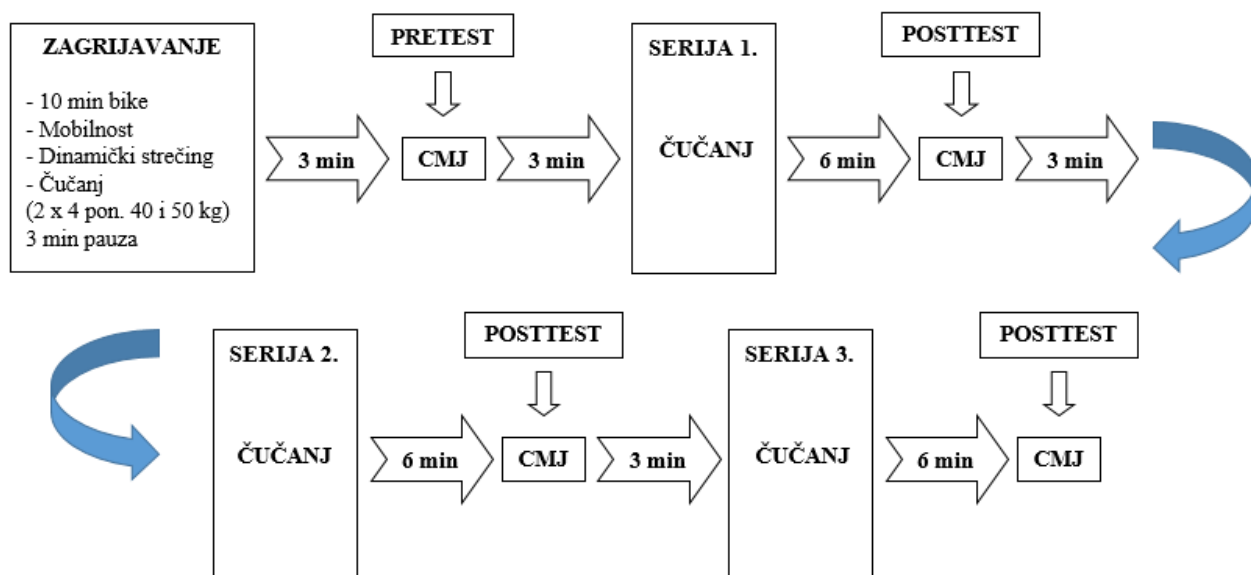
Procjena efekata postaktivacijske potencijacije izvršena je u okviru druge, treće i četvrte sesije i to na osnovu rezultata kinematičkih parametara, h - maksimalna visina skoka iz mjesta sa fiksiranim rukama na kukovima (engl. *Countermovement Jump* - CMJ), ostvarenih u pretestu i posttestu. Test CMJ je široko korišćen u sportskoj nauci za procjenu eksplozivne snage i funkcionalne sposobnosti mišića donjih ekstremiteta te pokazuje visok nivo valjanosti i pouzdanosti (Marković i sar., 2004; Moir i sar., 2009). Mjerenje kinematičkih parametara skoka vršilo se upotrebom optičkog uređaja (OptoGait, Microgate, Bolzano, Italy), standardnom procedurom (Microgate S.R.L., 2023). Optogait je napredni sistem za analizu hoda, trčanja i skokova odnosno, biomehanike kretanja, koji koristi optičke senzore za precizno mjerenje različitih kinematičkih parametara (Slika 3). Pouzdanost ovog sistema potvrđena je kroz nekoliko naučnih radova (Lee i sar., 2014; Gomez i sar., 2016).

Eksperimentalna procedura sprovodila se tako da su poslije prethodno pomenutog zagrijavanja svi ispitanici izveli inicijalni pretest CMJ-a sa 3 ponavljanja, gdje je najbolji rezultat korišćen za dalju analizu (Grafik 2). Zatim, nakon pauze od 3 minuta pristupilo se izvođenju vježbe potencijacije čučanj, 3 ponavljanja sa EC90 % za dinamičku kontrakciju koja se izvodila u okviru druge sesije. Potencijacija u trećoj i četvrtoj sesiji izvodila se sa EC60%, odnosno EC40%, sa brzim spuštanjem kroz ekscentričnu fazu. Nakon vježbe potencijacije slijedila je pauza od 6 minuta pasivnog karaktera a zatim izvođenje posttesta CMJ-a sa 3 ponavljanja gdje se takođe najbolji rezultat uzimao za dalju analizu.



Slika 3. OptoGait sistem za procjenu kinematičkih parametara skoka

Osim inicijalnog pretesta CMJ-a kompletna eksperimentalna procedura se ponavljala u tri serije sa pauzama između serija od 3 minuta. Tokom treće i četvrte sesije, gdje se potencijacija izvodila brзом ekscentričnom kontrakcijom sa što bržim spuštanjem u poziciju do ugla 90° u zglobu koljena, korišćena je pomoć dva asistenta koja su podizala opterećenje u početnu poziciju nakon svakog ponavljanja (Slika 1). Ovo je omogućilo da tokom potencijacije izoluje ekscentričnu mišićnu kontrakciju. Ono što je bitno naglasiti da prelazak iz ekscentrične kontrakcije u fazu izometrijske kontrakcije odnosno zaustavljanja, nije trajao više od 1 sekunde. Takođe, brzina kretanja opterećenja pri ekscentričnoj fazi pokreta morala je biti veća od 1 m/s za EC60% i 1.3 m/s za EC40%. Ovi kontrolni parametri su takođe praćeni signalom dobijenim izoinercijalnim enkoderom u toku same potencijacije i prikazivani su uživo na ekranu ispred ispitanika.



Grafik 2. Šematski prikaz eksperimentalne procedure

7.4. Statistička obrada podataka

Deskriptivni pokazatelji su predstavljeni: srednjom vrijednošću (SV), standardnom devijacijom (SD), minimalnom (MIN), maksimalnom vrijednosti (MAX), koeficijentom varijacije (CV) i standardnom greškom mjerenja (SEM).

Analiza efekata različitih vrsta nadražaja na efekte postaktivacijske potencijacije dobijena je na osnovu Studentovog t-testa za zavisne uzorke. Uticaj potencijacije na visinu CMJ-a, odnosno razlike između pretesta i svake pojedinačne serije u posttestu utvrđene su primjenom univarijantne analize varijanse sa ponovljenim mjerenjima (ANOVA) sa *Bonferoni* korekcijom. Veličine efekta (ES) za svaki protokol predstavljene su eta kvadratom, $\eta^2 = 0.01-0.05$, mali efekat, $\eta^2 = 0.06-0.13$, sednji efekat i $\eta^2 > 0.14$ veliki efekat. Dalje, veličina parcijalnog efekta prikazana je pomoću Koenovog koeficijenta d koji se interpretira kao trivijalna < 0.2 , mala veličina efekta $= 0.2-0.5$, umjerena $= 0.5-0.8$; velika $= 0.8-1.2$, i veoma velika > 1.2 (Sullivan & Feinn, 2012). Sve statističke procedure su izvršene pomoću JASP statističkog softvera (verzija 0.18.3, Amsterdam, Holandija) a nivo statističke značajnosti je postavljen na $p < 0.05$. Za analizu pouzdanosti linearne regresije kod procjene 1RM-a korišćen je Microsoft Office Excel 2010 (Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA).

8. Rezultati

Rezultati Shapiro-Wilk testa (p opseg = 0.11-0.82) ukazuju da podaci ne odstupaju značajno od normalne distribucije, što opravdava primjenu parametrijskih statističkih analiza. Deskriptivna analiza je pokazala da srednje vrijednosti (SV) vertikalnog skoka pretesta i posttesta, nakon primjene sve tri vrste nadražaja, pokazuju tendenciju povećanja (Tabela 1). Rezultati standardne devijacije (SD) su relativno konzistentni između pretesta i serija u posttestu, što ukazuje na ujednačenu raspodjelu u svim modalitetima potencijacije. Najveći raspon primjećen je nakon potencijacije sa ECC90%, što može ukazivati na veću varijabilnost odgovora na submaksimalna opterećenja. Suprotno tome, najmanji raspon zabilježen je nakon EC40%, što govori o ujednačenijem efektu na visinu CMJ-a pri malim opterećenjima. Koeficijent varijacije (CV) pokazuje relativno niske vrijednosti (0.09-0.12), što ukazuje na pouzdanost i stabilnost mjerenja u svim eksperimentalnim sesijama.

Tabela 1. Osnovni deskriptivni parametri

Potencijacija	Opterećenje (kg)	hCMJ	SV $\pm$ SD	Min	Max	CV	SEM
ECC90%	131.6 $\pm$ 17.2	hPrt90%	39.6 $\pm$ 4.6	30.9	45.6	0.11	1.04
			41.1 $\pm$ 5.0	32.4	49.7	0.12	1.12
		hPstECC90%	41.4 $\pm$ 4.8	33.3	49.4	0.11	1.09
			42.2 $\pm$ 5.1	32.1	50.5	0.12	1.14
		Δ Prt-PstECC90%	2.81 $\pm$ 1.0	1.5	5.2	0.38	0.24
EC60%	88.7 $\pm$ 11.8	hPrt60%	40.1 $\pm$ 4.2	31.2	45.4	0.10	0.94
			41.3 $\pm$ 4.0	34.2	48.2	0.09	0.91
		hPstEC60%	41.7 $\pm$ 4.5	34.2	49.6	0.10	1.01
			42.0 $\pm$ 4.5	34.2	49.2	0.10	1.02
		Δ Prt-PstEC60%	2.45 $\pm$ 0.8	1.3	4.4	0.33	0.18
EC40%	60.1 $\pm$ 10	hPrt40%	40.2 $\pm$ 4.2	32.5	46.1	0.10	0.95
			40.4 $\pm$ 4.4	32.9	47.1	0.10	0.99
		hPstEC40%	40.3 $\pm$ 4.4	32.0	47.8	0.11	0.99
			41.0 $\pm$ 4.3	33.1	47.6	0.10	0.97
		Δ Prt-PstEC40%	1.0 $\pm$ 0.3	0.5	1.7	0.31	0.07

hCMJ - visina vertikalnog skoka; *hPrt* - visina vertikalnog skoka pretesta; *hPst* - visina vertikalnog skoka posttesta; Δ Prt-Pst - razlika između visine vertikalnog skoka pretesta i posttesta; *SV* - srednja vrednost; *SD* - standardna devijacija; *Min* - minimalna vrijednost; *Max* - maksimalna vrijednost; *CV* - koeficijent varijacije; *SEM* - standardna greška mjerenja

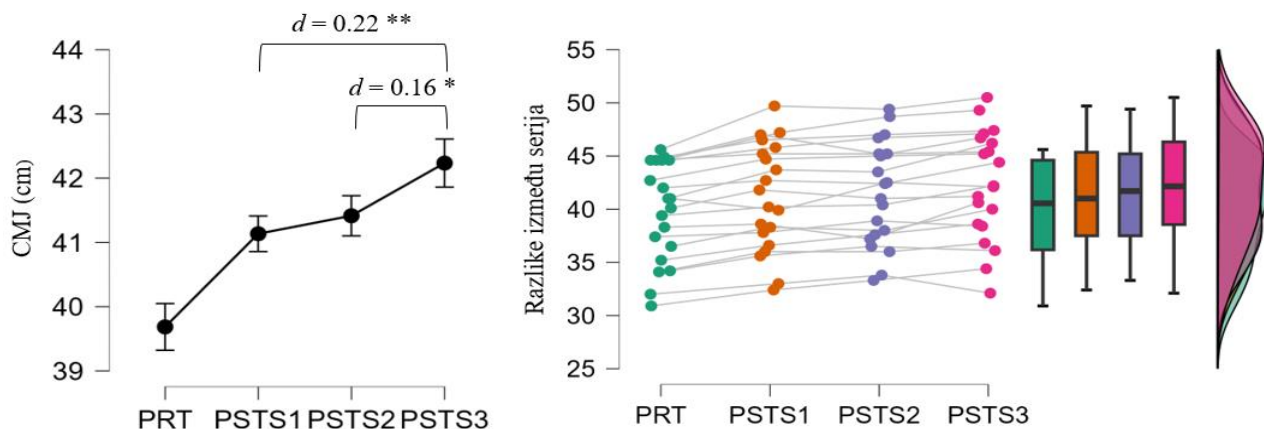
Sve tri vrste potencijacije rezultirale su statistički značajnim povećanjem visine CMJ-a: ECC90% ($F = 33.27$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.63$), EC60% ($F = 16.53$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.46$) EC40% ($F = 4.99$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.20$). S obzirom da su rezultati ANOVA analize pokazali narušenu sferičnosti Mauchly test ($p < 0.05$) kod EC60% i EC40% primjenjena je Greenhouse-Geisser korekcija kako bi se izbjegla vjerovatnoća greške tipa I.

Tabela 2. Razlike između pretesta i posttesta unutar 3 serije nakon tri različite potencijacije

Potencijacija	Serie	t	p vrijednost	d (95% CI)
ECC90%	PSTS1	5.96	< 0.001	(0.09-0.49)
	PSTS2	6.60	< 0.001	(0.12-0.58)
	PSTS3	8.26	< 0.001	(0.20-0.82)
EC60%	PSTS1	6.23	< 0.001	(0.09-0.48)
	PSTS2	6.23	< 0.001	(0.12-0.63)
	PSTS3	5.81	< 0.001	(0.13-0.75)
EC40%	PSTS1	0.86	1.00	(0.10-0.20)
	PSTS2	0.59	1.00	(0.12-0.19)
	PSTS3	5.90	< 0.001	(0.06-0.30)

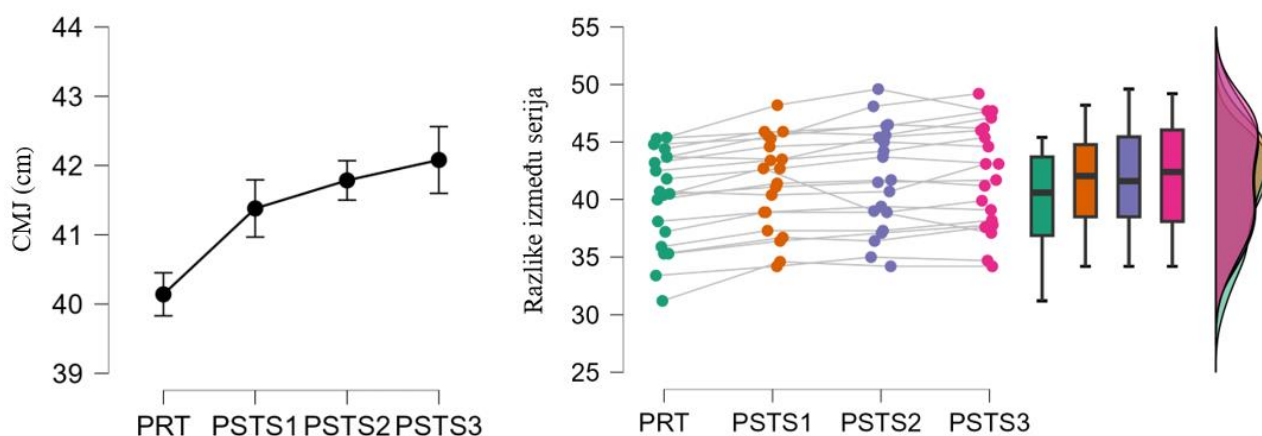
PSTS1 - posttest serija 1; PSTS2 - posttest serija 2; PSTS3 - posttest serija 3; t - dobijena t vrijednost; p - značajnost; d (95% CI) - veličina efekta sa intervalom pouzdanosti 95%

Post hoc analizom utvrđeno je da su potencijacije, ECC90% (131.6 ± 17.2 kg) i EC60% (88.7 ± 11.8 kg) imale statistički značajan uticaj na visinu CMJ-a nakon sve tri serije (Tabela 2). Prosječna visina CMJ-a nakon potencijacije sa ECC90% povećala se za 2.81 ± 1.08 cm, što je ekvivalentno poboljšanju od 7.3%. Nakon analize pojedinačnih serija, prosječno povećanje visine vertikalnog skoka nakon prve serije iznosilo je 1.5 cm ili 3.8% i malom veličinom efekta ($ES = 0.29$). Povećanje visine CMJ-a nakon druge serije je iznosilo 1.8 cm ili 4.6% sa takođe, malom veličinom efekata ($ES = 0.35$). Visina vertikalnog skoka je bila veća nakon treće serije za 2.6 cm što odgovara poboljšanjima od 6.6% uz umjerenu veličinu efekta ($ES = 0.51$). Nadalje, prosječna visina CMJ-a nakon treće serije značajno se razlikuje u poređenju sa visinama skoka nakon prve ($p = 0.002$) i druge serije ($p = 0.038$), dok između visina skoka nakon prve i druge serije nema značajne razlike (Grafik 3).



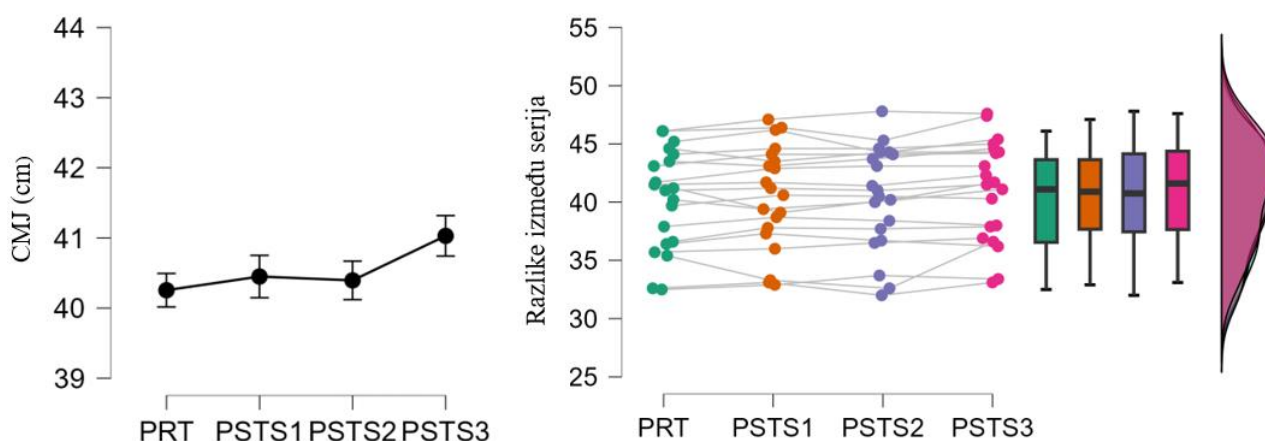
Grafik 3. Razlike između pretesta i posttesta u tri serije nakon potencijacije ECC90%. PRT – pretest; PSTS1 - posttest serija 1; PSTS2 - posttest serija 2; PSTS3 - posttest serija 3; d - Koenov koeficijent veličine efekta; ** Značajnost na $p < 0.01$; * Značajnost na $p < 0.05$

Slično kao i nakon ECC90%, potencijacija umjerenim opterećenjem uz brzu ekscentričnu kontrakciju, EC60%, izazvala je značajne razlike nakon sve tri serije (Tabela 2). Prosječno povećanje visine CMJ-a iznosilo je 2.45 ± 0.8 cm, što predstavlja 6.8%, dok su povećanja nakon pojedinačnih serija bila 1.2 cm, 1.6 cm i 1.9 cm, što odgovara poboljšanjima od 3%, 4% i 4.7% i malim veličinama efekta ($ES = 0.28, 0.37$ i 0.44), nakon prve, druge i treće serije, redosljedom (Grafik 4). Razlike u visini vertikalnog skoka između serija nisu bile statistički značajne.



Grafik 4. Razlike između pretesta i posttesta u tri serije nakon potencijacije EC60%. *PRT* – pretest; *PSTS1* - posttest serija 1; *PSTS2* - posttest serija 2; *PSTS3* - posttest serija 3

U odnosu na prethodne dvije vrste potencijacije, malo opterećenje, EC40% (60.1 ± 10 kg) sa brzom ekscentričnom kontrakcijom izazvalo je najmanje efekte na prosječnu visinu CMJ-a, sa povećanjem od 1 ± 0.3 cm, odnosno 2.5%. Pored toga, EC40% potencijacija nije imala značajan efekat na visinu CMJ-a nakon prve dvije serije. Nakon treće serije, visina vertikalnog skoka bila je značajno veća za 0.8 cm ili 2% u odnosu na pretest ali uz trivijalnu veličinu efekta ($ES = 0.17$), (Tabela 2). Takođe, prosječna visina skoka nije se značajno razlikovala između serija u posttestu (Grafik 5).



Grafik 5. Razlike između pretesta i posttesta u tri serije nakon potencijacije EC40%. *PRT* – pretest; *PSTS1* - posttest serija 1; *PSTS2* - posttest serija 2; *PSTS3* - posttest serija 3

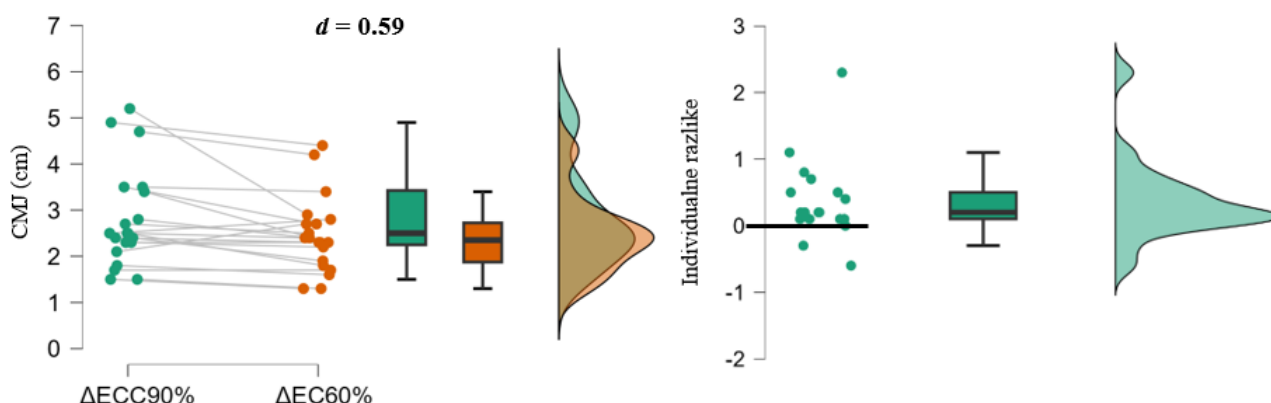
Rezultati su pokazali da se razlike (Δ), pretesta i najveće visine vertikalnog skoka u posttestu, kod sve tri potencijacije, značajno razlikuju, odnosno da su različiti intenziteti doveli do statistički značajnih razlika (Tabela 3).

Tabela 3. Razlike između 3 različite potencijacije na visinu CMJ

Potencijacije		t-test	p vrijednost	d (95% CI)
Δ ECC90%	Δ EC60%	2.68	0.014*	(0.12-1.07)
Δ ECC90%	Δ EC40%	9.02	< 0.001	(1.23-2.78)
Δ EC60%	Δ EC40%	9.51	< 0.001	(1.31-2.92)

Δ ECC90% - razlike između pretesta i posttesta; Δ EC60% - razlike između pretesta i posttesta; Δ EC40% - razlike između pretesta i posttesta; t - dobijena t vrijednost; d - Koenov koeficijent veličine efekta sa intervalom pouzdanosti 95%; * Značajnost na $p < 0.05$

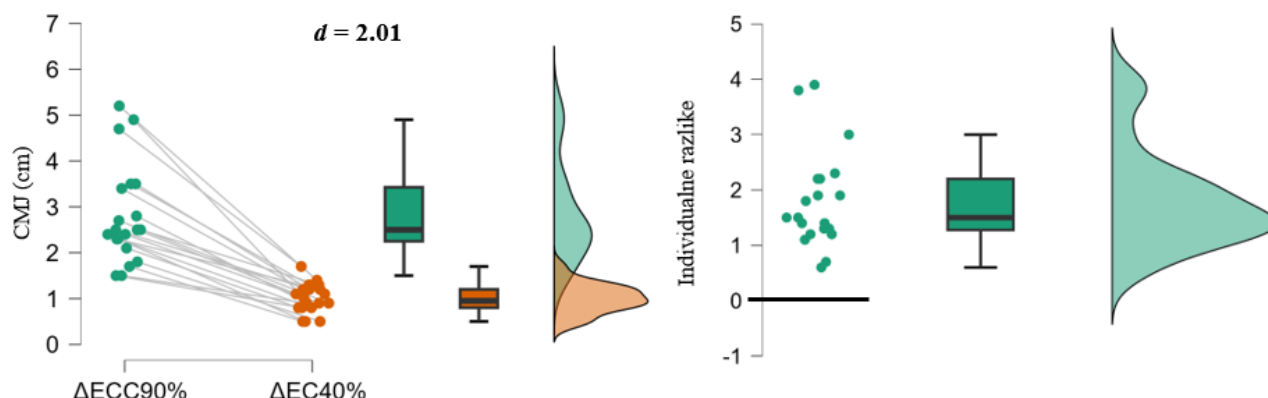
Razlika od 0.36 cm dobijena je prilikom poređenja (Δ ECC90%) i (Δ EC60%), uz umjerenu veličinu efekta i statističku značajnost $p < 0.05$. Na osnovu podataka se vidi da je u većini slučajeva postignuta veća vrijednost CMJ-a nakon primjene ECC90% u poređenju sa EC60%, što sugerise na izraženiji efekat potencijacije pri submaksimalnom intenzitetu. Prikaz individualnih razlika pokazuje da je većina ispitanika ostvarila pozitivnu promjenu CMJ-a nakon ECC90% potencijacije, što dodatno potvrđuje njegovu superiornost u indukciji PAP efekta (Grafik 6).



Grafik 6. Razlike između razlika pretesta i posttesta potencijacija ECC90% i EC60%.

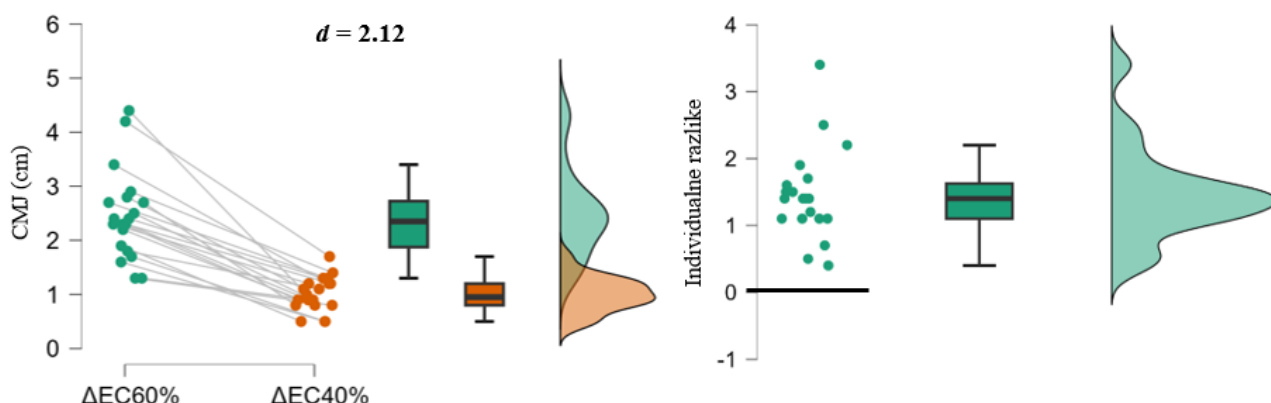
Δ ECC90% - razlike između pretesta i posttesta; Δ EC60% - razlike između pretesta i posttesta; d - Koenov koeficijent veličine efekta

Svi ispitanici ostvarili su znatno veću visinu skoka nakon primjene ECC90% potencijacije, dok su promjene nakon EC40% bile znatno manje izražene i u većem broju slučajeva bliske nultoj vrijednosti. (Grafik 7). Razlika između ovih vrsta potencijacije u prirastu visine CMJ-a od 1.81 cm potvrđena je i sa veoma velikom veličinom efekta.



Grafik 7. Razlike između razlika pretesta i posttesta potencijacija ECC90% i EC40%. $\Delta ECC90\%$ - razlike između pretesta i posttesta; $\Delta EC40\%$ - razlike između pretesta i posttesta; d - Koenov koeficijent veličine efekta

Visina CMJ-a je bila značajno veća poslije potencijacije EC60% nego sa EC40%. Svi ispitanici ostvarili su prosječno veći porast visine vertikalnog skoka nakon EC60%, što potvrđuju prikazane individualne razlike uz izuzetno veliku veličinu efekta (1.45 cm), (Grafik 8).



Grafik 8. Razlike između razlika pretesta i posttesta potencijacija ECC90% i EC40%. $\Delta ECC90\%$ - razlike između pretesta i posttesta; $\Delta EC40\%$ - razlike između pretesta i posttesta; d - Koenov koeficijent veličine efekta

9. Diskusija

Ova studija je bila dizajnirana da ispita uticaj tri različite vrste potencijacije na akutne efekte visine vertikalnog skoka (CMJ) kod studenata. Rezultati eksperimentalne procedure su pokazali da (1) potencijacija sa submaksimalnim dinamičkim (ECC90%) opterećenjem ima pozitivne akutne efekte na visinu vertikalnog skoka, (2) umjereno (EC60%) i (3) malo (EC40%) opterećenje kroz brzu ekscentričnu kontrakciju dovodi do akutnog povećanja visine CMJ-a, i na kraju, (4) potencijacije submaksimalnim dinamičkim (ECC90%) i umjerenim (EC60%) opterećenjem kroz brzu ekscentričnu kontrakciju imaju veći akutni efekat na visinu CMJ-a u poređenju sa malim EC40% opterećenjem sa brzom ekscentričnom kontrakcijom. Empirijski podaci ove studije su pokazali da su sve tri potencijacije značajno, akutno, uticale na visinu vertikalnog skoka s pripremom. Dalje, nalazi istraživanja ukazuju na potvrdu korišćenja potencijacija ECC90% i opravdanost EC60% za akutno povećanje visine CMJ-a, odnosno izazivanje efekata PAP-a, nakon pasivne pauze u trajanju od 6 minuta.

Rezultati ove studije su pokazali značajan akutni efekat primjene opterećenja 90% od 1RM-a kroz ekscentrično-koncentričnu kontrakciju (ECC90%) na povećanje visine vertikalnog skoka s pripremom. Prosječno povećanje visine CMJ-a za 7.3% nakon potencijacije ECC90% i šestominutne pasivne pauze sugerise da ovaj metod ima potencijal za akutno i značajno unapređenje eksplozivne snage kod sportista. Ovi rezultati potvrđuju prvu hipotezu ove studije koja govori da potencijacija kroz dinamičku mišićnu kontrakciju sa opterećenjem 90% od 1RM-a, akutno utiče na povećanje visine CMJ-a. Nalazi ove studije su u skladu sa rezultatima prethodnih istraživanja koja su ispitivala efekat submaksimalnih opterećenja na PAP. Na primjer, studija Evetovich i saradnika (2015) pokazala je da primjena opterećenja 85% od 1RM-a u vježbi čučanj može dovesti do značajnog povećanja visine vertikalnog skoka. Slično tome, Bauer i saradnici (2019) utvrdili su da primjena submaksimalnog opterećenja 90% od 1RM-a i umjerenog 60% od 1RM-a, u ekscentrično-koncentričnim kontrakcijama može poboljšati performanse skoka kod iskusnih sportista, nakon 3 do 7 minuta pauze. Takođe, Kobal i saradnici (2019) su pokazali da izvođenje 1 do 3 serije polučučnjeva sa umjerenim do maksimalnim intenzitetom, 60% od 1RM-a pa do intenziteta 1RM, može efikasno poboljšati visinu CMJ-a kod visoko treniranih sportista. Meta-analiza koju su sproveli Dobbs i saradnici (2019) takođe je potvrdila efikasnost submaksimalnog opterećenja u indukciji PAP efekta. Dalje, Lowery i saradnici (2012) ustanovili su da i umjereno opterećenje, 70% i blizu maksimalno opterećenje 93%, od 1RM-a, u čučnju mogu podjednako da povećaju visinu skoka.

Pretpostavlja se da su mehanizmi koji objašnjavaju pozitivan uticaj submaksimalnog opterećenja zasnovani na akumulaciji povoljnih neuromišićnih promjena nakon potencijacije (Ebben, 2006). Smatra se da ove adaptacije rezultuju povećanom efikasnošću formiranja poprečnih mostova između aktinskih i miozinskih filamenata, tokom svake naredne mišićne kontrakcije istog mišića. Dodatno, aktivacija brzih mišićnih vlakana tipa II se pojačava poslije submaksimalnih naprezanja ekscentrično-koncentričnom kontrakcijom. Ovo je posljedica regrutovanja većeg procenta velikih motornih jedinica, što dovodi do većeg broja istovremeno aktivnih mišićnih vlakana i veće brzine kontrakcije mišića, pri sledećoj mišićnoj akciji čime možemo objasniti naknadne PAP efekte (Seitz i sar., 2016; Kobal i sar., 2019). Osim perifernih efekata u samom mišiću, postoje i značajne neurološke adaptacije koje doprinose PAP fenomenu. Ekscitacija CNS-a se povećava nakon izvođenja submaksimalnih opterećenja tako što kontrakcija izaziva pojačanu sinaptičku pobudu u kičmenoj moždini i veću ekscitabilnost alfa-motoneurona, što rezultuje većim postsinaptičkim potencijalima u motornim jedinicama aktivnih mišića (Lorenz, 2011). Istovremeno, moguće su i promjene u refleksnim odgovorima, odnosno smanjenje inhibicije preko Goldžijevog tetivnog organa, a i H-refleks može biti pojačan nakon submaksimalnih opterećenja (Hodgson i sar., 2005).

Značajan nalaz u ovom istraživanju jeste da se najizraženiji PAP efekat, na visinu vertikalnog skoka nakon potencijacije sa ECC90%, desio nakon treće serije, dok su prve dvije serije imale relativno male efekte. Serijska progresivna povećanja prosječne visine CMJ-a sugerišu da kumulativni efekat ponovljenih serija može dovesti do većeg povećanja eksplozivne snage. Rezultati su u skladu sa studijom Seitza i saradnika (2016), koji su utvrdili da višestruke serije visokog opterećenja dovode do značajnijeg PAP efekta u poređenju sa jednom serijom. Ovi nalazi se mogu objasniti konceptom kumulativne potencijacije, odnosno, ponovljene serije sa submaksimalnim opterećenjem mogu postepeno povećavati nivo postaktivacijske facilitacije (Wilson i sar., 2013; Gahreman i sar., 2020). Ipak, treba naglasiti da u potencijacijskim protokolima treba postojati ravnoteža između potencijacije i odmora. Izvođenjem prevelikog broja serija može doći do kumulativnog umora tako da pozitivni efekti na PAP-a mogu biti poništeni (Naclerio i sar., 2015). Isto tako, nedovoljno vrijeme oporavka između serija ili prekratak interval do mjerenja visine vertikalnog skoka može dovesti do slabijeg ili odloženog PAP efekta kao posljedica prisutnog zamora (Lowery i sar., 2012). U protokolu potencijacije sa ECC90%, 3 serije su bile dovoljne da se maksimizira PAP efekat a da pri tom ispitanici nisu ušli u stanje značajnog neuromišićnog zamora. Ovakav nalaz je praktično značajan i sugerise da treneri trebaju planirati višestruke serije sa submaksimalnim opterećenjem kako bi pojačali PAP efekt, ali uz adekvatne pauze i praćenje indikatora umora.

Nalazi ove studije dodatno ističu kompleksnost interakcije faktora koji determinišu efekte PAP-a, naročito u kontekstu potencijacije izazvane brzim ekscentričnim kontrakcijama primjenjenim kao izolovan potencijacijski podražaj, pri čemu se analiza dobijenih rezultata pokazuje kao posebno zahtjevana. Direktna poređenja sa prethodnim istraživanjima su metodološki ograničena zbog varijacija u ključnim eksperimentalnim parametrima, uključujući intenzitet opterećenja, trajanje pauze, broj serija i ponavljanja, kao i tip populacije ispitanika. Međutim, rezultati ovog istraživanja dodatno doprinose razumijevanju uslova pod kojima ekscentrična stimulacija može imati pozitivan efekat na PAP. Naime, u ovom istraživanju, primjenom brzih ekscentričnih kontrakcija sa opterećenjem od 60% od 1RM-a (EC60%), i pauze od 6 minuta između potencijacijskog stimulusa i izvođenja CMJ-a, zabilježen je prosječan porast visine skoka od 6.8%, čime je potvrđena druga hipoteza ovog istraživanja. Pored toga, uočen je i serijski trend poboljšanja prosječne visine CMJ-a, u rasponu od 3% do skoro 5%, što ukazuje na stabilan i progresivan efekat potencijacije. Ovi nalazi dobijeni su na uzorku studenta, rekreativno treniranih ispitanika, što dodatno proširuje primjenljivost protokola na širu populaciju.

Nalazi studije Kannas i saradnika (2024), u kojoj je korišćena ekscentrična stimulacija sa 5 ponavljanja na 85% od 1RM-a, trajanjem ekscentrične faze od 4 s (*oko 30°/s*) i pauzom od 2 minuta, pokazali su odsustvo značajnog efekta PAP-a kod visoko treniranih sportista. Nasuprot tome, dobiveni rezultati sugerišu drugačiji fiziološki odgovor, vjerovatno kao posledicu primjene nižeg intenziteta opterećenja i dužeg vremenskog intervala između potencijacije i testiranja potencijalnih efekata. U pomenutoj studiji nije došlo do značajnog poboljšanja CMJ-a, što autori pripisuju izraženom umoru izazvanom velikim opterećenjem i nedovoljnom dužinom pauze. S druge strane, rezultati Bogdanis i saradnika (2014) takođe pružaju relevantan kontekst za poređenje. U njihovom istraživanju, primjena ekscentričnih kontrakcija sa 70% od 1RM-a, dovela je do značajnih poboljšanja CMJ-a, pri čemu je pauza između potencijacije i testiranja bila 3 minuta. Iako brzina ekscentrične faze nije bila kontrolisana, pozitivni efekti potvrđuju da niži intenzitet u kombinaciji sa dovoljnom dužinom odmora može izazvati efikasan PAP odgovor. Na osnovu navedenih komparativnih rezultata, može se zaključiti da je u okviru ekscentrične stimulacije ključna sinergija između umjerenog intenziteta, brzine pokreta i optimalne dužine pauze za manifestaciju pozitivnih efekata PAP-a. Dobijeni nalazi dodatno potvrđuju da i kod rekreativno aktivne studentske populacije, pravilno dozirana potencijacija brзом ekscentričnom kontrakcijom sa dužinom pauze 6 minuta može rezultirati značajnim poboljšanjima eksplozivnih sposobnosti vertikalnog tipa. Takođe, neophodno je istaći da biomehanička i neurofiziološka adaptacija na ekscentrični stimulus može značajno varirati

između visoko treniranih sportista i rekreativaca. Kod visoko treniranih pojedinaca, kao što je prikazano u studiji Kannas i saradnika (2024) PAP se manifestuje u užem vremenskom okviru i zahtjeva preciznije optimalne uslove kako bi nadmašio akutni umor. Nasuprot tome, kod rekreativaca, u šta možemo svrstati i ispitanike ovog istraživanja, efekat PAP-a može biti izraženiji i stabilniji, vjerovatno zbog manjeg prethodnog izlaganja visokim intenzitetima treninga, kao i zahvaljujući produženom periodu oporavka koji omogućava da se efekti potencijacije ispolje bez uticaja umora. U tom smislu, naši rezultati potvrđuju da brze ekscentrične kontrakcije sa 60% od 1RM-a, primjenjene u kontrolisanim uslovima sa odgovarajućim periodom pauze, predstavljaju efikasnu strategiju za akutno poboljšanje vertikalne eksplozivne sposobnosti, sa potencijalnom primjenom u različitim sportskim i rekreativnim kontekstima.

Jako bitna činjenica je da su dosadašnje studije pokazale da ekscentrični tip treninga ima uticaja na brzo pomijeranje teških lanaca miozina koje utiče na poboljšanja kod ispoljavanja sile odnosno jačine i snage (Walker i sar., 2016; Bridgeman i sar., 2017; Lloyd i sar., 2021). Dalje, zabilježeno je da ekscentrična kontrakcija povećava senzitivnost aktinsko-miozinskih mostova pa na osnovu toga poboljšava efikasnost narednih koncentričnih kontrakcija (Tillin & Bishop, 2009). Posledično, pri narednoj kontrakciji za istu koncentraciju Ca^{2+} oslobođenog iz sarkoplazmatičnog retikuluma dobija se snažniji odgovor, odnosno, brže formiranje mostova između aktina i miozina i veća generisana mišićna sila (Beato i sar., 2019). Takođe, brza ekscentrična kontrakcija povećava nervnu ekscitaciju i regrutaciju motornih jedinica a samim tim vrši optimizaciju generisanja sile (Seitz & Haff, 2016). Takođe ekscentrična kontrakcija, naročito ako je izvedena brzo, može privremeno povećati korišćenje elastične energije u mišićno-tetivnim strukturama (Kubo i sar., 2002). Iako se 60% od 1RM-a čini relativno umjereno, u ekscentričnom režimu to opterećenje može generisati znatnu silu. Prednost ovog intenziteta je što indukuje gore navedene pozitivne promjene uz manje metaboličkog i nervnog zamora nego submaksimalni intenzitet. Teorija sugerise da submaksimalna opterećenja, 85-90% od 1RM-a, mogu dati jači potencijacijski signal, ali i veći privremeni pad performansi zbog akumulacije zamora (Naclerio i sar., 2015). S tim u vezi, pozitivni rezultati, uticaja potencijacije sa umjerenim opterećenjem kroz brzu ekscentričnu kontrakciju, dobijeni u ovom istraživanju mogu se djelimično objasniti prethodno navedenim činjenicama.

Prosječna visina CMJ-a nakon primjene potencijacije brzim ekscentričnim kontrakcijama 40% od 1RM-a bila je veća za 2.5%. Iako su ove vrijednosti najmanje u poređenju sa prosječnim visinama skokova koje su izmjerene nakon prethodne dvije metode potencijacije, ECC90% i EC60%, navedeno povećanje i dalje ima značajnu praktičnu vrijednost sa aspekta akutnog poboljšanja neuromišićne performanse. Značajno je napomenuti da su ECC90% i EC60% pokazale serijski progresivan rast visine skokova kroz serije, dok je kod EC40% zabilježen pad visine skoka u drugoj seriji, nakon čega je tek u trećoj seriji ostvaren akutni efekat povećanja od 2%. Shodno navedenom, treća hipoteza istraživanja može biti samo djelimično prihvaćena. Izostanak pozitivnog efekta u ranijim serijama nakon primjene EC40% podudara se sa rezultatima studije Aboodarda i saradnika (2014), gdje je potvrđeno da manja ekscentrična opterećenja, 20-30% od TM mogu uticati pozitivno na kinetičku snagu, ali ne nužno i na visinu vertikalnog skoka. Izostanak efekta nakon druge serije ne može se pripisati faktoru umora zbog relativno niskog intenziteta i obima rada, već prije svega nedovoljnoj veličini ekscentričnog opterećenja za stvaranje dovoljno jakog neuromišićnog stimulusa za indukovanje PAP-a. Činjenica je i da mala opterećenja obično ne regrutuju maksimalan broj velikih motoričkih jedinica, te je i stepen postaktivacione facilitacije mišića manji (Tillin & Bishop, 2009; Hester i sar., 2017). Ovi nalazi su u skladu sa zaključcima drugih istraživanja koja ukazuju na kompleksnu zavisnost efekata PAP od optimalne kombinacije intenziteta opterećenja i trajanja odmora (Wilson i sar., 2013; Seitz & Haff, 2016).

Pored toga, zanimljivo je uporediti navedene rezultate sa rezultatima istraživanja koje su sprovedi Lloyd i saradnici (2021), gdje su mladi sportisti nakon primjene tehnike „drop jump“ sa dodatnim opterećenjem 15% od telesne mase (TM) ostvarili značajan akutni porast visine CMJ-a.

Slične pozitivne rezultate primijetili su i Aboodarda i saradnici (2013), koji su potvrdili da primjena dodatnog elastičnog opterećenja dovodi do značajno većeg akutnog povećanja visine vertikalnog skoka i to za čak 9.52% u odnosu na protokole u kojima je korišćeno dodatno opterećenje od 20% TM ili bez dodatnog opterećenja, samo TM. Na primjer, Bridgeman i saradnici (2017) su prijavili poboljšanja visine CMJ-a nakon primjene opterećenjima od 20% TM tokom skokova u dubinu ali taj efekat je izostao nakon opterećenja sa 30% TM, vjerovatno zbog prevelikog zamora. Ovi nalazi potvrđuju da je intenzitet opterećenja bitan faktor kod programiranja za izazivanje PAP-a. Iako su Lloyd i saradnici (2021), kao i Aboodarda i saradnici (2013) istraživali na uzorku mladih sportista, treba naglasiti da su u ovom radu uzorak bili dobro utrenirani studenti, što ukazuje na mogućnost sličnih adaptivnih neuro-mišićnih odgovora na primijenjena dodatna opterećenja i kod drugih populacija treniranih ispitanika (Cormie i sar., 2011; Suchomel i sar., 2016). Ali isto tako to može biti i razlog izostanka efekata povećanja CMJ-a nakon prve dvije serije potencijacije sa EC40%. Ipak se smatra da se pozitivni efekti na povećanje visine CMJ-a nakon treće serije potencijacije EC40% mogu pripisati tome da malo opterećenje koje se izvodi velikom brzinom može dovesti do visokog nivoa aktivacije mišićnih vlakana, gotovo istog kao što se bilježi pri većim opterećenjima (Kawamori & Haff, 2004). Upravo ovo može biti objašnjenje zbog čega je u našem istraživanju primjena opterećenja od 40% od 1RM-a, uz naglašeno brzu ekscentričnu komponentu pokreta, bila dovoljna za izazivanje merljivog povećanja visine skoka ali u posljednjoj seriji. Dobijeni nalazi nakon primjene EC40%, djelomično potvrđuju univerzalnu prirodu akutnih mehanizama povećanja eksplozivne snage nakon primjene specifičnih opterećenja kod uzorka različitog stepena treniranosti.

Analizirajući razlike potencijacijskih efekata, najveći je uočen nakon primjene ECC90%. Potencijacija sa EC60% pokazala je značajno manji akutni efekat na povećanje CMJ visine u poređenju sa ECC90%, ali značajno veći od nakon EC40%, čime je potvrđena i četvrta hipoteza ove studije. Ovi rezultati su u skladu sa nalazima prethodnih studija koje su pokazale da submaksimalna opterećenja imaju veći efekat u odnosu na umjerena opterećenja (Seitz i sar., 2016; Petisco i sar., 2019). U skladu s navedenim istraživanjima, rezultati o akutnim efektima PAP-a na visinu vertikalnog skoka ukazuju na značajne razlike u zavisnosti od intenziteta i načina izvođenja vježbe potencijacije. Opterećenje 90% od 1RM-a u dinamičkoj ekscentrično-koncentričnoj kontrakciji smatra se jednim od najsnažnijih podražaja za induciranje PAP-a. Studije poput onih koje su sprovedi Beato i saradnici (2019) pokazuju izrazito pozitivne efekte ovog protokola, gdje je nakon odmora od 3 do 7 minuta zabilježen porast CMJ-a čak do 12%, posebno kod dobro utreniranih ispitanika. Ovaj efekat pripisuje se značajnom povećanju regrutacije motornih jedinica visokog praga, fosforilaciji miozinskih lanaca te povećanoj refleksnoj ekscitabilnosti (Wilson i sar., 2013; Beato i sar., 2019). Međutim, ovako visoko opterećenje nosi rizik od izraženijeg akutnog zamora, što inicijalno može prikriti potencijal pozitivnog efekta potencijacije. S tim u vezi preporučuje period pauze oko 6 minuta da bi se omogućilo potpuno ispoljavanje PAP efekta (Wilson i sar., 2013). S druge strane, umjereno ekscentrično opterećenje 60% od 1RM-a, izvedeno veoma brzo, pokazuje se kao jednako efikasna potencijacija, ali i potencijalno praktičnija alternativa. Nalaze koje su naveli Smilios i saradnici (2005) kasnije su potvrdili i Wilson i saradnici (2013), umjereno ekscentrično opterećenje može da rezultira sličnim ili čak većim veličinama efekta u odnosu na submaksimalna opterećenja. Ovo se objašnjava optimalnim balansom između dovoljno intenzivnog podražaja za regrutaciju brzih motornih jedinica i značajno smanjenog zamora. Upravo taj niži nivo metaboličkog i neuromišićnog zamora omogućava brži oporavak i ranije pojavljivanje PAP efekata (Wilson i sar., 2013). Ekscentrično naglašena faza doprinosi dodatnoj senzitivnosti miotatičkog refleksa, što povećava ukočenost tetivno-mišićnog kompleksa i time dodatno može da pozitivno utiče na eksplozivne akcije narednih kontrakcija (Stastny i sar., 2024). Kada je riječ o uticaju malog opterećenja 40% od 1RM-a, kroz brzu ekscentričnu fazu nalazi nisu konzistentni i efekti ovog modaliteta su generalno bili manje izraženi ili čak odsutni u prve dvije serije. S tim u vezi, ovaj modalitet može biti koristan kao dio dinamičkog zagrijavanja radi povećanja temperature mišića ili specifične pripreme, ali ne kao samostalan protokol za induciranje klasičnog PAP efekta.

Poredeći ova tri modaliteta potencijacije, ključna razlika se odnosi na interakciju između intenziteta i izazvanog zamora. Dok protokol ECC90% pruža snažan stimulus za PAP, on zahtijeva pažljivije programiranje optimalne pauze zbog mogućeg zamora. Ekscentrični protokol sa 60% od 1RM-a omogućava manifestaciju pozitivnog efekta na visinu vertikalnog skoka, manje varijabilnosti u individualnom odgovoru i jednostavniju primjenu u praksi, naročito kod ispitanika srednjeg nivoa snage i iskustva. Nasuprot tome, EC40% ima ograničen potencijal za primjenu isključivo kao PAP protokol. Zaključno, oba modaliteta (90% i 60% od 1RM-a) mogu biti izuzetno efektivna kada su pravilno prilagođena individualnim potrebama. Generalno, ekscentrični protokol sa 60% od 1RM-a kroz veliku brzinu kontrakcije preporučuje se kao praktičnija opcija za dobro utrenirane pojedince, dok je protokol 90% od 1RM-a kroz dinamički režim rada primjenjiviji za vrhunski trenirane pojedince sposobne da iskoriste njegov puni potencijal.

Pauza od 6 minuta korišćena u ovom istraživanju pokazala se optimalnom za postizanje pozitivnih efekata PAP-a pri opterećenjima od ECC90% i EC60%, što je konzistentno s nalazima prethodnih istraživanja. Optimalno trajanje pauze između potencijacijske vježbe i naredne eksplozivne aktivnosti jedan je od ključnih faktora koji determinišu uspješnost PAP protokola (Seitz i sar., 2016). Dosadašnje studije pokazuju varijabilnost optimalnog trajanja odmora, u zavisnosti od intenziteta opterećenja, vrste primijenjene vježbe, ali i trenažnog statusa sportista (Wilson i sar., 2013). Tako, Bridgeman i saradnici (2017) su zabilježili značajno povećanje vertikalnog skoka kada su korišćene pauze od 2 i 6 minuta u poređenju s dužim intervalima odmora, što sugerise da produženje intervala iznad određenog praga može umanjiti potencijalni efekat PAP-a, zbog smanjene neuromišićne aktivacije. Nadalje, Arias i saradnici (2016) navode da su kraći intervali odmora 3 do 5 minuta pogodniji u slučajevima kada se koriste pliometrijske vježbe i niži intenziteti, jer omogućavaju dovoljan stepen aktivacije bez značajnijeg zamora. S druge strane, duže pauze 7 do 10 minuta preporučuju se kada se PAP stimuliše maksimalnim ili supramaksimalnim opterećenjima, gdje su zahtjevi za oporavkom nervnog sistema i energetske obnove značajno veći. U tom kontekstu, interval od 6 minuta, primijenjen u ovoj studiji, može se posmatrati kao optimalni kompromis, pružajući dovoljan period za povratak neurona u stanje visoke ekscitabilnosti i istovremeno sprečavajući nastanak prekomjernog zamora koji bi mogao negativno uticati na performanse skoka. Također, naučna literatura sugerise da efikasnost PAP efekta zavisi i od stepena utreniranosti pojedinaca, gdje bolje utrenirani sportisti brže postižu optimalnu neuromuskularnu aktivaciju, što im omogućava korištenje kraćih intervala odmora za postizanje vrhunskih performansi (Kilduff i sar., 2008; Wilson i sar., 2013). S druge strane, osobe nižeg nivoa utreniranosti često zahtijevaju duže pauze zbog sporije neuromišićne adaptacije i većeg stepena zamora nakon aktivacijskog podražaja (Gouvêa i sar., 2013). Osim toga, meta-analitičke studije ističu značaj individualnog pristupa određivanju optimalnog trajanja pauze, pri čemu je naglašena potreba personalizacije intervala odmora kako bi se postigla maksimalna efikasnost PAP protokola (Dobbs i sar., 2019). Stoga, pauza od 6 minuta, primijenjena u ovom istraživanju, može biti opšteprihvatljiva, ali se istovremeno preporučuje dodatno istraživanje individualnih razlika kako bi se optimalno prilagodile specifičnosti svakog pojedinca.

Na osnovu rezultata ove i prethodnih studija jasno je da izbor optimalnog opterećenja i specifičnih protokola, uključujući broj serija i trajanje odmora između serija, ima ključnu ulogu u iskorišćavanju akutnih efekata PAP-a, naročito kod brzih ekscentričnih kontrakcija malog intenziteta. Iz toga proizilazi potreba za budućim istraživanjima koja bi detaljnije proučila interakciju različitih protokola potencijacije sa varirajućim intenzitetima ekscentričnog rada i brzina kontrakcije, naročito imajući u vidu specifične zahtjeve različitih sportova i različitih nivoa utreniranosti sportista.

9.1. Ograničenja studije

Izbor uzorka ispitanika bio je ograničen u pogledu obučenosti rada sa spoljašnjim opterećenjem što sigurno utiče na generalizaciju nalaza i zaključaka. Veći uzorak omogućio bi precizniji uvid u efekte različitih potencijacija i potencijalno smanjio varijabilnost rezultata. Dalje, uzorak ispitanika bio je relativno homogen u pogledu pola i nivoa treniranosti. Uključivanjem ispitanika različitih polova i nivoa fizičke spremnosti omogućilo bi bolju analizu individualnih varijacija te bolje razumevanje uticaja čučnja na visinu CMJ-a u različitim populacijama. Vremenski interval pauze između potencijacije i CMJ-a bio je fiksno postavljen na 6 minuta, što može uticati na neuromišićni oporavak, gubitak efekata te samim tim i na ispoljavanje performansi ispitanika nakon primjene malih opterećenja. Buduća istraživanja bi trebala ispitati efekte različitih dužina pauza kako bi se bolje razumjela njihova uloga u optimizaciji potencijacije sa brzim ekscentričnim kontrakcijama na visinu CMJ-a. Ovo bi moglo otkriti potencijalno veće efekte malih opterećenja nakon kraćih perioda odmora u odnosu na pauzu 6 minuta koja je korišćena u ovom istraživanju. Takođe, korišćenje platformi sile (eng. *Force plates*), kao zlatnog standarda za testiranje vertikalnih skokova, omogućila bi generisanje većeg broja varijabli za analizu CMJ-a. Povećanje broja serija potencijacije takođe bi trebalo biti razmotreno za dalja istraživanja. Dalje, analiza elektromiografske aktivnosti mišića (EMG) sa integrisanom analizom platformi sile sigurno bi dala preciznije podatke kinematičkih parametara.

10. Zaključak

Rezultati sprovedenog eksperimentalnog istraživanja jasno ukazuju da intenzitet primijenjenog potencijacijskog protokola ima presudan uticaj na visinu CMJ-a kod utreniranih studenata. Najveće akutno poboljšanje performansi zabilježeno je nakon primjene protokola sa ECC90%, što potvrđuje da potencijacija submaksimalnim opterećenjem ostvaruje izražen efekat na PAP. Potencijacijski protokol sa EC60%, takođe je doveo do statistički značajnog porasta visine vertikalnog skoka, ali u manjoj meri u poređenju sa protokolom od ECC90%, dok je najniži ispitivani intenzitet EC40% pokazao minimalan efekat. Ovi rezultati dodatno potvrđuju superiornost umjerenih i visokointenzivnih postaktivacijskih podražaja u odnosu na podražaje nižeg intenziteta, koji ne obezbjeđuju adekvatan neuromišićni impuls potreban za manifestaciju izraženije potencijacije. Nalazi naglašavaju važnost primjene dovoljno snažnog stimulusa kako bi se maksimalno aktivirao neuromišićni sistem i postiglo kratkoročno unapređenje eksplozivne snage kod utreniranih studenata. Sveukupno posmatrano, istraživanje je pokazalo da se efekat PAP-a može uspješno inducirati kod utreniranih studenata, ali da njegov obim direktno zavisi od intenziteta primijenjenog protokola. Interval pauze od 6 minuta pokazao se kao optimalan u kontekstu potencijacijskih protokola koji uključuju umjerene i submaksimalne intenzitete, omogućavajući adekvatnu ravnotežu između oporavka i zadržavanja potencijacijskih efekata.

10.1. Značaj istraživanja

Naučni značaj ovog istraživanja prije svega se ogleda u unapređenju teorijskih spoznaja o fenomenu postaktivacijske potencijacije. Sistematskim poređenjem efekata tri različita potencijacijska protokola, studija je obezbedila nove empirijske dokaze o uticaju intenziteta predopterećenja na akutno ispoljavanje eksplozivne snage. Time je popunjena praznina u literaturi i potvrđena pretpostavka da umjereni potencijacijski podražaji sa velikim brzinama kontrakcije predstavljaju efikasan okidač PAP efekta kod utreniranih pojedinaca, čime su još preciznije definisani uslovi i ograničenja ovog fenomena u sportskoj nauci.

Pored teorijskog doprinosa, istraživanje ima i značajnu metodološku vrijednost za naučnu zajednicu. Korišćen je eksperimentalni dizajn uz kontrolu relevantnih varijabli, čime je osigurana pouzdanost i validnost dobijenih rezultata. Primjena standardizovanih protokola potencijacije i preciznih mjernih instrumenata u ocenjivanju visine skoka omogućila je detaljnu i objektivnu analizu PAP efekta. Na taj način, ovaj rad uspostavlja metodološki okvir koji se može primijeniti u budućim istraživanjima, olakšavajući uporedivost nalaza i podstičući dalje proučavanje akutnih neuromišićnih adaptacija na različite vrste predopterećenja.

Praktični značaj dobijenih rezultata ogleda se u njihovoj neposrednoj primjenljivosti u trenažnom procesu. Saznanja o razlikama u efektima različitih PAP protokola omogućavaju trenerima da efikasnije programiraju ciljane vježbe potencijacije radi poboljšanja eksplozivnih performansi sportista. Na osnovu nalaza da visoko intenzivna 90% od 1RM-a i umjerena 60% od 1RM-a predopterećenja proizvode adekvatne efekte na visinu skoka, praktičari mogu implementirati takve protokole u trenažni proces kako bi akutno povećali eksplozivna svojstva. Pri tome je važno obezbediti adekvatan period odmora nakon potencijacijskog opterećenja, kako bi se umanjili efekti zamora i u potpunosti iskoristila postaktivacijska potencijacija.

Za pojedince srednjeg nivoa treniranosti, ili u situacijama kada je primarni cilj izbjeći prevelik, mišićno-ligamentarni stres i zamor, može se primijeniti umjereno opterećenje 60% od 1RM-a kao potencijacijski stimulus kroz brzu ekscentričnu kontrakciju. Ovakav pristup pruža poboljšanje eksplozivnih sposobnosti uz manji rizik od akutnog zamora ili povrede, što ga čini pogodnim za učestaliju upotrebu tokom trenažnih mikrociklusa. Nasuprot tome, najniži ispitivani intenzitet 40%

od 1RM-a sa brzom ekscentričnom kontrakcijom, pokazao je ograničenu efikasnost u indukovanju PAP efekta kod utreniranih pojedinaca. S tim u vezi, takav protokol može preporučiti uglavnom početnicima ili kao dio zagrijavanja, kada cilj nije maksimalna potencijacija, već postepena aktivacija mišića. U praksi, izbor odgovarajućeg PAP protokola treba da bude prilagođen nivou pripremljenosti sportiste i konkretnim ciljevima treninga. Kada je cilj maksimalno povećanje eksplozivne snage preporučuje se primjena protokola submaksimalnog i umjerenog intenziteta. Ovakva diferencirana primjena nalaza ovog istraživanja omogućava trenerima da optimizuju trenažni proces i unaprijede takmičarske performanse svojih sportista na osnovu naučno potvrđenih činjenica.

11. Literatura

1. Aagaard, P., Simonsen, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, P., & Dyhre-Poulsen, P. (2002). Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *Journal of Applied Physiology*, 93(4), 1318–1326. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00283.2002>
2. Aagaard, P., Simonsen, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, S. P., Halkjaer-Kristensen, J., & Dyhre-Poulsen, P. (2000). Neural inhibition during maximal eccentric and concentric quadriceps contraction: effects of resistance training. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 89(6), 2249–2257. <https://doi.org/10.1152/jappl.2000.89.6.2249>
3. Aboodarda, S. J., Byrne, J. M., Samson, M., Wilson, B. D., Mokhtar, A. H., & Behm, D. G. (2014). Does performing drop jumps with additional eccentric loading improve jump performance?. *Journal of strength and conditioning research*, 28(8), 2314–2323. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000498>
4. Aboodarda, S. J., Yusof, A., Abu Osman, N. A., Thompson M. W., & Mokhtar, A. H. (2013). Enhanced performance with elastic resistance during the eccentric phase of a countermovement jump. *International journal of sports physiology and performance*, 8(2), 181–187. <https://doi.org/10.1123/ijsp.8.2.181>
5. Ahtiainen, J. P., Pakarinen, A., Alen, M., Kraemer, W. J., & Häkkinen, K. (2005). Muscle hypertrophy, hormonal adaptations and strength development during strength training in strength-trained and untrained men. *European Journal of Applied Physiology*, 89(6), 555–563. <https://doi.org/10.1007/s00421-003-0833-3>
6. Alamo, L., Pinto, A., Sulbarán, G., & Padrón, R. (2015). Lessons from a tarantula: New insights into muscle thick filament and myosin interacting-heads motif structure and function. *Biophysical Reviews*, 7(2), 83–95. <https://doi.org/10.1007/s12551-015-0150-5>
7. Amano, M., Ito, M., Kimura, K., Fukata, Y., Chihara, K., Nakano, T., Matsuura, Y., & Kaibuchi, K. (1996). Phosphorylation and activation of myosin by Rho-associated kinase (Rho-kinase). *The Journal of biological chemistry*, 271(34), 20246–20249. <https://doi.org/10.1074/jbc.271.34.20246>
8. Anthi, X., Dimitrios, P., & Christos, K. (2014). On the mechanisms of post-activation potentiation: the contribution of neural factors. *Journal of Physical Education and Sport*, 14(2), 134–137. [doi:10.7752/jpes.2014.02021](https://doi.org/10.7752/jpes.2014.02021)
9. Arabatzi, F., Patikas, D., Zafeiridis, A., Giavroudis, K., Kannas, T., Gourgoulis, V., & Kotzamanidis, C. M. (2014). The post-activation potentiation effect on squat jump performance: age and sex effect. *Pediatric exercise science*, 26(2), 187–194. <https://doi.org/10.1123/pes.2013-0052>
10. Arias, J. C., Coburn, J. W., Brown, L. E., & Galpin, A. J. (2016). The Acute Effects of Heavy Deadlifts on Vertical Jump Performance in Men. *Sports (Basel, Switzerland)*, 4(2), 22. <https://doi.org/10.3390/sports4020022>
11. Babault, N., Pousson, M., Ballay, Y., & Van Hoecke, J. (2001). Activation of human quadriceps femoris during isometric, concentric, and eccentric contractions. *Journal of Applied Physiology*, 91(6), 2628–2634. <https://doi.org/10.1152/jappl.2001.91.6.2628>
12. Bai, Z., Zhang, D., Liang, D., Chen, X., Shi, X., & Chen, S. (2025). Effect of Eccentric Training with Different Durations, Intensities, and Contraction Velocities on Upper Limb Muscle Strength: A Meta-Analysis. *Life*, 15(3), 456. <https://doi.org/10.3390/life15030456>
13. Baudry, S., & Duchateau, J. (2007). Postactivation potentiation in a human muscle: effect on the rate of torque development of tetanic and voluntary isometric contractions. *Journal of Applied Physiology*, 102(4), 1394–1401. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00854.2006>
14. Baudry, S., & Duchateau, J. (2004). Postactivation potentiation in human muscle is not related to the type of maximal conditioning contraction, *Muscle & nerve*, 30(3), 328–336. <https://doi.org/10.1002/mus.20101>

15. Bauer, P., Sansone, P., Mitter, B., Makivic, B., Seitz, L. B., & Tschann, H. (2019). Acute Effects of Back Squats on Countermovement Jump Performance Across Multiple Sets of a Contrast Training Protocol in Resistance-Trained Men. *Journal of strength and conditioning research*, 33(4), 995–1000. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002422>
16. Beato, M., Bigby, A. E. J., De Keijzer, K. L., Nakamura, F. Y., Coratella, G., & McErlain-Naylor, S. A. (2019). Post-activation potentiation effect of eccentric overload and traditional weightlifting exercise on jumping and sprinting performance in male athletes. *PloS one*, 14(9), e0222466. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222466>
17. Beato, M., De Keijzer, K. L., Leskauskas, Z., Allen, W. J., Dello Iacono, A., & McErlain-Naylor, S. A. (2021a). Effect of Postactivation Potentiation After Medium vs. High Inertia Eccentric Overload Exercise on Standing Long Jump, Countermovement Jump, and Change of Direction Performance. *Journal of strength and conditioning research*, 35(9), 2616–2621. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003214>
18. Beato, M., McErlain-Naylor, S. A., Halperin, I., & Dello Iacono, A. (2020). Current Evidence and Practical Applications of Flywheel Eccentric Overload Exercises as Postactivation Potentiation Protocols: A Brief Review. *International journal of sports physiology and performance*, 15(2), 154–161. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2019-0476>
19. Beato, M., Stiff, A., & Coratella, G. (2021b). Effects of Postactivation Potentiation After an Eccentric Overload Bout on Countermovement Jump and Lower-Limb Muscle Strength. *Journal of strength and conditioning research*, 35(7), 1825–1832. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003005>
20. Beyer, R., Kongsgaard, M., Hougs Kjær, B., Øhlenschläger, T., Kjær, M., & Magnusson, S. P. (2015). Heavy Slow Resistance Versus Eccentric Training as Treatment for Achilles Tendinopathy: A Randomized Controlled Trial. *The American journal of sports medicine*, 43(7), 1704–1711. <https://doi.org/10.1177/0363546515584760>
21. Binder-Macleod, S. A., Dean, J. C., & Ding, J. (2002). Electrical stimulation factors in potentiation of human quadriceps femoris. *Muscle & nerve*, 25(2), 271–279. <https://doi.org/10.1002/mus.10027>
22. Blazevich, A. J., & Babault, N. (2019). Post-activation Potentiation Versus Post-activation Performance Enhancement in Humans: Historical Perspective, Underlying Mechanisms, and Current Issues. *Frontiers in physiology*, 10, 1359. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01359>
23. Bogdanis, G. C., Tsoukos, A., Veligekas, P., Tsolakis, C., & Terzis, G. (2014). Effects of muscle action type with equal impulse of conditioning activity on postactivation potentiation. *Journal of strength and conditioning research*, 28(9), 2521–2528. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000444>
24. Borba, D. A., Ferreira-Júnior, J. B., Santos, L. A., Carmo, M. C., & Coelho, L. G. M. (2017). Effect of post-activation potentiation in athletics: A systematic review. *Revista Brasileira de Cineantropometria Desempenho Humano* 19, 128–138 <https://doi.org/10.1590/1980-0037.2017v19n1p128>
25. Boullousa, D., Beato, M., Dello Iacono, A., 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. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2020-0350>
26. Bridgeman, L. A., McGuigan, M. R., Gill, N. D., & Dulson, D. K. (2017). The Effects of Accentuated Eccentric Loading on the Drop Jump Exercise and the Subsequent Postactivation Potentiation Response. *Journal of strength and conditioning research*, 31(6), 1620–1626. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001630>
27. Chen, Y., Su, Q., Yang, J., Li, G., Zhang, S., Lv, Y., & Yu, L. (2023). Effects of rest interval and training intensity on jumping performance: a systematic review and meta-analysis investigating post-activation performance enhancement. *Frontiers in physiology*, 14, 1202789. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1202789>

28. Chiu, L. Z., Fry, A. C., Weiss, L. W., Schilling, B. K., Brown, L. E., & Smith, S. L. (2003). Postactivation potentiation response in athletic and recreationally trained individuals. *Journal of strength and conditioning research*, 17(4), 671–677. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2003\)017<0671:ppriaa>2.0.co;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2003)017<0671:ppriaa>2.0.co;2)
29. Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2011). Developing maximal neuromuscular power: Part 1-biological basis of maximal power production. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 41(1), 17–38. <https://doi.org/10.2165/11537690-000000000-00000>
30. Cormier, P., Freitas, T. T., & Seaman, K. (2024). A systematic review of resistance training methodologies for the development of lower body concentric mean power, peak power, and mean propulsive power in team-sport athletes. *Sports biomechanics*, 23(10), 1229–1262. <https://doi.org/10.1080/14763141.2021.1948601>
31. Cormier, P., Freitas, T. T., Loturco, I., Turner, A., Virgile, A., Haff, G. G., Blazevich, A. J., Agar-Newman, D., Henneberry, M., Baker, D. G., McGuigan, M., Alcaraz, P. E., & Bishop, C. (2022). Within Session Exercise Sequencing During Programming for Complex Training: Historical Perspectives, Terminology, and Training Considerations. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 52(10), 2371–2389. <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01715-x>
32. Cuenca-Fernández, F., Smith, I. C., Jordan, M. J., MacIntosh, B. R., López-Contreras, G., Arellano, R., & Herzog, W. (2017). Nonlocalized postactivation performance enhancement (PAPE) effects in trained athletes: a pilot study. *Applied physiology, nutrition, and metabolism = Physiologie appliquee, nutrition et metabolisme*, 42(10), 1122–1125. <https://doi.org/10.1139/apnm-2017-0217>
33. Damas, F., Libardi, C. A., & Ugrinowitsch, C. (2018). The development of skeletal muscle hypertrophy through resistance training: the role of muscle damage and muscle protein synthesis. *European journal of applied physiology*, 118(3), 485–500. <https://doi.org/10.1007/s00421-017-3792-9>
34. De Hoyo, M., de la Torre, A., Pradas, F., Sañudo, B., Carrasco, L., Mateo-Cortes, J., Domínguez-Cobo, S., Fernandes, O., & Gonzalo-Skok, O. (2015). Effects of eccentric overload bout on change of direction and performance in soccer players. *International journal of sports medicine*, 36(4), 308–314. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1395521>
35. Del Vecchio, A., Casolo, A., Negro, F., Scorcelletti, M., Bazzucchi, I., Enoka, R., Felici, F., & Farina, D. (2019). The increase in muscle force after 4 weeks of strength training is mediated by adaptations in motor unit recruitment and rate coding. *The Journal of physiology*, 597(7), 1873–1887. <https://doi.org/10.1113/JP277250>
36. Dello Iacono, A., Martone, D., & Padulo, J. (2016). Acute Effects of Drop-Jump Protocols on Explosive Performances of Elite Handball Players. *Journal of strength and conditioning research*, 30(11), 3122–3133. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001393>
37. Dello Iacono, A., & Seitz, L. B. (2018). Hip thrust-based PAP effects on sprint performance of soccer players: heavy-loaded versus optimum-power development protocols. *Journal of sports sciences*, 36(20), 2375–2382. <https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1458400>
38. Ditch, J.C.. (2024). Acute Potentiation on Vertical Jump Performance Following Accentuated Eccentric Loaded Back Squats in Male High School Basketball Players, *Doctoral Dissertations and Projects*, Liberty University, Lynchburg, VA
39. 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. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002750>
40. 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. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2.4.439>
41. Douglas, J., Pearson, S., Ross, A., & McGuigan, M. (2017). Eccentric Exercise: Physiological Characteristics and Acute Responses. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 47(4), 663–675. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0624-8>

42. Duchateau, J., & Baudry, S. (2014). Insights into the neural control of eccentric contractions. *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md. : 1985), 116(11), 1418–1425. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00002.2013>
43. Ebben W, P. (2006). A brief review of concurrent activation potentiation: theoretical and practical constructs. *Journal of strength and conditioning research*, 20(4), 985–991. <https://doi.org/10.1519/R-19375.1>
44. Ebben, W.P., Jensen, R.L., & Blackard, D.O. (2000). Electromyographic and Kinetic Analysis of Complex Training Variables. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 14, 451–456.
45. Enoka, R. M., & Duchateau, J. (2008). Muscle fatigue: What, why and how it influences muscle function. *Journal of Physiology*, 586(1), 11–23. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2007.139477>
46. Enoka, R. M., & Duchateau, J. (2017). Rate Coding and the Control of Muscle Force. *Cold Spring Harbor perspectives in medicine*, 7(10), a029702. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a029702>
47. Eon, P., Jubeau, M., & Cattagni, T. (2024). Post-activation potentiation after isometric contractions is strongly related to contraction intensity despite the similar torque-time integral. *Experimental physiology*, 109(6), 915–925. <https://doi.org/10.1113/EP091700>
48. Esformes, J. I., Keenan, M., Moody, J., & Bampouras, T. M. (2011). Effect of different types of conditioning contraction on upper body postactivation potentiation. *Journal of strength and conditioning research*, 25(1), 143–148. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181fef7f3>
49. 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. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000728>
50. Franchi, M. V., Reeves, N. D., & Narici, M. V. (2017). Skeletal Muscle Remodeling in Response to Eccentric vs. Concentric Loading: Morphological, Molecular, and Metabolic Adaptations. *Frontiers in physiology*, 8, 447. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00447>
51. Friedmann-Bette, B., Bauer, T., Kinscherf, R., Vorwald, S., Klute, K., Bischoff, D., Müller, H., Weber, M. A., Metz, J., Kauczor, H. U., Bärtsch, P., & Billeter, R. (2010). Effects of strength training with eccentric overload on muscle adaptation in male athletes. *European journal of applied physiology*, 108(4), 821–836. <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1292-2>
52. Gabbett, T. J. (2016). The training—injury prevention paradox: Should athletes be training smarter and harder? *British Journal of Sports Medicine*, 50(5), 273–280. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095788>
53. Gahreman, D., Moghadam, M. A., Hoseininejad, E., Dehnou, V. V., Connor, J. D., Doma, K., & Stone, M. (2020). Postactivation potentiation effect of two lower body resistance exercises on repeated jump performance measures. *Biology of sport*, 37(2), 105–112. <https://doi.org/10.5114/biolSport.2020.93034>
54. Garbisu-Hualde, A., & Santos-Concejero, J. (2021). Post-Activation Potentiation in Strength Training: A Systematic Review of the Scientific Literature. *Journal of human kinetics*, 78, 141–150. <https://doi.org/10.2478/hukin-2021-0034>
55. García-Ramos, A. (2023). Optimal Minimum Velocity Threshold to Estimate the 1-Repetition Maximum: The Case of the Smit Machine Bench Press Exercise. *International journal of sports physiology and performance*, 18(4), 393–401. <https://doi.org/10.1123/ijssp.2022-0355>
56. Godwin, M. S., Fearnett, T., & Newman, M. A. (2021). The Potentiating Response to Accentuated Eccentric Loading in Professional Football Players. *Sports (Basel, Switzerland)*, 9(12), 160. <https://doi.org/10.3390/sports9120160>
57. Gomez B. A., Becerro-de-Bengoa-Vallejo, R., & Losa-Iglesias, M. E. (2016). Reliability of the OptoGait portable photoelectric cell system for the quantification of spatial-temporal parameters of gait in young adults. *Gait & posture*, 50, 196–200. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.08.035>
58. Gourgoulis, V., Aggeloussis, N., Kasimatis, P., Mavromatis, G., & Garas, A. (2003). Effect of a submaximal half-squats warm-up program on vertical jumping ability. *Journal of strength and*

- conditioning research, 17(2), 342–344. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2003\)017<0342:eoashw>2.0.co;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2003)017<0342:eoashw>2.0.co;2)
59. Gouvêa, A. L., Fernandes, I. A., César, E. P., Silva, W. A., & Gomes, P. S. (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. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.738924>
 60. Grange, R. W., Vandenboom, R., & Houston, M. E. (1993). Physiological significance of myosin light chain phosphorylation in skeletal muscle. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 18(3), 229–242. <https://doi.org/10.1139/h93-020>
 61. Guilhem, G., Doguet, V., Hauraix, H., Lacourpaille, L., Jubeau, M., Nordez, A., & Dorel, S. (2016). Muscle force loss and soreness subsequent to maximal eccentric contractions depend on the amount of fascicle strain in vivo. *Acta physiologica (Oxford, England)*, 217(2), 152–163. <https://doi.org/10.1111/apha.12654>
 62. Gullich, A., & Schmidtbleicher, D. (1996). MVC-induced short-term potentiation of explosive force. *New Studies in Athletics*, 11, 67–81.
 63. Haff, G. G., & Nimphius, S. (2012). Training principles for power. *Strength and Conditioning Journal*, 34(6), 2–12. <https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e31826db467>
 64. Haff, G. G., Ruben, R. P., Lider, J., Twine, C., & Cormie, P. (2015). A comparison of methods for determining the rate of force development during isometric midthigh clean pulls. *Journal of strength and conditioning research*, 29(2), 386–395. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000705>
 65. 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 (Bethesda, Md. : 1985)*, 88(6), 2131–2137. <https://doi.org/10.1152/jappl.2000.88.6.2131>
 66. Hamada, T., Sale, D. G., MacDougall, J. D., & Tarnopolsky, M. A. (2003). Interaction of fibre type, potentiation and fatigue in human knee extensor muscles. *Acta physiologica Scandinavica*, 178(2), 165–173. <https://doi.org/10.1046/j.1365-201X.2003.01121.x>
 67. Hamill, J., & Knutzen, K. (2009). *Biomechanical Basis of Human Movement*. 3rd ed.; Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams and Wilkins: Philadelphia, PA, USA.
 68. Harat, I., Clark, N. W., Boffey, D., Herring, C. H., Goldstein, E. R., Redd, M. J., Wells, A. J., Stout, J. R., & Fukuda, D. H. (2020). Dynamic post-activation potentiation protocol improves rowing performance in experienced female rowers. *Journal of sports sciences*, 38(14), 1615–1623. <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1754110>
 69. Herzog W. (2014). The role of titin in eccentric muscle contraction. *The Journal of experimental biology*, 217(Pt 16), 2825–2833. <https://doi.org/10.1242/jeb.099127>
 70. Hessel, A. L., Lindstedt, S. L., & Nishikawa, K. C. (2017). Physiological Mechanisms of Eccentric Contraction and Its Applications: A Role for the Giant Titin Protein. *Frontiers in physiology*, 8, 70. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00070>
 71. Hester, G. M., Pope, Z. K., Sellers, J. H., Thiele, R. M., & DeFreitas, J. M. (2017). Potentiation: Effect of ballistic and heavy exercise on vertical jump performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(3), 660–666.
 72. Hodgson, M., Docherty, D., & Robbins, D. (2005). Post-activation potentiation: underlying physiology and implications for motor performance. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 35(7), 585–595. <https://doi.org/10.2165/00007256-200535070-00004>
 73. Hody, S., Croisier, J. L., Bury, T., Rogister, B., & Leprince, P. (2019). Eccentric Muscle Contractions: Risks and Benefits. *Frontiers in physiology*, 10, 536. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00536>
 74. Hollander, D. B., Kraemer, R. R., Kilpatrick, M. W., Ramadan, Z. G., Reeves, G. V., Francois, M., Hebert, E. P., & Tryniecki, J. L. (2007). Maximal eccentric and concentric strength discrepancies between young men and women for dynamic resistance exercise. *Journal of strength and conditioning research*, 21(1), 34–40. <https://doi.org/10.1519/R-18725.1>

75. Hoppeler, H. (2016). Moderate Load Eccentric Exercise; A Distinct Novel Training Modality. *Frontiers in physiology*, 7, 483. <https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00483>
76. Hortobágyi, T., & Katch, F. I. (1990). Eccentric and concentric torque-velocity relationships during arm flexion and extension. Influence of strength level. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 60(5), 395–401. <https://doi.org/10.1007/BF00713506>
77. Hyldahl, R. D., & Hubal, M. J. (2014). Lengthening our perspective: morphological, cellular, and molecular responses to eccentric exercise. *Muscle & nerve*, 49(2), 155–170. <https://doi.org/10.1002/mus.24077>
78. Jarić, S. (1997). *Biomehanika humane lokomocije sa biomehanikom sporta*. Beograd: Dosije.
79. Kannas, T. M., Chalatzoglidis, G., Arvanitidou, E., Babault, N., Paizis, C., & Arabatzi, F. (2024). Evaluating the Efficacy of Eccentric Half-Squats for Post-Activation Performance Enhancement in Jump Ability in Male Jumpers. *Applied Sciences*, 14(2), 749. <https://doi.org/10.3390/app14020749>
80. Kasicki, K., Rydzik, Ł., Ambroży, T., Spieszny, M., & Koteja, P. (2024). The Impact of Post-Activation Performance Enhancement Protocols on Vertical Jumps: Systematic Review. *Applied Sciences*, 14(21), 9664. <https://doi.org/10.3390/app14219664>
81. Kawamori, N., & Haff, G. G. (2004). The optimal training load for the development of muscular power. *Journal of strength and conditioning research*, 18(3), 675–684. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2004\)18<675:TOTLFT>2.0.CO;27](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2004)18<675:TOTLFT>2.0.CO;27)
82. Keijzer, K. L., McErlain-Naylor, S. A., Dello Iacono, A., & Beato, M. (2020). Effect of Volume on Eccentric Overload-Induced Postactivation Potentiation of Jumps. *International journal of sports physiology and performance*, 15(7), 976–981. <https://doi.org/10.1123/ijsspp.2019-0411>
83. Kilduff, L. P., Bevan, H. R., Kingsley, M. I., 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. *Journal of strength and conditioning research*, 21(4), 1134–1138. <https://doi.org/10.1519/R-20996.1>
84. Kilduff, L. P., Owen, N., Bevan, H., Bennett, M., Kingsley, M. I., & Cunningham, D. (2008). Influence of recovery time on post-activation potentiation in professional rugby players. *Journal of sports sciences*, 26(8), 795–802. <https://doi.org/10.1080/02640410701784517>
85. Kobal, R., Pereira, L. A., Kitamura, K., Paulo, A. C., Ramos, H. A., Carmo, E. C., Roschel, H., Tricoli, V., Bishop, C., & Loturco, I. (2019). Post-Activation Potentiation: Is there an Optimal Training Volume and Intensity to Induce Improvements in Vertical Jump Ability in Highly-Trained Subjects?. *Journal of human kinetics*, 69, 239–247. <https://doi.org/10.2478/hukin-2019-0016>
86. Koźlenia, D., & Domaradzki, J. (2024). Postsubmaximal Isometric Full Squat Jump Potentiation in Trained Men. *Journal of strength and conditioning research*, 38(3), 459–464. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004647>
87. Krzysztofik, M., Wilk, M., Kolinger, D., Pisz, A., Świtała, K., Petruzela, J., & Stastny, P. (2023a). Acute Effects of Supra- and High-Loaded Front Squats on Mechanical Properties of Lower-Limb Muscles. *Sports (Basel, Switzerland)*, 11(8), 148. <https://doi.org/10.3390/sports11080148>
88. Krzysztofik, M., Wilk, M., Pisz, A., Kolinger, D., Bichowska, M., Zajac, A., & Stastny, P. (2023b). Acute Effects of High-Load vs. Plyometric Conditioning Activity on Jumping Performance and the Muscle-Tendon Mechanical Properties. *Journal of strength and conditioning research*, 37(7), 1397–1403. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004398>
89. Krzysztofik, M., Wilk, M., Pisz, A., Kolinger, D., Tsoukos, A., Zajac, A., Stastny, P., & Bogdanis, G. C. (2023c). Acute Effects of Varied Back Squat Activation Protocols on Muscle-Tendon Stiffness and Jumping Performance. *Journal of strength and conditioning research*, 37(7), 1419–1427. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004453>
90. Lambolley, C. R., Rouffet, D. M., Dutka, T. L., McKenna, M. J., & Lamb, G. D. (2020). Effects of high-intensity intermittent exercise on the contractile properties of human type I and type II skeletal muscle fibers. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 128(5), 1207–1216. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00014.2020>

91. LaStayo, P., Marcus, R., Dibble, L., Frajacom, F., & Lindstedt, S. (2014). Eccentric exercise in rehabilitation: safety, feasibility, and application. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 116(11), 1426–1434. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00008.2013>
92. Latash, M. L. (2008). *Neurophysiological basis of movement* (2nd ed.). Human Kinetics, USA.
93. Latorre Román, P. Á., Villar Macias, F. J., & García Pinillos, F. (2018). Effects of a contrast training programme on jumping, sprinting and agility performance of prepubertal basketball players. *Journal of sports sciences*, 36(7), 802–808. <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1340662>
94. Lee, M. M., Song, C. H., Lee, K. J., Jung, S. W., Shin, D. C., & Shin, S. H. (2014). Concurrent Validity and Test-retest Reliability of the OPTOGait Photoelectric Cell System for the Assessment of Spatio-temporal Parameters of the Gait of Young Adults. *Journal of physical therapy science*, 26(1), 81–85. <https://doi.org/10.1589/jpts.26.81>
95. Li, J., Soh, K. G., & Loh, S. P. (2024). The impact of post-activation potentiation on explosive vertical jump after intermittent time: a meta-analysis and systematic review. *Scientific reports*, 14(1), 17213. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-67995-7>
96. Liu, L., Niu, X., & Zhou, Z. (2024). Acute Effects of Different Conditioning Activities on the Post-Activation Performance Enhancement in Athletes' Jumping and Sprinting Performances: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Applied Sciences*, 14(20), 9301. <https://doi.org/10.3390/app14209301>
97. Lloyd, R. S., Howard, S. W., Pedley, J. S., Read, P. J., Gould, Z. I., & Oliver, J. L. (2021). The acute effects of accentuated eccentric loading on drop jump kinetics in adolescent athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 36(9), 2381–2386. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003911>
98. Lorenz, D. (2011). Postactivation potentiation: an introduction. *International journal of sports physical therapy*, 6(3), 234–240.
99. Loturco, I., Suchomel, T. J., Bishop, C., Kopal, R., Pereira, L. A., & McGuigan, M. R. (2018). Strength and conditioning practices in elite sport: A comparison between Australian and Brazilian coaches. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 13(3), 415–422. <https://doi.org/10.1177/1747954117747746>
100. Lowery, R. P., Duncan, N. M., Loenneke, J. P., Sikorski, E. M., Naimo, M. A., Brown, L. E., Wilson, F. G., & Wilson, J. M. (2012). The effects of potentiating stimuli intensity under varying rest periods on vertical jump performance and power. *Journal of strength and conditioning research*, 26(12), 3320–3325. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318270fc56>
101. Maffiuletti, N. A., Aagaard, P., Blazevich, A. J., Folland, J., Tillin, N., & Duchateau, J. (2016). Rate of force development: physiological and methodological considerations. *European journal of applied physiology*, 116(6), 1091–1116. <https://doi.org/10.1007/s00421-016-3346-6>
102. Magupalli, V. G., Mochida, S., Yan, J., Jiang, X., Westenbroek, R. E., Nairn, A. C., Scheuer, T., & Catterall, W. A. (2013). Ca²⁺-independent activation of Ca²⁺/calmodulin-dependent protein kinase II bound to the C-terminal domain of CaV2.1 calcium channels. *The Journal of biological chemistry*, 288(7), 4637–4648.
103. Mahlfeld, K., Franke, J., & Awiszus, F. (2004). Postcontraction changes of muscle architecture in human quadriceps muscle. *Muscle & nerve*, 29(4), 597–600. <https://doi.org/10.1002/mus.20021>
104. Markovic, G., Dizdar, D., Jukic, I., & Cardinale, M. (2004). Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. *Journal of strength and conditioning research*, 18(3), 551–555. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2004\)18<551:RAFVOS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2004)18<551:RAFVOS>2.0.CO;2)
105. Martin-Rodriguez, S., Gonzalez-Henriquez, J. J., Diaz-Conde, J. C., Calbet, J. A. L., & Sanchis-Moysi, J. (2024). The relationship between muscle thickness and pennation angle is mediated by fascicle length in the muscles of the lower extremities. *Scientific reports*, 14(1), 14847. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-65100-6>
106. McHugh, M. P. (2003). Recent advances in the understanding of the repeated bout effect: the protective effect against muscle damage from a single bout of eccentric exercise. *Scandinavian*

- journal of medicine & science in sports*, 13(2), 88–97. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0838.2003.02477.x>
107. McMahon, G. E., Morse, C. I., Burden, A., Winwood, K., & Onambélé, G. L. (2014). Impact of range of motion during ecologically valid resistance training protocols on muscle size, subcutaneous fat and strength. *Journal of strength and conditioning research*, 28(1), 245–255. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318297143a>
 108. Merrigan, J. J., Tufano, J. J., & Jones, M. T. (2021). Potentiating effects of accentuated eccentric loading are dependent upon relative strength. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(5), 1208–1216. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004010>
 109. Microgate, (2023). *OptoGait user manual*. Bolzano, Italy: Microgate. Retrieved from <https://medical.microgate.it/en/support/manuals>
 110. Mike, J. N., Cole, N., Herrera, C., VanDusseldorp, T., Kravitz, L., & Kerksick, C. M. (2017). The Effects of Eccentric Contraction Duration on Muscle Strength, Power Production, Vertical Jump, and Soreness. *Journal of strength and conditioning research*, 31(3), 773–786. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001675>
 111. Moir, G. L., Garcia, A., & Dwyer, G. B. (2009). Intersession reliability of kinematic and kinetic variables during vertical jumps in men and women. *International journal of sports physiology and performance*, 4(3), 317–330. <https://doi.org/10.1123/ijsp.4.3.317>
 112. Mörl, F., Siebert, T., & Häufle, D. (2016). Contraction dynamics and function of the muscle-tendon complex depend on the muscle fibre-tendon length ratio: a simulation study. *Biomechanics and modeling in mechanobiology*, 15(1), 245–258. <https://doi.org/10.1007/s10237-015-0688-7>
 113. Munger, C. N., Archer, D. C., Leyva, W. D., Wong, M. A., Coburn, J. W., Costa, P. B., & Brown, L. E. (2017). Acute Effects of Eccentric Overload on Concentric Front Squat Performance. *Journal of strength and conditioning research*, 31(5), 1192–1197. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001825>
 114. Murton, J., Eager, R., & Drury, B. (2021). Comparison of flywheel versus traditional resistance training in elite academy male rugby union players. *Research in Sports Medicine*, 1–14. <https://doi.org/10.1080/15438627.2021.1954518>
 115. Naclerio, F., Chapman, M., Larumbe-Zabala, E., Massey, B., Neil, A., & Triplett, T. N. (2015). Effects of Three Different Conditioning Activity Volumes on the Optimal Recovery Time for Potentiation in College Athletes. *Journal of strength and conditioning research*, 29(9), 2579–2585. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000915>
 116. Nedeljković, A. (2016). *Relacija sila-brzina u složenim pokretima: Nova metoda u testiranju mišićne sile, snage i brzine*. Beograd: Univerzitet u Beogradu. Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja.
 117. Nibali, M. L., Chapman, D. W., Robergs, R. A., & Drinkwater, E. J. (2015). Considerations for determining the time course of post-activation potentiation. *Applied physiology, nutrition, and metabolism = Physiologie appliquee, nutrition et metabolisme*, 40(11), 1163–1170. <https://doi.org/10.1139/apnm-2015-0175>
 118. Ojasto, T., & Häkkinen, K. (2009). Effects of different accentuated eccentric load levels in eccentric-concentric actions on acute neuromuscular maximal force, and power responses. *Journal of strength and conditioning research*, 23(3), 996–1004. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181a2b28e>
 119. Pajerska, K., Zajac, T., Mostowik, A., Mrzyglód, S., & Golas, A. (2020). Post activation potentiation (PAP) and its application in the development of speed and explosive strength in female soccer players: A review. *Journal of Human Sport and Exercise*, 16(1), 100–111.
 120. Parizi, M., Howard, E. W., & Tomasek, J. J. (2000). Regulation of LPA-promoted myofibroblast contraction: role of Rho, myosin light chain kinase, and myosin light chain phosphatase. *Experimental cell research*, 254(2), 210–220. <https://doi.org/10.1006/excr.1999.4754>
 121. Patus, J. (2021). Accentuated eccentric loading is superior to traditional loading for improving acute countermovement jump performance in adult resistance-trained males. *Journal of Sport Rehabilitation*, 30(6), 956–960. <https://doi.org/10.1123/jsr.2020-0411>

122. Peake, J. M., Neubauer, O., Della Gatta, P. A., & Nosaka, K. (2017). Muscle damage and inflammation during recovery from exercise. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 122(3), 559–570. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00971.2016>
123. Perić, D., & Petrović, B. (2015). Antropomotorika. Zakonitosti razvoja motoričkih sposobnosti čoveka. Banja Luka, BiH: Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja. Univerziteta u Banjoj Luci.
124. Petisco, C., Ramirez-Campillo, R., Hernández, D., Gonzalo-Skok, O., Nakamura, F. Y., & Sanchez-Sanchez, J. (2019). Post-activation Potentiation: Effects of Different Conditioning Intensities on Measures of Physical Fitness in Male Young Professional Soccer Players. *Frontiers in psychology*, 10, 1167. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01167>
125. Popp Marin, D., Anthony Astorino, T., Silva Serafim, A. I., Bertoldo Urtado, C., Prestes, J., Tubagi Polito, L. F., Otton, R. (2021). Comparison between traditional resistance exercise and variable resistance with elastic bands in acute vertical jump performance. *Human Movement*, 22(4), 28-35. <https://doi.org/10.5114/hm.2021.103287>
126. Prieske, O., Behrens, M., Chaabene, H., Granacher, U., & Maffiuletti, N. A. (2020). Time to Differentiate Postactivation "Potentiation" from "Performance Enhancement" in the Strength and Conditioning Community. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 50(9), 1559–1565. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01300-0>
127. Prieske, O., Maffiuletti, N. A., & Granacher, U. (2018). Postactivation Potentiation of the Plantar Flexors Does Not Directly Translate to Jump Performance in Female Elite Young Soccer Players. *Frontiers in physiology*, 9, 276. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00276>
128. Proske, U., & Gandevia, S. C. (2012). The proprioceptive senses: their roles in signaling body shape, body position and movement, and muscle force. *Physiological Reviews*, 92(4), 1651–1697. <https://doi.org/10.1152/physrev.00048.2011>
129. Qian, Z., Ping, L., & Xuelin, Z. (2023). Re-examining the mechanism of eccentric exercise-induced skeletal muscle damage from the role of the third filament titin (Review). *Biomedical reports*, 20(1), 14. <https://doi.org/10.3892/br.2023.1703>
130. Rassier, D. E., & Macintosh, B. R. (2000). Coexistence of potentiation and fatigue in skeletal muscle. *Brazilian journal of medical and biological research = Revista brasileira de pesquisas medicas e biologicas*, 33(5), 499–508. <https://doi.org/10.1590/s0100-879x2000000500003>
131. Requena, B., Gapeyeva, H., García, I., Ereline, J., & Pääsuke, M. (2008). Twitch potentiation after voluntary versus electrically induced isometric contractions in human knee extensor muscles. *European journal of applied physiology*, 104(3), 463–472. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0793-8>
132. Rixon, K. P., Lamont, H. S., & Bemben, M. G. (2007). Influence of type of muscle contraction, gender, and lifting experience on postactivation potentiation performance. *Journal of strength and conditioning research*, 21(2), 500–505. <https://doi.org/10.1519/R-18855.1>
133. Romero-Moraleda, B., Coso, J. D., Gutiérrez-Hellín, J., Ruiz-Moreno, C., Grgic, J., & Lara, B. (2019). The Influence of the Menstrual Cycle on Muscle Strength and Power Performance. *Journal of human kinetics*, 68, 123–133. <https://doi.org/10.2478/hukin-2019-0061>
134. Ruben, R. M., Molinari, M. A., Bibbee, C. A., Childress, M. A., Harman, M. S., Reed, K. P., & Haff, G. G. (2010). The acute effects of an ascending squat protocol on performance during horizontal plyometric jumps. *Journal of strength and conditioning research*, 24(2), 358–369. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181cc26e0>
135. Sale, D. G. (2002). Postactivation potentiation: role in human performance. *Exercise and sport sciences reviews*, 30(3), 138–143. <https://doi.org/10.1097/00003677-200207000-00008>
136. Schoenfeld, B. J. (2010). The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *Journal of strength and conditioning research*, 24(10), 2857–2872. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181e840f3>
137. Schoenfeld, B. J., Ogborn, D. I., Vigotsky, A. D., Franchi, M. V., & Krieger, J. W. (2017). Hypertrophic Effects of Concentric vs. Eccentric Muscle Actions: A Systematic Review and Meta-

- analysis. *Journal of strength and conditioning research*, 31(9), 2599–2608. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001983>
138. Seger, J. Y., & Thorstensson, A. (2005). Effects of eccentric versus concentric training on thigh muscle strength and EMG. *International journal of sports medicine*, 26(1), 45–52. <https://doi.org/10.1055/s-2004-817892>
 139. Seiberl, W., Hahn, D., Power, G. A., Fletcher, J. R., & Siebert, T. (2021). Editorial: The Stretch-Shortening Cycle of Active Muscle and Muscle-Tendon Complex: What, Why and How It Increases Muscle Performance?. *Frontiers in physiology*, 12, 693141. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.693141>
 140. 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. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 46(2), 231–240. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0415-7>
 141. 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. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182a73ea3>
 142. Seitz, L. B., Trajano, G. S., Haff, G. G., Dumke, C. C., Tufano, J. J., & Blazevich, A. J. (2016). Relationships between maximal strength, muscle size, and myosin heavy chain isoform composition and postactivation potentiation. *Applied physiology, nutrition, and metabolism = Physiologie appliquee, nutrition et metabolisme*, 41(5), 491–497. <https://doi.org/10.1139/apnm-2015-0403>
 143. Sharma, S. K., Raza, S., Moiz, J. A., Verma, S., Naqvi, I. H., Anwer, S., & Alghadir, A. H. (2018). Postactivation Potentiation Following Acute Bouts of Plyometric versus Heavy-Resistance Exercise in Collegiate Soccer Players. *BioMed research international*, 2018, 3719039. <https://doi.org/10.1155/2018/3719039>
 144. Sheppard, J. M., Cronin, J. B., Gabbett, T. J., McGuigan, M. R., Etxebarria, N., & Newton, R. U. (2008). Relative importance of strength, power, and anthropometric measures to jump performance of elite volleyball players. *Journal of strength and conditioning research*, 22(3), 758–765. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31816a8440>
 145. Siff, M. C., & Verkhoshansky, Y. V. (1999). *Supertraining*. Denver: Supertraining International.
 146. Smiliot, I., Pilianidis, T., Sotiropoulos, K., Antonakis, M., & Tokmakidis, S. P. (2005). Short-term effects of selected exercise and load in contrast training on vertical jump performance. *Journal of strength and conditioning research*, 19(1), 135–139. <https://doi.org/10.1519/14463.1>
 147. Stastny, P., Kolinger, D., Pisz, A., Wilk, M., Petruzela, J., & Krzysztofik, M. (2024). Effects of Eccentric Speed during Front Squat Conditioning Activity on Post-activation Performance Enhancement of Hip and Thigh Muscles. *Journal of human kinetics*, 91(Spec Issue), 5–18. <https://doi.org/10.5114/jhk/183917>
 148. Stojanović, D.M., Drid, P., Mikić, M., Ilić, B., & Ostojić, M.S. (2015). Suvremeni modeli razvoja dinamičke snage elitnih košarkaša – “Francuska kontrastna metoda”. *Kondicijski trening*, 13/2, 20-27.
 149. Stojanović, M. D. M., Mikić, M., Drid, P., Calleja-González, J., Maksimović, N., Belegišanin, B., & Sekulović, V. (2021). Greater Power but Not Strength Gains Using Flywheel Versus Equivolumed Traditional Strength Training in Junior Basketball Players. *International journal of environmental research and public health*, 18(3), 1181. <https://doi.org/10.3390/ijerph18031181>
 150. Stuart, D. S., Lingley, M. D., Grange, R. W., & Houston, M. E. (1988). Myosin light chain phosphorylation and contractile performance of human skeletal muscle. *Canadian journal of physiology and pharmacology*, 66(1), 49–54. <https://doi.org/10.1139/y88-009>
 151. Stull, J. T., Kamm, K. E., & Vandenboom, R. (2011). Myosin light chain kinase and the role of myosin light chain phosphorylation in skeletal muscle. *Archives of biochemistry and biophysics*, 510(2), 120–128. <https://doi.org/10.1016/j.abb.2011.01.017>

152. 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. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001288>
153. Suchomel, T. J., Wagle, J. P., Douglas, J., Taber, C. B., Harden, M., Haff, G. G., & Stone, M. H. (2019). Implementing eccentric resistance training—Part 1: A brief review of existing methods. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 4(2), 38. <https://doi.org/10.3390/jfmk4020038>
154. Sullivan, G. M., & Feinn, R. (2012). Using Effect Size-or Why the P Value Is Not Enough. *Journal of graduate medical education*, 4(3), 279–282. <https://doi.org/10.4300/JGME-D-12-00156.1>
155. Sung, E., Han, A., Hinrichs, T., Vorgerd, M., Manchado, C., & Platen, P. (2014). Effects of follicular versus luteal phase-based strength training in young women. *SpringerPlus*, 3, 668. <https://doi.org/10.1186/2193-1801-3-668>
156. Tillin, N. A., & Folland, J. P. (2014). Maximal and explosive strength training elicit distinct neuromuscular adaptations: Specificity of training adaptation. *European Journal of Applied Physiology*, 114(2), 365–374. <https://doi.org/10.1007/s00421-013-2781-x>
157. Tillin, N. A., & Bishop, D. (2009). Factors modulating post-activation potentiation and its effect on performance of subsequent explosive activities. *Sports medicine (Auckland. N.Z.)*, 39(2), 147–166. <https://doi.org/10.2165/00007256-200939020-00004>
158. Tilton, A., & Franchini, E. (2017). Postactivation potentiation in elite young soccer players. *Journal of exercise rehabilitation*, 13(2), 153–159. <https://doi.org/10.12965/jer.1734912.456>
159. Toigo, M., & Boutellier, U. (2006). New fundamental resistance exercise determinants of molecular and cellular muscle adaptations. *European journal of applied physiology*, 97(6), 643–663. <https://doi.org/10.1007/s00421-006-0238-1>
160. Tseng, K. W., Chen, J. R., Chow, J. J., Tseng, W. C., Condello, G., Tai, H. L., & Fu, S. K. (2021). Post-activation Performance Enhancement after a Bout of Accentuated Eccentric Loading in Collegiate Male Volleyball Players. *International journal of environmental research and public health*, 18(24), 13110. <https://doi.org/10.3390/ijerph182413110>
161. Tsolakis, C., Bogdanis, G. C., Nikolaou, A., & Zacharogiannis, E. (2011). Influence of type of muscle contraction and gender on postactivation potentiation of upper and lower limb explosive performance in elite fencers. *Journal of sports science & medicine*, 10(3), 577–583. PMID: [PMC3737817](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3737817/)
162. Van Hooren, B., Aagaard, P., Monte, A., & Blazevich, A. J. (2024). The role of pennation angle and architectural gearing to rate of force development in dynamic and isometric muscle contractions. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 34(5), e14639. <https://doi.org/10.1111/sms.14639>
163. Vandenboom, R. (2016). Modulation of Skeletal Muscle Contraction by Myosin Phosphorylation. *Comprehensive Physiology*, 7(1), 171–212. <https://doi.org/10.1002/cphy.c150044>
164. Vandervoort, A. A., & McComas, A. J. (1983). A comparison of the contractile properties of the human gastrocnemius and soleus muscles. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 51(3), 435–440. <https://doi.org/10.1007/BF00429079>
165. Vargas-Molina, S., Salgado-Ramírez, U., Chulvi-Medrano, I., Carbone, L., Maroto-Izquierdo, S., & Benítez-Porres, J. (2021). Comparison of post-activation performance enhancement (PAPE) after isometric and isotonic exercise on vertical jump performance. *PloS one*, 16(12), e0260866. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260866>
166. Verkhoshansky, Y., & Verkhoshansky, N. (2011). *Special Strength Training; Manual for Coaches*. Verkhoshansky, SSTM.
167. Vikne, H., Refsnes, P. E., Ekmark, M., Medbø, J. I., Gundersen, V., & Gundersen, K. (2006). Muscular performance after concentric and eccentric exercise in trained men. *Medicine and*

science in sports and exercise, 38(10), 1770–1781.

<https://doi.org/10.1249/01.mss.0000229568.17284.ab>

168. Wagle, J. P., Taber, C. B., Cunanan, A. J., Bingham, G. E., Carroll, K. M., DeWeese, B. H., Sato, K., & Stone, M. H. (2017). Accentuated Eccentric Loading for Training and Performance: A Review. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 47(12), 2473–2495. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0755-6>.
169. Walker, S., Blazevich, A. J., Haff, G. G., Tufano, J. J., Newton, R. U., & Häkkinen, K. (2016). Greater Strength Gains after Training with Accentuated Eccentric than Traditional Isoinertial Loads in Already Strength-Trained Men. *Frontiers in physiology*, 7, 149. <https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00149>
170. Wallace, B. J., Shapiro, R., Wallace, K. L., Abel, M. G., & Symons, T. B. (2019). Muscular and Neural Contributions to Postactivation Potentiation. *Journal of strength and conditioning research*, 33(3), 615–625. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003011>
171. Westing, S. H., Seger, J. Y., Karlson, E., & Ekblom, B. (1988). Eccentric and concentric torque-velocity characteristics of the quadriceps femoris in man. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 58(1-2), 100–104. <https://doi.org/10.1007/BF00636611>
172. Wilson, J. M., Duncan, N. M., Marin, P. J., Brown, L. E., Loenneke, J. P., Wilson, S. M., 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. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31825c2bdb>
173. Wisdom, K. M., Delp, S. L., & Kuhl, E. (2015). Use it or lose it: multiscale skeletal muscle adaptation to mechanical stimuli. *Biomechanics and modeling in mechanobiology*, 14(2), 195–215. <https://doi.org/10.1007/s10237-014-0607-3>
174. Xenofondos, A., Laparidis, K., Kyranoudis, A., Galazoulas, Ch., Bassa, E., Kotzamanidis, C. (2010). Post-activation potentiation: factors affecting it and the effect on performance. *Journal of Physical Education and Sport*, 28/3, 32-38.
175. Xenofondos, A., Papavasileiou, A., Bassa, E., Vrabas, I. S., & Patikas, D. A. (2023). Postactivation Potentiation and the Asynchronous Action of Muscular and Neural Responses. *International journal of sports physiology and performance*, 18(8), 852–860. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2022-0336>
176. Young, W.B., Jenner, A. & Griffiths, K. (1998). Acute enhancement of power performance from heavy load squats. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 12, 82–84.
177. Zatsiorsky, V. (Ed.). (2008). Biomechanics in sport: performance enhancement and injury prevention. (Vol. 9), John Wiley & Sons.
178. Zehr, E. P. (2002). Considerations for use of the Hoffmann reflex in exercise studies. *European journal of applied physiology*, 86(6), 455–468. <https://doi.org/10.1007/s00421-002-0577-5>

Prilog 1. Saglasnost sa procedurom testiranja

FORMULAR ZA SAGLASNOST SA PROCEDUROM TESTIRANJA

Istraživački projekat: Akutni efekti brzih ekscentričnih kontrakcija sa različitim veličinama opterećenjem na manifestaciju postaktivacijske potencijacije

ISTRAŽIVAČI: ma. Nemanja Zlojutro
Prof. dr Aleksandar Nedeljković
Prof. dr Borko Petrović

Ime ispitanika (pisanim slovima): _____

1. NAMENA I OPIS ISTRAŽIVANJA

Pozvani ste da učestvujete u istraživačkom projektu doktorske disertacije.

Ciljevi istraživanja su:

- 1: Ispitati uticaj opterećenja od 90% od 1 RMa kroz ekscentrično-koncentričnu kontrakciju na manifestaciju post aktivacijske potencijacije.
- 2: Ispitati uticaj opterećenja od 60% od 1 RMa kroz brzu ekscentričnu kontrakciju na manifestaciju post aktivacijske potencijacije.
- 3: Ispitati uticaj opterećenja od 40% od 1 RMa kroz brzu ekscentričnu kontrakciju na manifestaciju post aktivacijske potencijacije.

Vi nećete biti jedini već će najmanje 20 studenata biti uključeno u ovo istraživanje. Prikupljeni podaci će biti anonimni. Sve analize i obrada podataka će se koristiti samo u naučne svrhe. Takođe, uzećemo podatke koji se odnose na vaše antropometrijske karakteristike te neke fizičke performanse: 1 maksimalna repeticija i maksimalna visina vertikalnog skoka.

2. VAŠE UČEŠĆE U ISTRAŽIVANJU

Vaše učešće u istraživanju će obuhvatiti:

1. Merenje telesne visine, i utvrđivanje telesne kompozicije pomoću bioelektrične impedance Tanita BC-418MA, Tokio, Japan.
2. Procjena 1 maksimalne repeticije u zadnjem čučnju (1RM).
3. Zagrijavanje 20 minuta (10 min bicikl ergometer, Monark, Švedska; Mobilnost; dinamička fleksibilnost; zadnji čučanj na „Smit“ mašini, 2 serije x 4 ponavljanja sa oko 30% i 40% od 1 RM, pauza između serija 3 min.

4. Testiranje maksimalne visine vertikalnog skoka s pripremom (CMJ)
5. Izvođenje zadnjeg čučnja sa, 90% 1RM dinamičkom mišićnom kontrakcijom, sa 60% 1RM brzom ekscentričnom kontrakcijom i sa 40% 1RM brzom ekscentričnom kontrakcijom.

Ako imate bilo kakva pitanja ili želite dodatna objašnjenja, slobodno se obratite istraživačima navedenim na početku ovog dokumenta.

1. USLOVI UČEŠĆA U EKSPERIMENTU

Sve dobijene informacije i rezultati ove studije biće strogo povjerljivi. Vi lično nećete moći da budete identifikovani kao učesnik, izuzev po šifri koja će biti poznata samo istraživačima. U studiji možete prihvatiti prvu pomoć. Ako vam bude potrebna dodatna medicinska pomoć, bićete upućeni u studentsku ambulantu. Imate pravo da prekinete učešće u istraživanju u bilo kom trenutku.

2. KRITERIJUMI ZA UČEŠĆE U STUDIJI

U studiji nećete moći da učestvujete ukoliko patite od kardiovaskularnih, neuroloških problema, ili bilo kojih mišićnih povreda pretrpljenih u zadnja 3 mjeseca ili postoperativnih pojava (bol, otok...) koje mogu da utiču na rezultat eksperimenta ili mogu da budu ugrožene učešćem.

3. RIZICI I BENEFICIJE

Mogući rizici: možete osjetiti umor ili inflamaciju mišića akutnog karaktera.

Beneficije: dobićete uvid u tjelesni sastav na osnovu analize bioelektrične impedance i informacije o sopstvenoj 1 maksimalnoj repeticiji kod zadnjeg čučnja. Pored svega navedenog, doprinijete daljem razvoju nauke i boljim strategijama u oblasti fizičke aktivnosti.

4. KONTAKTI

U slučaju da imate bilo koje pitanje u vezi sa protokolom istraživanja, obratite se Nemanji Zlojutru (065/747-988). Takođe, u vezi bilo kakvih prava kao učesnik eksperimenta možete poslati mail Etičkom komitetu Fakulteta fizičkog vaspitanja i sporta, Univerziteta u Banjoj Luci (051/312-611).

5. POTVRDA ISPITANIKA

Pročitao/la sam ovaj dokument i priroda mog učešća, zahtjevi, rizici i beneficije su mi objašnjeni. Svestan/svesna sam i razumijem da u svakom trenutku i bez ikakvog obrazloženja mogu povući svoj pristanak za učešće u eksperimentu. Kopija ovog dokumenta mi je dostavljena.

POTPIS

Potpis ispitanika: _____ Datum: _____

Prilog 2. Saglasnost Etičke komisije za realizaciju istraživanja



УНИВЕРЗИТЕТ У БАЊОЈ ЛУЦИ
UNIVERSITY OF BANJA LUKA
ФАКУЛТЕТ ФИЗИЧКОГ ВАСПИТАЊА И СПОРТА
FACULTY OF PHYSICAL EDUCATION AND SPORTS



Broj: 11/1.989/24
Dana, 25.11.2024. godine

POTVRDA O ETIČKOM ODOBRENJU ISTRAŽIVANJA

Etički komitet Fakulteta fizičkog vaspitanja i sporta Univerziteta u Banjoj Luci na osnovu dostavljene dokumentacije i pregleda istraživačkog protokola, daje odobrenje za sprovođenje istraživanja pod nazivom:

"Akutni efekti brzih ekscentričnih kontrakcija sa različitim veličinama opterećenja na manifestaciju postaktivacijske potencijacije"

Nemanja Zlojutro je prodlazio istraživanje koje obuhvata sljedeće:

Problem, predmet i cilj istraživanja: Na osnovu pregleda i analize literature može se zaključiti da postoji nekonzistentno mišljenje kada su u pitanju opterećenja i režim rada mišića u vježbi predopterećenja na efekte ispoljavanja postaktivacijske potencijacije. Predmet ovog istraživanja je ispitivanje akutnih efekata različitih režima rada mišića i veličina opterećenja na post-aktivacijsku potencijaciju. Na osnovu definisanog problema i predmeta istraživanja postavljeni su ciljevi studije:

Pregled i analiza do sada korišćenih protokola, opterećenja, režima rada mišića i pauze između vježbi.

Pregled i analiza do sada korišćenih protokola za procjenu 1 RM-a, te instrumentarija, procedura i varijabli za mjerenje efekata post-aktivacijske potencijacije.

Evaluacija rezultata različitih protokola predopterećenja na akutne efekte post-aktivacijske potencijacije.

Metodologija: Ova studija će biti pre-eksperimentalnog dizajna (one-group pretest-posttest). Sva mjerenja će biti sprovedena u okviru 4 odvojene sesije sa po 7 dana pauze između svake sesije

Učesnici: Uzorak ispitanika će činiti 22 studenta muškog pola, 11 studenata Fakulteta Fizičkog Vaspitanja i Sporta i 11 studenata Fakulteta Bezbjednosnih nauka, Univerziteta u Banjoj Luci, starosti 19 do 22 godine.

Istraživanje će biti sprovedeno uz strogo poštovanje etičkih principa i uz saglasnost učesnika ili njihovih zakonskih zastupnika.

Komitet potvrđuje da su svi etički aspekti istraživanja ispunjeni, uključujući dobrovoljno učešće, anonimnost podataka, i pravo na povlačenje iz istraživanja u bilo kom trenutku.

Adriana Ljubojević, PhD

ФАКУЛТЕТ ФИЗИЧКОГ ВАСПИТАЊА И СПОРТА
Универзитет у Бањој Луци
Булевар војводе Петра Бојовића 1А
78000 Бања Лука
Република Српска, БиХ

Goran Bošnjak, PhD

FACULTY OF PHYSICAL EDUCATION
AND SPORTS
University of Banja Luka
Boulevard vojvode Petra Bojovića 1A
78000 Banja Luka
The Republic of Srpska, BiH

Aleksandar Kukrić, PhD

Тел/Phone: +387 (0) 51 31 22 80
info@ffvs.unibl.org
www.ffvs.unibl.org
Факс/Fax: +387 (0) 51 31 22 80

Nemanja Zlojutro^{1*}
 Filip Kukić¹
 Borko Petrović¹
 Marko Joksimović³
 Aleksandar Kukrić¹
 Saša Marković¹
 Aleksandar Nedeljković²



ACUTE EFFECTS OF FAST ECCENTRIC CONTRACTIONS WITH DIFFERENT LOAD ON THE POSTACTIVATION POTENTIATION

AKUTNI UČINKI HITRIH EKSCENTRIČNIH KONTRAKCIJ Z RAZLIČNO OBREMENTIVJO NA POSTAKTIVACIJSKO POTENCIRANJE

ABSTRACT

Background: This study aimed to investigate the acute effects of fast eccentric contractions with different load on the postactivation potentiation (PAP). **Methods:** Potentiation was performed using 3 sets of 3 repetitions with dynamic contractions (EC90%) at 90% of one repetition maximum (1RM), fast eccentric contractions at 60% (ECC60%), and 40% (ECC40%) 1RM on a sample of 20 students. The procedure was carried out in four sessions with a 7-day rest between sessions. Anthropometric measurements and 1RM assessment using the barbell squat on the Smith machine were conducted in the first session. Acute PAP effects were assessed based on kinematic parameters (h - maximal jump height) using pretest and posttest Countermovement Jump (CMJ) tests in the second, third, and fourth sessions. The rest period between the potentiation stimulus and CMJ was 6 minutes for all conditions. **Results:** Repeated measures ANOVA showed significant differences in jump height after all three types of potentiation ($p < .001$). Bonferroni post-hoc analysis revealed significant differences between EC90% (2.81 ± 1.08 cm) and ECC60% (2.45 ± 0.8 cm) potentiation ($p < .005$). Additionally, jump height after EC90% and ECC60% was significantly higher compared to ECC40% (1 ± 0.3 cm). **Conclusions:** The results suggest that dynamic loads of 90% 1RM, along with 60% and 40% via fast eccentric contractions, can be used for acute increases in CMJ height after 6 minutes of rest. Furthermore, potentiation with fast eccentric contractions and moderate load shows similar effects on CMJ height as dynamic submaximal loads, a valuable finding for strength and conditioning coaches.

Keywords: PAP, fast eccentric contraction, explosive strength, CMJ, OptoGait

¹*Faculty of Physical Education and Sport, University of Banja Luka, Banja Luka, Bosnia and Herzegovina*

²*Faculty of Sport and Physical Education, University of Belgrade, Belgrade, Serbia*

³*Faculty of Sport and Physical Education, University of Montenegro, Nikšić, Montenegro*

IZVLEČEK

Ozadje: Namen te študije je bil preučiti akutne učinke hitrih ekscentričnih kontrakcij z različnimi obremenitvami na postaktivacijsko potenciranje (PAP). **Metode:** Potenciranje je bilo izvedeno s 3 serijami po 3 ponovitve z dinamičnimi kontrakcijami (EC90%) pri 90 % enega maksimalnega ponavljanja (1RM), hitrimi ekscentričnimi kontrakcijami pri 60 % (ECC60%) in 40 % (ECC40%) 1RM na vzorcu 20 študentov. Postopek je bil izveden v štirih sejah s 7-dnevnim premorom med njimi. V prvi seji so bile opravljene antropometrične meritve in ocena 1RM pri počepu s palico na Smithovi napravi. Akutni učinki PAP so bili ocenjeni na podlagi kinematičnih parametrov (h – maksimalna višina skoka) s predtestnimi in potestnimi testi skoka z uporabo protokola Countermovement Jump (CMJ) v drugi, tretji in četrti seji. Odmor med potencirajočim dražljajem in CMJ je bil za vse pogoje 6 minut. **Rezultati:** Ponovljena analiza variance (ANOVA) je pokazala statistično značilne razlike v višini skoka po vseh treh vrstah potenciranja ($p < .001$). Bonferronijeva post-hoc analiza je razkrila pomembne razlike med potenciranjem EC90% (2.81 ± 1.08 cm) in ECC60% (2.45 ± 0.8 cm) ($p < .005$). Poleg tega je bila višina skoka po EC90% in ECC60% značilno višja v primerjavi z ECC40% (1 ± 0.3 cm). **Zaključki:** Rezultati kažejo, da lahko dinamične obremenitve pri 90 % 1RM ter hitre ekscentrične kontrakcije pri 60 % in 40 % 1RM povzročijo akutno povečanje višine CMJ po 6-minutnem odmoru. Nadalje je potenciranje s hitrimi ekscentričnimi kontrakcijami in zmerno obremenitvijo pokazalo podobne učinke na višino CMJ kot dinamične submaksimalne obremenitve, kar je dragocena ugotovitev za trenerje moči in kondicije.

Ključne besede: PAP, hitra ekscentrična kontrakcija, eksplozivna moč, CMJ, OptoGait

Corresponding author*: Nemanja Zlojutro

Faculty of Physical Education and Sport, University of Banja Luka, Banja Luka, 7900, Bosnia and Herzegovina
 E-mail: nemanja.zlojutro@ffvs.unibl.org
<https://doi.org/10.52165/kinsi.31.2.34-50>

Biografija autora

Nemanja Zlojutro je rođen 15.08.1988. godine u Sisku (Hrvatska). Osnovnu školu i gimnaziju završio je u Kozarskoj Dubici (Republika Srpska). Diplomirao na Fakultetu fizičkog vaspitanja i sporta Univerziteta u Banjoj Luci (2011.) kao najbolji student generacije te je dobitnik "zlatne plakete" Univerziteta u Banjoj Luci. Također je odbranio master rad na Univerzitetu u Banjoj Luci (2015.). Trenutno je student doktorskih studija na Fakultetu sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu na programu Eksperimentalne metode istraživanja ljudske lokomocije. Modul: Primijenjena istraživanja ljudske lokomocije.

Od 2015. godine Nemanja Zlojutro zaposlen je na Fakultetu fizičkog vaspitanja i sporta Univerziteta u Banjoj Luci u zvanju višeg asistenta. Na pomenutom fakultetu predaje na predmetima Osnove Antropomotorike, Kondiciona priprema i Kondiciona priprema u kolektivnim sportovima. Nemanja je objavio nekoliko naučnih radova te prisustvovao na brojnim naučnim i stručnim skupovima u zemlji i inostranstvu.

Od 2012. radi kao kondicioni trener te posjeduje znanja i iskustva u radu u nekoliko kolektivnih i individualnih sportova: fudbal, košarka, rukomet, triatlon, kik-boks i auto-moto sport. Predmet interesovanja su mu zakonitosti razvoja motoričkih sposobnosti i primjena mikro-tehnologija u sportu.

Oženjen je i otac jednog djeteta.

Bibliografija autora

F.Kukić. N. **Zlojutro**. D.Paspalj. S. Bajić. S. Kovačević. L. Vulin. N. Rađević. N. Koropanovski. (2024). Effects of Specific RAMP Protocol Phase on Change of Direction Speed of Police Students. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*. Vol. 9. No. 4.

Kukrić. A.. **Zlojutro**. N.. Orr. R. M.. Joksimović. M.. & Kukic. F. (2024). Isokinetic profiles of hamstring and quadriceps muscles in the police special force operators. *Montenegrin Journal of Sports Science and Medicine*. 13(1). 45-50.

Zlojutro. N.. Eler. S.. Joksimović. M.. Eler. N.. Marković. S.. Kukrić. A. & Goranović. K. (2023). Kinematic parameters and metabolic power in elite soccer players: A small sided a large sided games comparison. *Frontiers in Physiology*. 14.

Joksimovic. M.. Goranović. K.. Kukrić. A.. Nikšić. E.. Grgić. L. & **Zlojutro**. N. (2023). Differences between functional movement screen and somatotype to young handball and volleyball players. *Physical Education and Human Movement*. 5(1). 1-11.

Streetman. A. E.. Paspalj. D.. **Zlojutro**. N.. Božić. D.. Dawes. J. & Kukic. F. (2022). Association of Shorter and Longer Distance Sprint Running to Change of Direction Speed in Police Students. *Nauka bezbednost policija* 27 (1).

Kukrić. A.. Joksimović. M.. Petrović. B.. **Zlojutro**. N. & Dobraš. R. (2022). Relations of muscle strength and body mass when performing different vertical jumps. *Trends in Sport Sciences*. 29. (1).

Anđelić. M.. Joksimović. M.. Kukrić. A.. Nikšić. E.. D'Angelo. S.. **Zlojutro**. N.. Iryna Skrypchenko & Ćeremidžić. D. (2021). Body height. body mass. body mass index of elite basketball players in relation to the playing position and their importance for success in the game. *Acta kinesiologicala*. 15(2). 74-79.

Zlojutro. N.. Petrović. B.. Kukrić. A. & Dobraš. R. (2020). The analysis of high-intensity running performances in BHT Premier League of Bosnia and Herzegovina matches. *Homosporticus*. 22 (1).

Petrović. B.. Kukrić. A.. Dobraš. R. & **Zlojutro**. N. (2019). Isometric muscle force as a predictor of a maximal muscle effort in the leg press test. *Sportlogia*. 15 (1).

Vučković Igor. Kukrić Aleksandar. Gadžić Aleksandar. Petrović Borko. Marković Saša. **Zlojutro Nemanja** (2018) : Motoričke sposobnosti i efekat relativne starosti adolescenata. Fizička kultura. Beograd. vol. 72. br. 2. str. 181-188.

Marković. S.. **Zlojutro**. N. and Javorac. D. (2014): Relationship between morphological and some motor abilities. 4th International Conference "Sports Science and Health" Pan-European University Apeiron. Banja Luka. Str. 416 - 423.

Izjava o autorstvu

Izjava o autorstvu

Ime i prezime: Nemanja Zlojutro

Broj Indeksa: 2017/5009

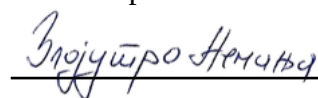
Izjavljujem

Da je prijedlog teme doktorske disertacije: „Akutni efekti brzih ekscentričnih kontrakcija sa različitim veličinama opterećenja na manifestaciju postaktivacijske potencijacije“

- rezultat sopstvenog istraživačkog rada;
- da prijedlog teme disertacije u cjelini ni u djelovima nije bio predložen za sticanje druge diplome prema studijskim programima drugih visokoškolskih ustanova;
- da nisam kršio autorska prava i koristio intelektualnu svojinu drugih lica.

U Beogradu, 31.03.2025.

Potpis autora

Handwritten signature of Nemanja Zlojutro in blue ink, written over a horizontal line.

Izjava o istovjetnosti štampane i elektronske verzije doktorskog rada

Izjava o istovjetnosti štampane i elektronske verzije doktorskog rada

Ime i prezime autora Nemanja Zlojutro

Broj indeksa 2017/5009

Studijski program Eksperimentalne metode istraživanja humane lokomocije

Naslov rada Akutni efekti brzih ekscentričnih kontrakcija sa različitim veličinama opterećenja na manifestaciju postaktivacijske potencijacije

Mentor Prof. dr Aleksandar Nedeljković

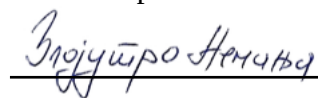
Izjavljujem da je štampana verzija mog doktorskog rada istovjetna elektronskoj verziji koju sam predao radi pohranjivanja u Digitalnom repozitorijumu Univerziteta u Beogradu.

Dozvoljavam da se objave moji lični podaci vezani za dobijanje akademskog naziva doktora nauka, kao što su ime i prezime, godina i mjesto rođenja i datum odbrane rada.

Ovi lični podaci mogu se objaviti na mrežnim stranicama digitalne biblioteke, u elektronskom katalogu i u publikacijama Univerziteta u Beogradu.

U Beogradu, 31.03.2025.

Potpis autora



Izjava o korišćenju

Izjava o korišćenju

Ovlašćujem Univerzitetsku biblioteku „Svetozar Marković“ da u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Beogradu unese moju doktorsku disertaciju pod naslovom: "Akutni efekti brzih ekscentričnih kontrakcija sa različitim veličinama opterećenja na manifestaciju postaktivacijske potencijacije" koja je moje autorsko djelo.

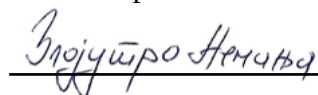
Disertaciju sa svim prilogima predao sam u elektronskom formatu pogodnom za trajno arhiviranje.

Moju doktorsku disertaciju pohranjenu u Digitalnom repozitorijumu Univerziteta u Beogradu i dostupnu u otvorenom pristupu mogu da koriste svi koji poštuju odredbe sadržane u odabranom tipu licence Kreativne zajednice (Creative Commons) za koju sam se odlučio.

1. Autorstvo (CC BY)
2. Autorstvo – nekomercijalno (CC BY-NC)
3. Autorstvo – nekomercijalno – bez prerada (CC BY-NC-ND)
4. Autorstvo – nekomercijalno – dijeliti pod istim uslovima (CC BY-NC-SA)
5. Autorstvo – bez prerada (CC BY-ND)
6. Autorstvo – dijeliti pod istim uslovima (CC BY-SA)

U Beogradu, 31.03.2025.

Potpis autora



1. **Autorstvo.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje djela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence, čak i u komercijalne svrhe. Ovo je najslobodnija od svih licenci.
2. **Autorstvo – nekomercijalno.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje djela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu djela.
3. **Autorstvo – nekomercijalno – bez prerada.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje djela, bez promjena, preoblikovanja ili upotrebe djela u svom djelu, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu djela. U odnosu na sve ostale licence, ovom licencom se ograničava najveći obim prava korišćenja djela.
4. **Autorstvo – nekomercijalno – dijeliti pod istim uslovima.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje djela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence i ako se prerada distribuira pod istom ili sličnom licencom. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu djela i prerada.
5. **Autorstvo – bez prerada.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje djela, bez promjena, preoblikovanja ili upotrebe djela u svom djelu, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu djela.
6. **Autorstvo – dijeliti pod istim uslovima.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje djela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence i ako se prerada distribuira pod istom ili sličnom licencom. Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu djela.