

Akutni utjecaj submaksimalnog predopterećenja na maksimalni broj ponavljanja pri izvedbi vježbe nožni potisak

Papiga, Lana

Master's thesis / Diplomski rad

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:117:705079>

Rights / Prava: [Attribution-ShareAlike 4.0 International](#) / [Imenovanje-Dijeli pod istim uvjetima 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-28**



Repository / Repozitorij:

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
KINEZIOLOŠKI FAKULTET**

Lana Papiga

**AKUTNI UTJECAJ SUBMAKSIMALNOG
PREDOPTEREĆENJA NA MAKSIMALNI BROJ
PONAVLJANJA PRI IZVEDBI VJEŽBE NOŽNI
POTISAK**

diplomski rad

Zagreb, rujan 2024.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

DIPLOMSKI RAD

Sveučilište u Zagrebu
Kineziološki fakultet
Horvaćanski zavoj 15, 10000 Zagreb, Hrvatska

Naziv studija: Kineziologija; **smjer:** Kineziologija u edukaciji i Fitnes

Vrsta studija: sveučilišni

Razina kvalifikacije: integrirani prijediplomski i diplomski studij

Studij za stjecanje akademskog naziva: sveučilišna magistra kineziologije u edukaciji i fitnesu (univ. mag. cin.)

Znanstveno područje: Društvene znanosti

Znanstveno polje: Kineziologija

Vrsta rada: Znanstveno-istraživački rad

Naziv diplomskog rada: je prihvaćena od strane Povjerenstva za diplomske radove Kineziološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu u akademskoj godini 2023./2024. dana 18. travnja 2024.

Mentor: dr. sc. socio. Jere Gulin

Pomoć pri izradi: *Ime i prezime, zvanje*

Akutni utjecaj submaksimalnog predopterećenja na maksimalni broj ponavljanja pri izvedbi vježbe nožni potisak

Lana Papiga, 0034084812

Sastav Povjerenstva za ocjenu i obranu diplomskog rada i diplomskog ispita:

- | | | |
|----|--|----------------------|
| 1. | dr. sc. socio. <i>Jere Gulin</i> | Predsjednik - mentor |
| 2. | izv. prof. dr. sc. <i>Saša Vuk</i> | član |
| 3. | izv. prof. dr. sc. <i>Josipa Nakić</i> | član |
| 4. | izv. prof. dr. sc. <i>Daniel Bok</i> | zamjenski član |

Broj etičkog odobrenja: 64/2024

Rad je u tiskanom i elektroničkom (pdf format) obliku pohranjen u Knjižnici Kineziološkog fakulteta, Horvaćanski zavoj 15, Zagreb

BASIC DOCUMENTATION CARD

DIPLOMA THESIS

University of Zagreb
Faculty of Kinesiology
Horvacanski zavoj 15, 10000 Zagreb, Croatia

Title of study program: Kinesiology; course Kinesiology in Education and Fitness

Type of program: University

Level of qualification: Integrated undergraduate and graduate

Acquired title: University Master of Kinesiology in Education and Fitness

Scientific area: Social sciences

Scientific field: Kinesiology

Type of thesis: Scientific-research

Master thesis: has been accepted by the Committee for Graduation Theses of the Faculty of Kinesiology of the University of Zagreb in the academic year 2023/2024 on April 18th, 2024).

Mentor: *Jere Gulin, PhD,*

Technical support: *Name and surname, title*

Acute response of post-activation performance enhancement on maximal number of repetitions in leg press exercise

Lana Papiga, 0034084812

Thesis defence committee:

- | | |
|---|------------------------|
| 1. <i>Jere Gulin, PhD,</i> | chairperson-supervisor |
| 2. <i>Saša Vuk, associate prof.</i> | member |
| 3. <i>Josipa Nakić, associate prof.</i> | member |
| 4. <i>Daniel Bok, associate prof.</i> | substitute member |

Ethics approval number: 64/2024.

Printed and electronic (pdf format) version of thesis is deposited in Library of the Faculty of Kinesiology, Horvacanski zavoj 15, Zagreb

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

Mentor:

dr. sc. socio. Jere Gulin

Student:

Lana Papiga

ZAHVALE

Iza mene je jedno ludo poglavlje života koje bih opet rado ponovila, samo s iskustvom i znanjem koje imam sada. Naučila sam biti uporna i strpljiva, naučila sam znati izboriti se za sebe, ali i šutjeti kada je to pametnije. Svaki profesor, na neki svoj način, naučio me kako u životu želim i ne želim pristupati ljudima i problemima na koje nailazim. Na tome im hvala!

A sada, želim se zahvaliti svojim roditeljima, Draženu i Svjetlani, na ljubavi, podršci i razumijevanju koje su mi pružali na mom putu. Sigurno ni sami često niste znali gdje moj put vodi, no znali ste kako stajati uz mene. Bili ste moje rame za plakanje i vjetar u leđa kada mi je to najviše trebalo. I još uvijek jeste. Bez vas ne bih bila gdje danas jesam. Isto tako, hvala mom bratu Ivanu što je u meni vidio potencijal veći od mene same i to me često guralo naprijed. Bako, hvala što u razgovoru s tobom nikada nije bilo mjesta kritici, samo ponosu. Volim vas sve!

Osobi radi koje su moji studentski dani postali najsretniji dani i radi koje na sebe gledam nekim drugim očima, mome dečku Matiji, hvala! Volim te!

Mome malom krugu velikih ljudi, Mariji, Hani, Pandži, Sari i šeki Martini, neizmjereno hvala na svakom zajedničkom trenutku i razgovoru, jer upravo ste vi neopipljivo blago koje čuvam i nosim dalje na svoj put.

Hvala mome mentoru dr. sc. socio. Jeri Gulinu čije znanje i vodstvo su mi pomogli iznijeti ovaj rad do kraja, i time, privesti ovo lijepo poglavlje kraju.

Vrijeme je za novo poglavlje!

AKUTNI UTJECAJ SUBMAKSIMALNOG PREDOPTEREĆENJA NA MAKSIMALNI BROJ PONAVLJANJA PRI IZVEDBI VJEŽBE NOŽNI POTISAK

Sažetak

Submaksimalno predopterećenje (PAPE) fenomen je gdje dolazi do povećanja mišićne snage i izvedbe kojom prethodi visoko-intenzivni podražaj u vidu vježbe s opterećenjem koja je biomehanički slična pokretu kojeg se želi potencirati. Njegov utjecaj na voljni mišićni otkaz nije jednoznačno utvrđen, naročito u ženskoj populaciji. Stoga je cilj ovog rada definiranje utjecaja PAPE (90% 1 maksimalnog ponavljanja, 1RM-a) na voljni mišićni otkaz pri izvedbi vježbe nožni potisak (na 70% 1RM-a) kroz broj ponavljanja različitih serija te time i na ukupan trenažni volumen kod žena. Uzorak ispitanika uključivao je 14 žena (dob $23,5 \pm 1,9$ godina; tjelesna masa $61,4 \pm 7,9$ kg; visina tijela $165 \pm 6,2$ cm) bez mišićno-koštanih ozljeda ili drugih zdravstvenih problema čija je srednja vrijednost potisnutoga 1RM-a iznosila $155 \pm 31,9$ kilograma, a prijavljeno iskustvo u treningu s otporom bilo je $5,5 \pm 3,3$ godine. Protokol istraživanja sastojao se od 3 dolaska od kojih se prvi put testirao 1RM, a druga dva puta, nasumičnom podijelom u 2 grupe (temeljem abecednog reda prezimena), provodio kontrolni (KON) i eksperimentalni (PAPE) dolazak kada su se izvodile 3 radne serije do otkaza na 70% 1RM-a nakon 8 minuta pauze. Rezultati nisu utvrdili statistički značajnu razliku u broju ponavljanja prve i druge serije te ukupnog volumena, dok se ta razlika unutar treće radne serije pokazala statistički značajnom ($p = 0,037$). Ipak, upitno je može li se takav rezultat pripisati PAPE-u s obzirom na duge pauze između serija i vrijeme potencijacijskog djelovanja PAPE. Heterogenost grupe ispitanica po pitanju trenažnog iskustva potencijalni je razlog raspršenosti i time neujednačenosti rezultata u odnosu na prethodna istraživanja te se u budućnosti savjetuje individualiziranje pauza ispitanica. Iako spol ne bi trebao imati značajan utjecaj na ishod rezultata, čini se da žene ostvaruju manje koristi od PAPE-a u pogledu voljnog mišićnog otkaza.

Ključne riječi

PAPE, voljni mišićni otkaz, ukupan volumen, trenažno iskustvo, spol

ACUTE RESPONSE OF POST-ACTIVATION PERFORMANCE ENHANCEMENT ON MAXIMAL NUMBER OF REPETITIONS IN LEG PRESS EXERCISE

Abstract

Post-Activation Performance Enhancement (PAPE) is a phenomenon which leads to muscle strength and performance increase following a high-intensity stimulus in the form of a loaded exercise which is biomechanically similar to the movement being potentiated. Its impact on voluntary muscle failure has not been clearly established, especially in the female population. Therefore, the aim of this study is to define the impact of PAPE (90% of 1 maximum repetition, 1RM) on voluntary muscle failure during the leg press exercise (at 70% of 1RM) through the number of repetitions in different sets, and thus on the total training volume among women. The sample included 14 women (age 23.5 ± 1.9 years; body mass 61.4 ± 7.9 kg; body height 165 ± 6.2 cm) without musculoskeletal injuries or other health problems, with an average leg press 1RM of 155 ± 31.9 kg and reported resistance training experience of 5.5 ± 3.3 years. The research protocol consisted of three visits. During the first visit, the 1RM was tested. For the subsequent two visits, participants were randomly divided into two groups based on the alphabetical order of their last names. These visits included a control session (CON) and an experimental session (PAPE), during which participants performed three working sets to failure at 70% of their 1RM after an 8-minute rest. The results did not show a statistically significant difference in the number of repetitions in the first and second sets and the total volume, while the difference in the third working set was statistically significant ($p = 0.037$). However, it is questionable whether this result can be attributed to PAPE considering the long rest periods between sets and the potentiation duration of PAPE. The heterogeneity of the participants' training experience is a potential reason for the dispersion and thus the inconsistency of the results compared to previous studies, and it is advised to individualize rest periods in future studies. Although gender should not play a significant role in the outcomes, women may experience fewer benefits from PAPE regarding voluntary muscle failure.

Keywords

PAPE, voluntary muscle failure, total volume, training experience, gender

Sadržaj

| | |
|---|----|
| 1. UVOD..... | 1 |
| 2. CILJEVI I HIPOTEZE | 10 |
| 3. METODE ISTRAŽIVANJA | 11 |
| 3.1. Uzorak ispitanika | 11 |
| 3.2. Opis protokola istraživanja | 11 |
| 3.3. Testiranje 1RM-a..... | 13 |
| 3.4. Eksperimentalni i kontrolni dolazak..... | 14 |
| 3.5. Statistička analiza podataka | 15 |
| 4. REZULTATI..... | 16 |
| 5. RASPRAVA | 17 |
| 6. ZAKLJUČAK | 21 |
| 7. LITERATURA | 22 |

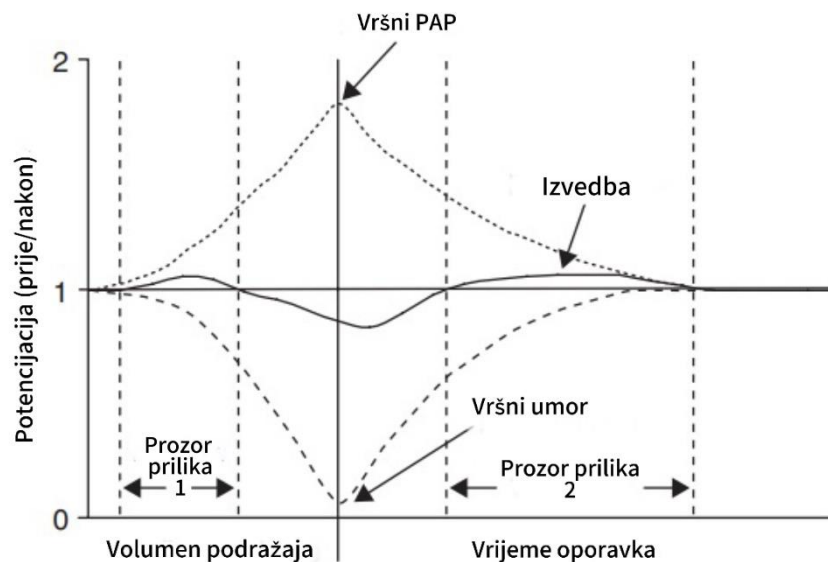
1. UVOD

Zagrijavanje prije treninga ili natjecanja danas je opće prihvaćena praksa među sportskom populacijom. Smatra se da ono može poboljšati tjelesnu izvedbu sportaša i smanjiti rizik od ozljeđivanja (Shellock i Prentice, 1985). Aktivno zagrijavanje odnosi se na podizanje temperature mišića izvođenjem raznih vježbi i aktivnosti kojima se potiču mnoge metaboličke i kardiovaskularne promjene unutar tijela čovjeka (Bishop, 2003). Jedan od mehanizama aktivnog zagrijavanja kojim se može akutno unaprijediti tjelesna izvedba, a koji nije vezan uz povećanje temperature tijela, naziva se postaktivacijska potencijacija (Bishop, 2003), a njena primjena pokazala je pozitivne ishode na maksimalnu voljnu proizvodnju mišićne sile (Blazevich i Babault, 2019).

Postaktivacijska potencijacija (engl. *post-activation potentiation*; PAP) definirana je kao „pojačani kontraktilni odgovor mišića za određenu razinu stimulacije nakon intenzivne voljne kontrakcije“ (MacIntosh i sur., 2012, str. 547) koja se mjeri kao maksimalna trzajna sila izazvana supramaksimalnom električnom stimulacijom (MacIntosh i sur., 2012), a njegovi su učinci kod ljudi kvantificirani mjerenjem sile mišićnog trzaja tijekom mišićne aktivnosti (Blazevich i Babault, 2019). Najčešće se u prošlosti PAP potvrđivao mjerenjem povećanja amplitude mišićnog trzaja kojem je prethodila kondicijska mišićna kontrakcija (Baudry i Duchateau, 2007). Mišićni trzaj je kontraktilni odgovor na jedan aktivacijski stimulus, tj. električni impuls dostavljen u motorički živac ili direktno u mišić (MacIntosh i sur., 2012). Danas postoji sve više istraživanja koja prate i procijenjuju mišićnu izvedbu u vrijeme kada bi se učinak PAP-a trebao umanjiti te ta istraživanja ne koriste električne trzaje niti nisko frekventivne tetaničke stimulacije za procijenu prisustva PAP-a (MacIntosh i sur., 2012). Interval u kojem PAP može nastupiti, prema Vandervoort-u i suradnicima (1983) jest < 3 minute, sa svojim vrhuncem na ~28 sekundi, te ne bi trebao doprinijeti poboljšanju izvedbe duže od 5 minuta. Međutim, zabilježena su povećanja voljne proizvodnje sile i nekoliko minuta nakon visoko intenzivnih mišićnih kontrakcija. Taj učinak se kroz istraživanja spominje također kao PAP učinak (Blazevich i Babault, 2019).

Prema tome, PAP se može definirati kao fenomen gdje dolazi do povećanja mišićne snage i izvedbe kojem prethodi visoko-intenzivni podražaj (Alves i sur., 2021). Taj potencijacijski podražaj najčešće se odnosi na neku vježbu s opterećenjem koja je biomehanički slična pokretu kojeg se želi potencirati (Morin i sur., 2011). Koristi se u aktivnostima poput vertikalnih skokova, sprintanja, bicikliranja i plivanja (Blazevich i Babault, 2019).

Koliki PAP učinak neki potencijacijski podražaj može izazvati, najviše će ovisiti o ravnoteži između umora i potencijacije, a ta ravnoteža diktirana je brojnim faktorima poput trenažnog iskustva, duljine oporavka te intenziteta samog potencijacijskog podražaja (Wilson i sur., 2013). Razina treniranosti predstavlja važan faktor u djelotvornosti ovog fenomena jer se potencijacija pokazala djelotvornijom kod pojedinaca više razine treniranosti u odnosu na netreniranu populaciju, vjerojatno zbog negativnog učinka veće akumulacije umora kod netreniranih pojedinaca (Tillin i Bishop, 2009). Ova razlika rezultat je veće neuromuskularne učinkovitosti i veće sposobnosti regrutiranja mišićnih vlakana kod utreniranih sportaša, što im omogućuje brži oporavak i iskorištavanje prednosti PAP-a (Chiu i sur., 2003). Tillin i Bishop (2009) slikovito su prikazali potencijalni odnos između PAP-a i umora koji su slijedili nakon potencijacijskog podražaja (Slika 1).



Slika 1. Model hipotetskog odnosa između PAP-a i umora nakon prethodnog potencijacijskog podražaja. Prerađeno prema "Factors modulating post-activation potentiation and its effect on performance of subsequent explosive activities", N. A. Tillin, i D. Bishop, 2009, *Sports medicine*, 39, str. 149 ([Sports Medicine 2008; \(researchgate.net\)](#)).

Kada je volumen potencijacijskog podražaja nizak, PAP je dominantniji od umora i potencijacija eksplozivne aktivnosti može biti iskorištena odmah, no što je volumen potencijacijskog podražaja veći, to je ujedno i umor dominantniji, te treba proći duži period odmora kada će se umor reducirati, a PAP opet dominirati (Tillin i Bishop, 2009). Tokom oporavka umor će nestati brže nego li PAP i tada je moguće iskoristiti potencijacijski učinak i poboljšati izvedbu (Tillin i Bishop, 2009).

Točna fiziološka pozadina PAP učinka nije u potpunosti poznata te su predloženi različiti mehanizmi za njegovo izazivanje. Ipak, čini se da su dva mehanizma dobro opravdana istraživanjima (Gołaś, Maszczyk i sur., 2016). Prvi uključuje fosforilaciju lakih regulacijskih lanaca miozina (LRLM) koja je rezultat inicijalne mišićne aktivacije (potencijacijskog podražaja), što bi molekule aktina i miozina učinilo osjetljivijima na dostupnost kalcija (Ca^{2+}), što je povezano s povećanjem gradijenta sile (*engl.* rate of force development, RFD) i maksimalne izometrijske sile (Sweeney i sur., 1993). Drugi mehanizam PAP-a uključuje neuralne čimbenike, kao što je ekscitabilnost α -motoneurona koji su odgovorni za povećanu kontraktilnu izvedbu nakon prethodnog potencijacijskog podražaja (Arne Guellich i Dietmar Schmidtbleicher, 1996). Potvrdilo se kako mišićna vlakna tipa 2 (brza vlakna) pokazuju najveću fosforilaciju LRLM nakon potencijacijskog podražaja radi njihove velike osjetljivosti na Ca^{2+} (Tillin i Bishop, 2009). Uz to, pretpostavlja se da osobe s većim postotkom brzih mišićnih vlakana imaju u rezervi i veći broj motoričkih jedinica višeg reda (Tillin i Bishop, 2009). Sukladno tome, smatra se da vježbe s velikim opterećenjem mogu povećati regrutaciju motoneurona višeg reda što teoretski može povećati udio brzih vlakana i time unaprijediti izvedbu u kasnijim eksplozivnim aktivnostima (Gołaś, Maszczyk i sur., 2016). Predložen je i treći mehanizam koji leži u osnovi PAP-a, a odnosi se na kut penacije mišića. S obzirom da kut penacije utječe na prijelaz sile s mišića na tetivu i kosti, neka istraživanja potvrđuju da manji kutovi penacije imaju mehaničku prednost u pogledu prijenosa sile na tetivu (Folland i Williams, 2007).

Smatra se da postoje četiri varijable kojima se izaziva PAP preko neke kondicijske vježbe (Garbisu-Hualde i Santos-Concejero, 2021):

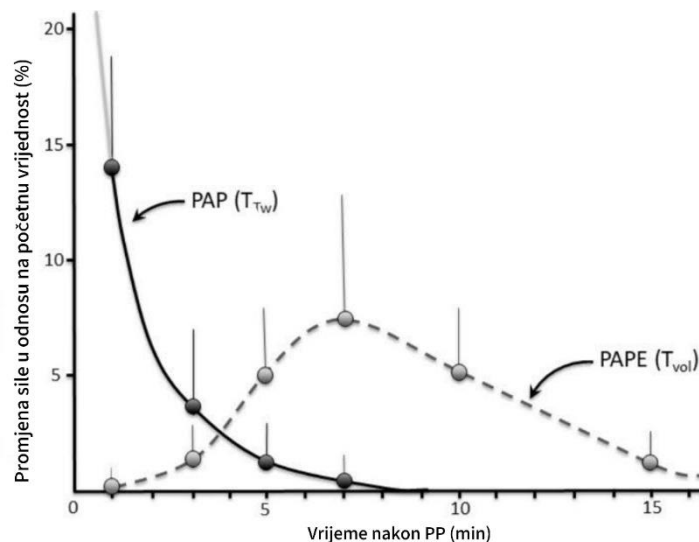
- 1) intenzitet,
- 2) volumen, koji je obrnuto proporcionalan intenzitetu,
- 3) period odmora i
- 4) sličnost pokreta.

Te četiri varijable, ako ih se adekvatno implementira u trening, mogu uzrokovati akutno poboljšanje izvedbe. Kako bi se izazvala potencijacija, potrebno je regrutirati velik broj motoričkih jedinica višeg reda i time mišićna vlakna tipa 2 (Henneman i sur., 1965), a to se ostvaruje kombiniranjem primjerenog volumena i intenziteta uzimajući u obzir akumulaciju umora (Bompa i Haff, 2009). Kako bi se regrutirale motoričke jedinice višeg reda, potrebno je trenirati (sub)maksimalnim opterećenjem, odnosno blizu jednog maksimalnog ponavljanja (*engl.* one-repetition maximum, 1RM) (Bompa i Haff, 2009). No, kako bi se spriječilo

prekomjerno nakupljanje umora, intenzitet treba gledati kroz broj ponavljanja koji su ostali u rezervi (*engl.* reps in reserve, RIR), a ne kroz postotak od 1RM-a te bi se barem dva ponavljanja trebalo ostaviti u rezervi tijekom izvedbe više serija (Andrews i sur., 2016). Potencijacijski učinak moguće je izazvati korištenjem manjih opterećenja s većim volumenom te većih opterećenja s manjim volumenom (Bompa i Haff, 2009). Odnosno, intenziteti od 65% 1RM-a već mogu izazvati potencijaciju uz veći volumen, no veća potencijacija se može ostvariti korištenjem intenziteta 85-90% 1RM-a uz dovoljno dugu pauzu (Garbisu-Hualde i Santos-Concejero, 2021). S obzirom da je umor jedan od glavnih faktora mogućeg izostanka potencijacije, bitno je odrediti i optimalno vrijeme oporavka. Garbisu-Hualde i Santos-Concejero (2021) zaključili su kako su najbolji potencijacijski odgovori zabilježeni nakon osam i više minuta pauze, dok do Carmo i suradnici (2021) navode kako bi i subjektivna procjena odmora bila precizna i dovoljna. Potrebno je spomenuti da će sportaši s većim postotkom mišićnih vlakana tipa 2, radi velike osjetljivosti tih vlakana na koncentracije kalcija, ostvariti veće dobrobiti korištenjem viših intenziteta i dužih pauza (Blazevich i Babault, 2019).

No, MacIntosh i suradnici (2012) navode kako se PAP učinak gubi kroz 4 do 6 minuta i ne bi trebao pridonijeti poboljšanju izvedbe dulje od 5 minuta nakon potencijacijskog podražaja jer se bilo koja postignuta fosforilacija gubi s 5-6 minuta neaktivnosti. Isto tako, Blazevich i Babault (2019) u svom radu (prema Vandervoort i suradnicima, 1983) navode kako je vremenski interval u kojem je potencijacija najznačajnija manji od 3 minute, a opada već nakon ~28 sekundi što se ne podudara s većinom istraživanja gdje do vršnog voljnog poboljšanja izvedbe dolazi 7-10 minuta nakon potencijacijskog podražaja, i opada opet nakon 10 minuta (Wilson i sur., 2013).

Kako bi se takvo poboljšanje izvedbe razlikovalo od klasičnog PAP-a, Cuenca-Fernández i suradnici (2017) predlažu novi termin submaksimalnog predopterećenja: *engl.* post-activation performance enhancement (PAPE) gdje visoko intenzivna voljna kontrakcija dovodi do poboljšanja u narednoj voljnoj mišićnoj izvedbi bez potvrde da se radi o klasičnom PAP-u, tj. bez procjene trzajne sile i gdje do tog poboljšanja dolazi nakon 6-10 minuta i može trajati do preko 15 min (Blazevich i Babault, 2019).



Slika 2. Vremenski tok PAP-a izmjenog kao okretni moment izazvan tijekom trzajne kontrakcije ($T_{\tau w}$) u odnosu na PAPE izmjenog kao okretni moment proizveden tijekom voljne kontrakcije (T_{vol}). Prerađeno prema “Post-activation Potentiation Versus Post-activation Performance Enhancement in Humans: Historical Perspective, Underlying Mechanisms, and Current Issues”, A. J Blazevich i N. Babault, 2019, *Frontiers in physiology*, 10, 1359 (<https://shorturl.at/bkkHZ>).

S obzirom da PAP i PAPE pokazuju različite vremenske profile, postavlja se pitanje njihove fiziološke pozadine. Iako bi mehanizmi nastanka PAP-a mogli utjecati na pojavu PAPE-a u nekoj mjeri, drugi potencijalni mehanizmi se moraju uzeti u obzir: 1) povećana temperatura mišića ($0,3-0,9^{\circ}\text{C}$); 2) povećani mišićni krvotok, pa time i sadržaj vode do kojih dolazi tijekom intenzivne aktivnosti mogu povećati CA^{2+} osjetljivost te time povećati mišićnu silu i brzinu skraćivanja mišićnih vlakana; 3) povećani neuralni pogon/aktivacija mišića radi kojeg se povećava maksimalni voljni RFD i maksimalna snaga mišića (Blazevich i Babault, 2019).

Tablica 1. Pregled istraživanja na temu utjecaja submaksimalnog predopterećenja na eksplozivne aktivnosti i voljni mišićni otkaz

| <i>Autori</i> | <i>Uzorak ispitanika</i> | <i>Potencijacijski podražaj</i> | <i>Pauza</i> | <i>Testirane varijable</i> | <i>Glavni nalazi</i> |
|----------------------------------|---------------------------------------|---|--------------|----------------------------|--|
| Lowery i sur. (2012) | 13 treniranih muškaraca | Čučanj pri različitim intenzitetima (% 1RM-a) | 4 i 8 min | VS | ↑VS nakon 70% 1RM-a i 4 min pauze ↑VS nakon 93% 1RM-a i 8 min pauze |
| Evetovich i sur. (2015) | 12 muškaraca 6 žena sprinteri | Polučučanj pri 85% 1RM-a | 8 min | VS HS | ↑VS i ↑HS |
| | 6 muškaraca 4 žene bacači kugle | 3RM potisak s klupe 3RM polučučanj pri 85% 1RM-a | 8 min | BK | ↑BK nakon potiska s klupe ↔BK nakon polučučnja |
| | 7 nogometaša | 3RM paralelni čučanj Pri 85% 1RM-a | 8 min | t sprint | ↓t sprint |
| | 14 nogometaša | 3RM polučučanj Pri 85% 1RM-a | 8 min | VS | ↔VS (h) |
| de Oliveira i sur. (2017) | 203 muškaraca | 70-91% 1RM-a | 4-16 min | t sprint (40m) | ↓t sprint |
| Golaš i sur. (2017) | 16 skijaških skakača | Polučučanj pri različitim intenzitetima (% 1RM-a) | 5 min | SJ RFD RPD | ↑RPD i ↑RFD nakon 80% 1RM-a |

| | | | | | |
|---|--------------------------|---|--------|--|--|
| Alves i sur. (2019) | 14 treniranih muškaraca | Potisak s ravne klupe 3x 90% 1RM-a | 10 min | 3 serije potiska s ravne klupe pri 75% 1RM-a Ukupan V | ↑PAP1 i ↑PAP2 ↔PAP3 ↑ Ukupan V pri PAP |
| Krzysztofik, Wilk, Golas i sur. (2020) | 32 treniranih muškaraca | Potisak s ravne klupe 90% 1RM CONONLY 90, 110, 130% 1RM ECCONLY | 5 min | PP, MP, PV, MV pri BPT | ↑PP i ↑PV pri 110 i 130% 1RM ECCONLY ↑MV pri 110% 1RM ECCONLY |
| Krzysztofik, Wilk, Filip i sur. (2020) | 12 treniranih muškarca | 3x3 na 85% 1RM-a | 5 min | 3 serije potiska s klupe pri 60% 1RM-a PON, TUT, PP, MP, PV, MV | ↑TUT ↔ PON, PP, MP, PV, MV |
| Conrado de Freitas i sur. (2021) | 10 utreniranih muškaraca | Čučanj 2x 90% 1RM-a | 5 min | 4 serije čučnjeva na 70% 1RM-a | ↑PAP1 ↔PAP2, PAP3 ↔Ukupan V pri PAP |
| Vargas-Molina i sur. (2023) | 18 treniranih muškaraca | LPD-M LPD-H VTEB-M VTEB-H | 8 min | Serijski zglobovi | ↑LPD-M, ↑LPD-H, ↑VTEB-M, ↑VTEB-H |
| Garbisu Hualde i sur. (2023) | 14 utreniranih muškaraca | Potisak s ravne klupe 1x 93% 1RM-a | 6 min | Serijski potisak s ravne klupe na 80% 1RM-a | ↑ PAPE |

Legenda: VS = visina vertikalnog skoka; HS = dužina horizontalnog skoka; SJ = skok iz čučnja; RFD = gradijent sile; RPD = gradijent snage; BK = udaljenost bacanja kugle; t sprint = vrijeme sprinta na 36,6m; BPT = izbačaj potiskom s ravne klupe; PP = vršni izlaz snage; MP = prosječna snaga; PV = vršna brzina šipke; MV = prosječna brzina šipke; CONONLY = koncentrična kontrakcija; ECCONLY = ekscentrična mišićna akcija; PON = broj ponavljanja; PAP1/2/3 = prva/druga/treća radna serija u PAP grupi; LPD-M = povlačenje na prsa na lat trenažeru pri 75% 1RM-a; LPD-H = lat povlačenje na trenažeru pri 85% 1RM-a; VTEB-M = umjerena vertikalna trakcija korištenjem elastičnih guma; VTEB-H = teška vertikalna trakcija korištenjem elastičnih guma

Učinci submaksimalnog predopterećenja pokazali su se izrazito korisnima u kratkotrajnim, eksplozivnim sportskim izvedbama kao što su spint, skokovi i bacanja. Lowery i suradnici (2012) promatrali su kako intenzitet i trajanje pauze utječu na visinu vertikalnog skoka. Utvrdili su kako, za postizanje potencijacijskog učinka, povećavanjem intenziteta trajanje pauze također treba biti duže. No, veće promjene u visini skoka i izlazu snage izmjerene su nakon visokog intenziteta i duže pauze. Nadalje, Gołaś i suradnici (2017) ustanovili su kako se visina skoka iz čučnja (*engl.* squat jump, SJ), zajedno sa gradijentom sile (RFD) i gradijentom snage (*engl.* rate of power development, RPD) najviše povećala nakon izvedbe polučučnja s 80% 1RM-a i pauze od 5 minuta kod skijaških skakača. Istraživanje Evetovicha i suradnika (2015) sastojalo se od četiri podistraživanja gdje se pratio utjecaj polučučnja na visinu vertikalnog i horizontalnog skoka kod trkača; utjecaj polučučnja i potiska s ravne klupe na udaljenost bacanja kugle kod bacača kugle; utjecaj polučučnja na brzinu sprinta kod nogometaša te utjecaj polučučnja na visinu vertikalnog skoka kod nogometaša. U sva četiri podistraživanja došlo je do značajnih pozitivnih promjena u svim promatranim disciplinama, dok do promjene nije došlo u bacanju kugle nakon izvedbe polučučnja, iz čega se može zaključiti kako zaista potencijacijski podražaj mora biti pokretom specifičan i sličan aktivnosti koju se želi unaprijediti. Promjene u izlazu snage i brzini šipke tijekom izbačaja potiskom s ravne klupe (*engl.* bench press throw, BPT) praćene su nakon koncentrične i ekscentrične izvedbe potiska s ravne klupe (*engl.* bench press, BP) te su zabilježene pozitivne promjene nakon ekscentričnih mišićnih akcija većih od 100% 1RM-a (Krzysztofik, Wilk, Golas i sur., 2020). Unutar meta-analize iz 2017. godine, de Oliveira i suradnici gledali su utjecaj submaksimalnog predopterećenja na brzinu sprinta do 40 metara te je opaženo proporcionalno povećanje brzine kroz svih 40 metara, a najveće je bilo na dužini 30-40 metara (vrijeme: -0.109 sekundi).

Budući da istraživanja pokazuju poboljšanja u spomenutim kratkotrajnim aktivnostima, postavlja se pitanje što se događa u treningu s otporom, kada se radna sposobnost testira u submaksimalno opterećenom zadatku kroz broj ponavljanja izvedenih do voljnog mišićnog otkaza. Pretpostavlja se da bi se utjecajem submaksimalnog predopterećenja broj ponavljanja do otkaza povećao kroz jednu ili više radnih serija, te bi se time povećao i ukupan trenažni volumen (Garbisu-Hualde i sur., 2023).

Pokazalo se da izvođenje većeg broja ponavljanja s istim opterećenjem dovodi do većeg povećanja sinteze proteina (Burd i sur., 2010) i većeg porasta poprečnog presjeka mišića (Junior i sur., 2017). K tome, veći obujam višestrukih serija pruža superiorne rezultate u mišićnoj

hipertrofiji u usporedbi s jednostrukim serijama (Schoenfeld, 2010). Stoga, ako PAPE može povećati ukupni volumen tijekom treninga s otporom, moguće je da bi to moglo rezultirati značajnijim dugoročnim poboljšanjima snage i mišićne hipertrofije (Alves i sur., 2021)

Novija istraživanja pokazala su različite rezultate u pogledu akutnog utjecaja submaksimalnog predopterećenja na trenažni volumen, osobito u vježbama za gornji dio tijela. Primjerice, analiza učinka submaksimalnog predopterećenja od 90% 1RM u vježbi bench press pokazala je povećanje u broju ponavljanja u prve dvije serije te veći ukupni volumen u usporedbi s treninzima bez primjene PAPE (Alves i sur., 2021). Slično tome, provedena su istraživanja koja su utvrdila kako kratke serije vježbi poput povlačenja na prsa na lat trenažeru na 75% i 85% 1RM-a značajno povećavaju broj izvedenih zgibova (Vargas-Molina i sur., 2023). Promatrajući utjecaj PAP-a na voljni otkaz u stražnjem čučnju kroz više serija, samo prva serija je pokazala značajan porast broja ponavljanja (Conrado de Freitas i sur., 2021). Nadalje, teške serije potiska s ravne klupe na 93% 1RM-a također su rezultirali boljom izvedbom u kasnijim serijama (Garbisu-Hualde i sur., 2023). Međutim, neka istraživanja, kao što je ono koje se bavilo utjecajem PAPE na serije do otkaza na 60% 1RM-a (Krzysztofik, Wilk, Filip i sur., 2020), nisu pokazala značajne razlike u izvedbi, što ukazuje na to da učinci PAPE mogu varirati ovisno o specifičnosti vježbe i intenzitetu opterećenja.

Iz dostupnih istraživanja nije moguće jednoznačno odrediti utjecaj submaksimalnog predopterećenja na maksimalan broj ponavljanja u prvoj radnoj seriji vježbi s otporom. Također, podaci o učinkovitosti ovog fenomena kroz više radnih serija, posebice u vježbama za donji dio tijela, su ograničeni. Ne postoji puno istraživanja na ovu temu provedenih na ženskoj populaciji, no pokazalo se kako spol nema značajan utjecaj na ishode submaksimalnog predopterećenja (Wilson i sur., 2013). Upravo iz tog razloga, ovim radom nastojat će se detaljnije istražiti i definirati kako PAPE utječe na voljni mišićni otkaz tijekom treninga s otporom za donji dio tijela kod žena, analizirajući broj ponavljanja u različitim serijama i njegov utjecaj na ukupan trenažni volumen.

S obzirom da su se unutar velikog broja istraživanja nakon potencijacijskog podražaja koristile pauze duže od 5-6 minuta te su iste pokazale značajna unaprjeđenja izvedbe, a mehanizmi nastanka tog unaprjeđenja se pripisali PAP-u, dok su novija istraživanja takve ishode pripisala PAPE-u, u ovom radu skupno će im se obraćati kao submaksimalnom predopterećenju u obliku inačnice „PAPE“.

2. CILJEVI I HIPOTEZE

Cilj istraživanja je definiranje utjecaja PAPE (90% 1RM-a) na mišićni otkaz pri izvedbi vježbe nožni potisak (na 70% 1RM-a) kroz broj ponavljanja različitih serija te time i na ukupan trenažni volumen.

S obzirom da je, prema većini istraživanja koja se bavila ovom tematikom, tijekom prve serije utvrđen značajno veći broj ponavljanja sa submaksimalnim predopterećenjem, ovim istraživanjem nastojalo se utvrditi kako submaksimalno predopterećenje utječe na broj ponavljanja ostalih serija i u konačnici, ukupan trenažni volumen svih serija.

Iz toga proizlaze dvije hipoteze:

H1: broj ponavljanja unutar druge i treće serije bit će značajno veći sa submaksimalnim predopterećenjem

H2: ukupan volumen svih radnih serija (serije x ponavljanja) bit će značajno veći sa submaksimalnim predopterećenjem

3. METODE ISTRAŽIVANJA

3.1. Uzorak ispitanika

Uzorak ispitanika uključivao je 14 žena (dob $23,5 \pm 1,9$ godina; tjelesna masa $61,4 \pm 7,9$ kg; visina tijela $165 \pm 6,2$ cm) bez mišićno-koštanih ozljeda ili drugih zdravstvenih problema. Klasificirajući sudionice istraživanja prema McKay i suradnicima (2022), ispitanice spadaju pod rekreativno aktivnu populaciju (razina 1) koja ispunjava minimalne kriterije Svjetske zdravstvene organizacije (WHO) bavljena tjelesnom aktivnošću. Treba napomenuti kako je većina ispitanica tjelesno aktivna daleko više od predloženog minimuma, no nisu usmjerene sudjelovanju na natjecanjima. Kriteriji uključivanja ispitanica u istraživanje glasili su: a) žene između 20 do 30 godina starosti; b) mogućnost potiskivanja 1,5 svoje tjelesne mase u vježbi nožni potisak s klupice i/ili 2 i više godina iskustva u treningu s otporom (*engl.* leg press); c) odsustvo ozljeda i bolnih stanja. Ispitanice su prije provedbe istraživanja bile upoznate s procijenjenim rizicima njegove provedbe te su potpisale pristanak za sudjelovanje. Izmjerena srednja vrijednost potisnutoga 1RM-a u vježbi leg press iznosila je $155 \pm 31,9$ kilograma, a prijavljeno iskustvo u treningu s otporom bilo je $5,5 \pm 3,3$ godine gdje je minimalno zabilježeno trenajno iskustvo bilo pola godine, a maksimalno 10 godina.

3.2. Opis protokola istraživanja

Dobiveno je etičko odobrenje za provedbu istraživanja od strane Povjerenstva za znanstveni rad i etiku Kineziološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu (broj odobrenja: 64/2024), nakon čega su ispitanice obaviještene o procijenjenim rizicima i prednostima provedbe istraživanja te su svojim potpisom potvrdile dobrovoljno sudjelovanje u istraživanju koje je provedeno u skladu s Helsinškom deklaracijom. Ispitanice su dobile upute da izbjegavaju dodatne vježbe s otporom za donji dio tijela tijekom provedbe istraživanja te da prehrambene navike, suplementaciju i san održavaju jednakima kao i prije.

Protokol istraživanja sastojao se od 3 dolaska uvijek u isto doba dana s razmakom od 48 sati. Ispitanice su nasumično (temeljem abecednog reda prezimena) bile podijeljene u 2 grupe od kojih je jedna grupa u drugom dolasku predstavljala kontrolnu grupu, a druga eksperimentalnu grupu. U trećem dolasku obrnuto. Prvi dolazak uključivao je testiranje 1RM-a u vježbi leg press, a u drugom i trećem dolasku, nakon specifičnog zagrijavanja, izvodile su se tri radne serije do otkaza na 70% izmjerenog 1RM-a pri čemu je jedan od ta dva dolaska sadržavao seriju submaksimalnog predopterećenja prije prve radne serije.

Sva tri dolaska započinjala su uvijek s istim, standardiziranim zagrijavanjem:

1. 10 minuta na bicikl ergometru prema subjektivnom osjećaju opterećenja (SOO) na 3-4 od 10
2. dinamičko istezanje i mobilnost
 - a) dinamičko istezanje pregibača kuka, prednje i stražnje strane natkoljenice iz iskoraka x5 po strani
 - b) dorzifleksija u iskoraku 5x5s
 - c) 90/90 izmjene s pretklonom x5 po strani
3. aktivacija trupa
 - a) bočni izdržaj u uporu s odnoženjem x10 po strani
 - b) „mrtvi kukac“ - naizmjenično opružanje suprotne ruke i noge x5 po strani

Ispitanice su imale slobodu odabira položaja stopala na platformi, uz obvezu da tijekom svih budućih dolazaka zadrže odabrani položaj. Amplituda pokreta, odnosno dubina izvedbe nožnog potiska, bila je uvjetovana kutom u koljenu od barem 90 stupnjeva i ne manjim od 70 stupnjeva. Dubina izvođenja vježbe za svaku se ispitanicu standardizirala tako da je ispitanica proizvoljno odabrala dubinu do koje želi raditi unutar gore navedenih kutova, koja se zatim obilježila ljepljivom trakom i izmjerila kao udaljenost od drške sprave do gornjeg ruba ljepljive trake (Slika 3). Svaki idući dolazak traka je za svaku ispitanicu bila zalijepljena na istoj udaljenosti kao i prvi puta. Zatim se pokraj sprave u istoj ravnini s trakom položio štap te su ispitanice dobile uputu zaustaviti pokret kada se platforma sprave paralelno poklopi sa štapom (Slika 4).



Slika 3. Dubina spuštanja kao udaljenost od drške sprave do gornjeg ruba ljepljive trake



Slika 4. Konačna amplituda pokreta

3.3. Testiranje 1RM-a

Nakon standardiziranog zagrijavanja, a prije početka testiranja 1RM-a, ispitanice su se upoznale s tempom izvedbe svakog ponavljanja uz pomoć metronoma. Metronom je bio postavljen na 60 otkucaja u minuti (otk/min) te su ispitanice ekscentričnu fazu pokreta izvodile 2 otkucaja, zaustavile se u donjoj poziciji 1 otkucaj, a brzina koncentričnog dijela pokreta nije bila ograničena jer se izvedba koncentričnog dijela pokreta približavanjem mišićnom otkazu kroz ponavljanja usporava. Sve ispitanice su prije početka istraživanja dale svoju procjenu njihovog 1RM-a u vježbi nožni potisak te je protokol testiranja krenuo zagrijavanjem na 50% procijenjenog 1RM-a x5 ponavljanja, 70% procijenjenog 1RM-a x3 ponavljanja i 90% 1RM-a x1 ponavljanje s pauzama između serija 2 minute. Nakon zadnje zagrijavajuće serije pauza je iznosila 4 minute. Zatim se svaku iduću seriju postupno povećavalo opterećenje, ovisno o povratnim informacijama ispitanica ne bi li se što prije došlo do 1RM-a. Preciznost mjerenja postavljena je na 5kg. Ako zadanu kilažu ispitanica nije mogla potisnuti, kilaža se ovisno o uspješnosti prijašnjih pokušaja snižavala za 5-10 kg. Sve ispitanice su do svog 1RM-a došle kroz maksimalno 5 pokušaja, uz pauze između pokušaja od 5 minuta.

3.4. Eksperimentalni i kontrolni dolazak

Drugi i treći dolazak nakon standardiziranog zagrijavanja izvodilo se specifično zagrijavanje izvedbom vježbe nožni potisak pri sljedećim intenzitetima:

1x10 pon x 40% od 1RM-a

1x4 pon x 60% od 1RM-a

1x1 pon x 70% od 1RM-a

s pauzama između zagrijavajućih serija u trajanju od 2 minute, te pauzom između zadnje zagrijavajuće i prve radne serije u trajanju od 8 minuta.

U drugom i trećem dolasku nakon specifičnog zagrijavanja:

- kontrolna grupa (KON) izvodila je maksimalan broj ponavljanja (na 70% od 1RM) u nožnom potiskubez submaksimalnog predopterećenja u 3 serije (pauza između serija: 4 minute).
- eksperimentalna grupa (PAPE) nakon specifičnog zagrijavanja izvodila je na nožnom potisku seriju submaksimalnog predopterećenja (1x2 pon x 90% od 1RM-a) i pauzom od 8 minuta. Zatim se izvodilo 3 radne serije maksimalnog broja ponavljanja s 4 minute pauze između serija.

3.5. Statistička analiza podataka

Za unos podataka koristio se alat za izradu proračunskih tablica Excel (Microsoft 365, 2023), a za obradu i analizu podataka koristio se program Statistica 14.0.0 (Statsoft, Inc., Tulsa, OK, SAD). Deskriptivna statistika korištena je za prikaz karakteristika ispitanica te rezultata testiranja 1RM-a ($AS \pm SD$). Normalnost distribucije analizirana je Shapiro-Wilk testom. Kako bi se utvrdile grupne razlike između broja ponavljanja različitih serija i ukupnog volumena, koristio se t-test za zavisne uzorke s razinom statističke značajnosti $p < 0,05$.

4. REZULTATI

Temeljem statističke obrade postignuća ispitanica, dobiveni su i tablicama prikazani osnovni deskriptivni parametri promatranih varijabli (Tablica 2) te razlike dostignutog voljnog mišićnog otkaza između PAPE i KON grupa (Tablica 3, Tablica 4).

Tablica 2. Rezultati broja ponavljanja, ukupnog volumena te normalnosti distribucije

| Varijable | AS | SD | W | p |
|-----------|------|------|-------|-------|
| PAPE1 | 22,9 | 8,0 | 0,897 | 0,104 |
| PAPE2 | 16,4 | 5,1 | 0,928 | 0,282 |
| PAPE3 | 14,6 | 3,5 | 0,963 | 0,772 |
| PAPE-UV | 53,9 | 14,4 | 0,926 | 0,271 |
| KON1 | 20,9 | 8,9 | 0,968 | 0,849 |
| KON2 | 15,0 | 4,7 | 0,960 | 0,715 |
| KON3 | 13,0 | 3,4 | 0,966 | 0,818 |
| KON-UV | 48,9 | 15,7 | 0,970 | 0,875 |

Protokol sa submaksimalnim predopterećenjem: PAPE1 = 1.serija, PAPE2 = 2.serija, PAPE3 = 3.serija, PAPE-UV = ukupan volumen; protokol bez submaksimalnog predopterećenja: KON1 = 1.serija, KON2 = 2.serija, KON3 = 3.serija, KON-UV = ukupan volumen; AS = aritmetička sredina; SD = standardna devijacija; W = vrijednost Shapiro-Wilk testa ; p = razina statističke značajnosti za Shapiro-Wilk test

Tablica 3. Grupne razlike između broja ponavljanja različitih serija

| Varijable | KON | PAPE | Diff | t | p |
|-----------|------------|------------|------|------|--------|
| Serija 1 | 20,9 ± 8,9 | 22,9 ± 8 | 2,0 | 1,05 | 0,312 |
| Serija 2 | 15 ± 4,7 | 16,4 ± 5,1 | 1,4 | 1,78 | 0,097 |
| Serija 3 | 13 ± 3,4 | 14,6 ± 3,5 | 1,6 | 2,32 | 0,037* |

*statistički značajna razlika ($p < 0,05$); KON = protokol bez submaksimalnog predopterećenja; PAPE = protokol sa submaksimalnim predopterećenjem; Diff = razlika između broja ponavljanja KON i PAPE; t = razlika između promatranih uvjeta; p = razina statističke značajnosti

Tablica 4. Razlika ukupnog volumena između PAPE i KON grupe

| Varijabla | KON | PAPE | Diff | t | p |
|-----------|-------------|-------------|------|------|-------|
| UV | 48,9 ± 15,7 | 53,9 ± 14,4 | 5 | 2,09 | 0,056 |

KON = protokol bez submaksimalnog predopterećenja; PAPE = protokol sa submaksimalnim predopterećenjem; UV = ukupan volumen (serije x ponavljanja); Diff = razlika između broja ponavljanja KON i PAPE; t = razlika između promatranih uvjeta; p = razina statističke značajnosti

5. RASPRAVA

Ovim radom istraživali su se učinci submaksimalnog predopterećenja na mišićni otkaz kroz tri radne serije te njihov ukupan trenažni volumen.

Rezultati dobiveni ovim istraživanjem nisu u skladu s postojećom literaturom s obzirom da je razlika voljnog mišićnog otkaza u korist PAPE uočena, no ta se razlika nije pokazala statistički značajnom.

Odnosno, unatoč izvedenog većeg broja ponavljanja tijekom svih radnih serija, a time i većeg ukupnog volumena za vrijeme PAPE, samo se razlika broja ponavljanja treće radne serije pokazala statistički značajnom ($p = 0,037$) čime se djelomično potvrdila prva hipoteza ovoga rada.

Suprotno rezultatima ovog istraživanja, Conrado de Freitas i suradnici (2021) su, pri ispitivanju utjecaja submaksimalnog predopterećenja na mišićni otkaz u vježbi stražnji čučanj, prijavili statistički značajnu razliku u broju ponavljanja prve radne serije, ali ne i u ostalim serijama. Iako su intenzitet submaksimalnog predopterećenja i radnih serija bili isti kao u ovom istraživanju, Conrado de Freitas i suradnici (2021) koristili su kraće periode odmora te ostvarili veću i time značajniju razliku broja ponavljanja u prvoj seriji. Ovo istraživanje je, za razliku od Conradoa de Freitas i suradnika (2021), utvrdilo bitnu razliku u obavljenom radu tijekom treće serije u korist PAPE. Ukupan volumen je u oba istraživanja bio koji je nešto veći za vrijeme PAPE, no niti u jednom se nije pokazao statistički značajnim u odnosu na KON. Isto tako, promatrajući kako teški potisak s klupe ($3 \times 90\%$ 1RM-a) nakon pauze od 10 minuta utječe na volumen tri serije bench pressa do otkaza, Alves i suradnici (2021) ustanovili su značajnu razliku u broju ponavljanja u prve dvije serije u odnosu na KON, dok se treća nije pokazala statistički značajnom. Takvi rezultati ne idu u prilog ovome istraživanju gdje je statistički značajna razlika u korist PAPE dobivena jedino unutar treće serije. Razlog tako neujednačenih rezultata može biti u stupnju utreniranosti ispitanika po čemu će osobe iskusnije u treningu s otporom, radi njihove veće neuromuskularne učinkovitosti, biti osjetljivije na potencijacijski podražaj, naročito u prvoj seriji kada je učinak potencijacije zasigurno dominantniji od umora. Ovo istraživanje, s druge strane, sadrži heterogenu grupu ispitanica po pitanju trenažnog iskustva, koje varira od 6 mjeseci do 10 godina iskustva treninga s otporom. Prema Cormieru i suradnicima (2022), veći utjecaj PAPE postiže se kod osoba s 2 i više godine iskustva u treningu s otporom u usporedbi s rekreativno aktivnim pojedincima ili onima s manje od 2 godine iskustva. Nadalje, utreniranim osobama kraće su pauze dovoljne za postizanje PAPE učinka

radi sposobnosti bržeg oporavka, stoga bi individualiziranje pauze s obzirom na trenažno iskustvo mogla biti bolja opcija (Gołas, Maszczyk i sur., 2016). Osim trenažnog iskustva, relativna jakost, gledana kroz 1RM podijeljen s tjelesnom masom, također može biti bitan faktor u doziranju intenziteta potencijacijskog podražaja i nadovezujuće pauze (Cormier i sur., 2022). Cormier i suradnici (2022) predlažu, bez obzira na spol, pauzu od 5-7 minuta za utrenirane pojedince čija je relativna jakost $\geq 1,75$ kg/kg u stražnjem čučnju te $\geq 1,35$ kg/kg u potisku s klupe, dok za slabije pojedince savjetuju ≥ 8 min pauze kako bi se optimizirala izvedba. Nadalje, Alves i suradnici (2021) navode kako je jedan od kriterija za sudjelovanje u istraživanju bilo redovito prakticiranje potiska s klupe unazad 6 mjeseci što znači da su ispitanici imali određenu razinu specifičnog trenažnog iskustva i znanja te vježbe prije provedbe samog istraživanja što je zasigurno osiguralo bolju živčano-mišićnu učinkovitost i veću sposobnost regrutacije mišićnih vlakana, što predstavlja značajan faktor pri izazivanju pozitivnih ishoda PAPE (Chiu i sur., 2003). Duže pauze između radnih serija ovog istraživanja (4 minute) u odnosu na spomenuta istraživanja (1,5-2 minute) mogu biti razlog ostvarenja drugačijeg ishoda treće serije gdje je ispitanicima ostavljeno dovoljno vremena za potpuni oporavak (Schoenfeld, 2010), a učinak PAPE moguće da nije u potpunosti nestao. Ipak, obzirom da bi se učinci PAPE prema nekim autorima u vremenskom rasponu do treće serije izgubili, ovakav rezultat se ne može sa sigurnošću pripisati djelovanju PAPE.

Dva su rada analizirala ishode PAPE fenomena samo u jednoj seriji, što u treninzima nije uobičajena praksa gdje se najčešće izvodi više serija iste vježbe kako bi se postigle željene adaptacije. Tako je značajno poboljšanje izvedbe u korist PAPE utvrđeno u radu Garbisu-Hualde i suradnika (2023) gdje se nakon teškog ponavljanja potiska s klupe (93% 1RM-a) i pauze od 6 minuta izvodio makimalan broj ponavljanja na 80% 1RM-a. Slično tome, Vargas-Molina i suradnici (2023) utvrdili su kako su umjerene i teške serije povlačenja na prsa na lat trenažeru, uz 8 minuta odmora, unaprijedili količinu izvedenih zgibova. Takvi rezultati se ne podudaraju s rezultatima prve serije ovog istraživanja gdje značajne razlike između eksperimentalne i kontrolne grupe nema.

Ishod sličan kao u ovom istraživanju dobiven je u istraživanju Krzysztofik, Wilk, Filip i suradnika (2020) gdje nije utvrđena razlika između PAPE i KON u broju ponavljanja kroz 3 serije potiska s klupe. No, utvrdili su kako je vrijeme pod napetošću (*engl.* time under tension; TUT) bilo značajno duže u serijama pod učinkom PAPE. Za razliku od protokola korištenog u ovom istraživanju, Krzysztofik, Wilk, Filip i suradnici (2020) koristili su protokol koji se sastojao od 3x3 ponavljanja na 85% 1RM-a s individualiziranom pauzom u trajanju između 4-

12 minuta. Treba napomenuti kako je broj ponavljanja u tom istraživanju bio skoro pa isti u svim serijama uspoređujući PAPE s KON, dok su u ovom istraživanju razlike bile uočljivije u korist PAPE. Unatoč individualiziranim pauzama, volumen potencijacijskog podražaja toga istraživanja bio je poprilično visok što je moglo rezultirati prevelikom akumulacijom umora te nedostatnim odmorom i tako suzbiti učinke PAPE.

Veći obujam treninga s otporom često je povezan s većom mišićnom hipertrofijom. Rezultati ovoga rada nisu ustanovili statistički značajnu razliku ukupnog trenažnog volumena u korist PAPE, no nešto veći ukupan broj ponavljanja je bio uočen nakon PAPE. Ranije je rečeno da izvođenje većeg broja ponavljanja s istim opterećenjem može dovesti do većeg povećanja sinteze proteina (Burd i sur., 2010) i većeg porasta poprečnog presjeka mišića (Junior i sur., 2017) u kombinaciji s višestrukim serijama (Schoenfeld, 2010). Slijedeći tu tvrdnju, PAPE bi mogao služiti kao koristan alat za povećanje trenažnog volumena potencirane vježbe i u teoriji pridonijeti dugoročnijim mišićnim adaptacijama u vidu hipertrofije. Međutim, ovim istraživanjem to ne možemo tvrditi te je potrebna provedba daljnjih istraživanja na tu temu. Iako se prema istraživanju Burd i suradnika (2010) mišićna hipertrofija može izazvati izvođenjem većeg broja ponavljanja istim opterećenjem, zaključci drugih istraživanja sugeriraju da je za postizanje maksimalnog hipertrofijskog odgovora trening do voljnog mišićnog otkaza ključan (Willardson, 2007) te se on može postići u širokom rasponu opterećenja od $\geq \sim 30\%$ 1RM-a (Schoenfeld i sur. 2021). Unatoč tome, preporučuje se periodizacija i ograničavanje serija izvedenih do otkaza kako bi se spriječilo stanje pretreniranosti (Schoenfeld, 2010). Treba napomenuti kako se danas među trenerima i vježbačima mišićni otkaz koristi kao jedno od temeljnih načela postizanja mišićne hipertrofije. Uzimajući u obzir tvrdnju da je mišićni otkaz najbitniji faktor postizanja mišićne hipertrofije, redovito uključivanje protokola PAPE u trening, s ciljem dugoročnih mišićnih adaptacija u vidu hipertrofije, nema veliku svrhu jer PAPE odgađa dolazak do voljnog mišićnog otkaza, dok će hipertrofijski učinak ostati isti bez obzira na izvedeni broj ponavljanja.

Promatrajući spol, hormonalne razlike između muškaraca i žena dobro su poznate, no trenutno ne postoji pregled koji sustavno analizira glavne razlike na živčano-mišićnoj i hormonalnoj razini u kontekstu treninga s opterećenjem (Roberts i sur., 2020). Iako ovo istraživanje nije uzimalo u obzir menstrualni ciklus, dokazi upućuju na to da žene tijekom treninga u svojoj folikularnoj fazi mogu postići veće dobitke u jakosti i mišićnoj masi, dok im tijekom lutealne faze treba duži period oporavka (Roberts i sur., 2020). Nadalje, razlika u mišićnoj jakosti između muškaraca i žena veća je u gornjem dijelu tijela, gdje žene obično imaju 50-60% jakosti

muškaraca, u usporedbi s donjim dijelom tijela, gdje žene imaju 60-70% jakosti muškaraca, dok je jakost trupa kod žena oko 60% jakosti muškaraca, što vrijedi kako za opću populaciju tako i za natjecateljske powerliftere (Nuzzo, 2023). Apsolutna mišićna hipertrofija i dobitak na jakosti veći su kod muške populacije nakon treninga s opterećenjem (Roberts i sur., 2020). S druge strane, relativni porasti u mišićnoj masi i jakosti donjeg dijela tijela slični su kod oba spola, dok se pokazalo da relativni dobitci u jakosti gornjeg dijela tijela mogu biti veći kod žena (Roberts i sur., 2020). Sličan zaključak dobili su Wilson i suradnici (2013) u svojoj meta-analizi, gdje je utvrđeno kako spol nema značajan utjecaj na ishode submaksimalnog predopterećenja. No, puno veći broj istraživanja utjecaja PAP-a i PAPE proveden je na muškarcima naspram žena te se takvi zaključci ne mogu sa sigurnošću tvrditi. Prema rezultatima ovoga rada, zaključilo bi se da PAPE nije učinkovita metoda za povećanje broja ponavljanja prije pojave mišićnog otkaza kod žena pri vježbi za donje ekstremitete.

6. ZAKLJUČAK

Ovo je, prema dosadašnjim saznanjima autorice, prvo istraživanje koje je pratilo utjecaj PAPE na mišićni otkaz kod žena u vježbi za donji dio tijela kroz više radnih serija. Uvrštavanje PAPE u zagrijavanje nije rezultiralo statistički značajnim promjenama u broju izvedenih ponavljanja do otkaza tijekom prve i druge serije te ukupnog trenažnog volumena (serije x ponavljanja), dok je u trećoj seriji uočena značajna razlika u usporedbi s KON. S obzirom na duže pauze između radnih serija, učinak PAPE bi se trebao minimalizirati ili čak potpuno nestati do treće serije, stoga se ta značajna razlika ne može sa sigurnošću pripisati PAPE-u. Heterogenost grupe ispitanica po pitanju trenažnog iskustva potencijalni je razlog raspršenosti i time neujednačenosti rezultata u odnosu na prethodna istraživanja na ovu temu te se u budućim istraživanjima, ali i praksi, savjetuje individualiziranje pauza ispitanica. Premda spol ne bi trebao igrati bitnu ulogu u ishodu rezultata, postoji šansa da žene ostvaruju manju korist od PAPE u treningu s otporom, promatrajući njegov utjecaj na voljni mišićni otkaz. Uzimajući mišićni otkaz kao ključan faktor mišićne hipertrofije, uključivanje PAPE u trening nije koristan alat jer odgađa dolazak do mišićnog otkaza, a hipertrofijski učinak ostaje isti bez obzira na izvedeni broj ponavljanja prije pojave mišićnog otkaza.

Ograničenja ovog istraživanja očituju se u malom uzorku ispitanica te njegovoj heterogenosti po pitanju prethodnog trenažnog iskustva, neuračunatoj relativnoj jakosti te prethodnom specifičnom znanju i vještini izvedbe nožnog potiska.

Jasno je da postoji potreba za dodatnim istraživanjima na temu PAPE kako bi se bolje razumjeli mehanizmi koji stoje iza njegovih učinaka, posebno u kontekstu voljnog mišićnog otkaza i ukupnog trenažnog volumena. Različiti pristupi i varijable, kao što su duljina pauza između serija, intenzitet submaksimalnog predopterećenja, te treniranost ispitanika, ali i menstrualni ciklus ako se radi o ispitanicama, trebali bi biti detaljnije istraženi kako bi se potvrdili i proširili ovi nalazi. Nadalje, buduća istraživanja trebala bi uključiti veći broj ispitanika, naročito žena, kako bi se osigurala veća mogućnost generaliziranja rezultata.

7. LITERATURA

- Alves, R. R., Viana, R. B., Silva, M. H., Guimarães, T. C., Vieira, C. A., Santos, D. de A. T., & Gentil, P. R. V. (2021). Postactivation Potentiation Improves Performance in a Resistance Training Session in Trained Men. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(12), 3296–3299. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003367>
- Andrews, S. K., Horodyski, J. M., MacLeod, D. A., Whitten, J., & Behm, D. G. (2016). The Interaction of Fatigue and Potentiation Following an Acute Bout of Unilateral Squats. *Journal of sports science & medicine*, 15(4), 625–632.
- Arne Guellich, & Dietmar Schmidtbleicher. (1996). MVC-induced short-term potentiation of explosive force. *New studies in athletics*, 11, 67–84.
<https://centrostudilombardia.com/wp-content/uploads/IAAF-Generale/1996-MVC-induced-short-term-potentiation-of-explosive-force.pdf>
- 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/jappphysiol.01254.2006>
- Bishop, D. (2003). Warm Up II. *Sports Medicine*, 33(7), 483–498.
<https://doi.org/10.2165/00007256-200333070-00002>
- 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.
<https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01359>
- Burd, N. A., West, D. W. D., Staples, A. W., Atherton, P. J., Baker, J. M., Moore, D. R., Holwerda, A. M., Parise, G., Rennie, M. J., Baker, S. K., & Phillips, S. M. (2010). Low-Load High Volume Resistance Exercise Stimulates Muscle Protein Synthesis More Than High-Load Low Volume Resistance Exercise in Young Men. *PLoS ONE*, 5(8), e12033.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0012033>
- Chiu, L. Z. F., 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)
- Conrado de Freitas, M., Rossi, F. E., Colognesi, L. A., de Oliveira, J. V. N. S., Zanchi, N. E., Lira, F. S., Cholewa, J. M., & Gobbo, L. A. (2021). Postactivation Potentiation Improves Acute Resistance Exercise Performance and Muscular Force in Trained Men. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(5), 1357–1363.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002897>
- 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*, 52(10), 2371–2389. <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01715-x>

- 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*, 42(10), 1122–1125. <https://doi.org/10.1139/apnm-2017-0217>
- de Oliveira, J. J., Harley Crisp, A., Reis Barbosa, C. G., de Souza e Silva, A., Julio Baganha, R., & Verlengia, R. (2017). Title: Effect of Postactivation Potentiation on Short Sprint Performance: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Asian Journal of Sports Medicine, In Press*(In Press). <https://doi.org/10.5812/asjasm.14566>
- do Carmo, E. C., De Souza, E. O., Roschel, H., Kobal, R., Ramos, H., Gil, S., & Tricoli, V. (2021). Self-selected Rest Interval Improves Vertical Jump Postactivation Potentiation. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(1), 91–96. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002519>
- Folland, J. P., & Williams, A. G. (2007). The Adaptations to Strength Training. *Sports Medicine*, 37(2), 145–168. <https://doi.org/10.2165/00007256-200737020-00004>
- Garbisu-Hualde, A., Gutierrez, L., & Santos-Concejero, J. (2023). Post-Activation Performance Enhancement as a Strategy to Improve Bench Press Performance to Volitional Failure. *Journal of Human Kinetics*. <https://doi.org/10.5114/jhk/162958>
- 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>
- Gołaś, A., Maszczyk, A., Zajac, A., Mikołajec, K., & Stastny, P. (2016). Optimizing post activation potentiation for explosive activities in competitive sports. *Journal of Human Kinetics*, 52(1), 95–106. <https://doi.org/10.1515/hukin-2015-0197>
- Gołaś, A., Wilk, M., Stastny, P., Maszczyk, A., Pajerska, K., & Zajac, A. (2017). Optimizing Half Squat Postactivation Potential Load in Squat Jump Training for Eliciting Relative Maximal Power in Ski Jumpers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(11), 3010–3017. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001917>
- Henneman, E., Somjen, G., & Carpenter, D. O. (1965). EXCITABILITY AND INHIBITIBILITY OF MOTONEURONS OF DIFFERENT SIZES. *Journal of Neurophysiology*, 28(3), 599–620. <https://doi.org/10.1152/jn.1965.28.3.599>
- Junior, R. M., Berton, R., de Souza, T. M. F., Chacon-Mikahil, M. P. T., & Cavaglieri, C. R. (2017). Effect of the flexibility training performed immediately before resistance training on muscle hypertrophy, maximum strength and flexibility. *European journal of applied physiology*, 117(4), 767–774. <https://doi.org/10.1007/s00421-016-3527-3>
- Krzysztofik, M., Wilk, M., Filip, A., Zmijewski, P., Zajac, A., & Tufano, J. J. (2020). Can Post-Activation Performance Enhancement (PAPE) Improve Resistance Training Volume during the Bench Press Exercise? *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(7), 2554. <https://doi.org/10.3390/ijerph17072554>
- KRZYSZTOFIK, M., WILK, M., GOLAS, A., LOCKIE, R. G., MASZCZYK, A., & ZAJAC, A. (2020). Does Eccentric-only and Concentric-only Activation Increase Power Output?

- Medicine & Science in Sports & Exercise*, 52(2), 484–489.
<https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002131>
- 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>
- MacIntosh, B. R., Robillard, M.-E., & Tomaras, E. K. (2012). Should postactivation potentiation be the goal of your warm-up? *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 37(3), 546–550. <https://doi.org/10.1139/h2012-016>
- McKay, A. K. A., Stellingwerff, T., Smith, E. S., Martin, D. T., Mujika, I., Goosey-Tolfrey, V. L., Sheppard, J., & Burke, L. M. (2022). Defining Training and Performance Caliber: A Participant Classification Framework. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 17(2), 317–331. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2021-0451>
- MORIN, J.-B., EDOUARD, P., & SAMOZINO, P. (2011). Technical Ability of Force Application as a Determinant Factor of Sprint Performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(9), 1680–1688. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318216ea37>
- Nuzzo, J. L. (2023). Narrative Review of Sex Differences in Muscle Strength, Endurance, Activation, Size, Fiber Type, and Strength Training Participation Rates, Preferences, Motivations, Injuries, and Neuromuscular Adaptations. *Journal of strength and conditioning research*, 37(2), 494–536. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004329>
- Roberts, B. M., Nuckols, G., & Krieger, J. W. (2020). Sex Differences in Resistance Training: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of strength and conditioning research*, 34(5), 1448–1460. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003521>
- 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>
- Schoenfeld, B. J., Grgic, J., Van Every, D. W., & Plotkin, D. L. (2021). Loading Recommendations for Muscle Strength, Hypertrophy, and Local Endurance: A Re-Examination of the Repetition Continuum. *Sports*, 9(2), 32. <https://doi.org/10.3390/sports9020032>
- Shellock, F. G., & Prentice, W. E. (1985). Warming-Up and Stretching for Improved Physical Performance and Prevention of Sports-Related Injuries. *Sports Medicine*, 2(4), 267–278. <https://doi.org/10.2165/00007256-198502040-00004>
- Sweeney, H. L., Bowman, B. F., & Stull, J. T. (1993). Myosin light chain phosphorylation in vertebrate striated muscle: regulation and function. *American Journal of Physiology-Cell Physiology*, 264(5), C1085–C1095. <https://doi.org/10.1152/ajpcell.1993.264.5.C1085>
- Tillin, N. A., & Bishop, D. (2009). Factors Modulating Post-Activation Potentiation and its Effect on Performance of Subsequent Explosive Activities. *Sports Medicine*, 39(2), 147–166. <https://doi.org/10.2165/00007256-200939020-00004>

- Vargas-Molina, S., Rojas-Jaramillo, A., Chulvi-Medrano, I., Carbone, L., Ramirez-Salgado, U., Bonilla, D. A., & García-Sillero, M. (2023). Post-Activation Performance Enhancement in Pull-Up Exercise with Elastic Resistance Training in Tac-tical Personnel. *Retos*, 49, 797–806. <https://doi.org/10.47197/retos.v49.98861>
- Willardson, J. M. (2007). The Application of Training to Failure in Periodized Multiple-Set Resistance Exercise Programs. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(2), 628. <https://doi.org/10.1519/R-20426.1>
- Wilson, J. M., Duncan, N. M., Marin, P. J., Brown, L. E., Loenneke, J. P., Wilson, S. M. C., Jo, E., Lowery, R. P., & Ugrinowitsch, C. (2013). Meta-Analysis of Postactivation Potentiation and Power. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(3), 854–859. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31825c2bdb>