

Postaktivacijska potencijacija (PAP) - pregled literature

Potroško, Dario

Master's thesis / Diplomski rad

2018

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:117:286862>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-24**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
KINEZIOLOŠKI FAKULTET
(studij za stjecanje visoke stručne spreme
i stručnog naziva: magistar kineziologije)

Dario Potroško

**POSTAKTIVACIJSKA
POTENCIJACIJA (PAP) - PREGLED
LITERATURE**

(diplomski rad)

Mentor:

doc. dr. sc. Cvita Gregov

Zagreb, srpanj 2018.

POSTAKTIVACIJSKA POTENCIJACIJA (PAP) - PREGLED LITERATURE

Sažetak

Cilj ovog rada bio je pregledom literature utvrditi najvažnije spoznaje o postaktivacijskoj potencijaciji (PAP), i dati smjernice za njezinu praktičnu primjenu u području kondicijske pripreme sportaša. Unatoč velikom broju istraživanja koja su proučavala postaktivacijsku potencijaciju jednoznačni zaključci o uzrocima i praktičnoj primjeni ovog efekta su izostali. Ovaj rad utvrdio je i opisao faktore koji utječu na PAP uz smjernice za kvalitetnu praktičnu primjenu PAP-a unutar trenažnog programa s ciljem razvoja tjelesnih sposobnosti sportaša. Jedan od najvažnijih faktora koji utječe na PAP efekt jest jakost. Sukladno tome, jače osobe potencijacijski podražaj (PP) trebale bi izvoditi sa submaksimalnim/maksimalnim opterećenjem (>90% od 1RM-a) dok se slabijim osobama preporuča izvođenje PP-a s opterećenjem od 60-80% od 1RM-a. Osim toga, preporuča se da volumen PP-a jačih osobabude veći nego kod slabijih osoba, dok je optimalno vrijeme trajanja odmora između 5 i 12 minuta. Neke od vrsta PP-a koje se mogu koristiti s ciljem poboljšanja izvedbe glavne aktivnosti su čučanj, potisak na ravnoj klupi, nabačaj na snagu, vježbe pliometrije i vučenje saonica s opterećenjem.

Summary

The goal of this thesis was to determine the most important information about postactivation potentiation (PAP) and to give practical recommendations for its use in field of strenght and conditioning. Despite the great number of research on PAP there is still no universal conclusion regarding this effect. One of the most important factors which determines the size of PAP effect is strenght. Therefore, stronger individuals should use submaximal/maximal load (>90% of 1RM) during conditioning activity (CA) while weaker counterparts should use moderate 80-90% CA load. Volume should also be higher with stronger individuals while rest period should last between 5 and 12 minutes. Activities that can be used as CA are squat, bench press, power clean, plyometrics and heavy sled towing.

Sadržaj

1. UVOD.....	4
2. ŠTO JE TO POSTAKTIVACIJSKA POTENCIJACIJA (PAP)?	5
3. FIZIOLOŠKI MEHANIZMI POSTAKTIVACIJSKE POTENCIJACIJE	8
3.1 Fosforilacija lakih regulacijskih lanaca miozina	8
3.2 Povećana aktivacija motoričkih jedinica višeg reda.....	12
3.3 Promjena kuta penacije.....	16
4. PREGLED LITERATURE	18
5. ZAKLJUČAK.....	35
6. LITERATURA	36

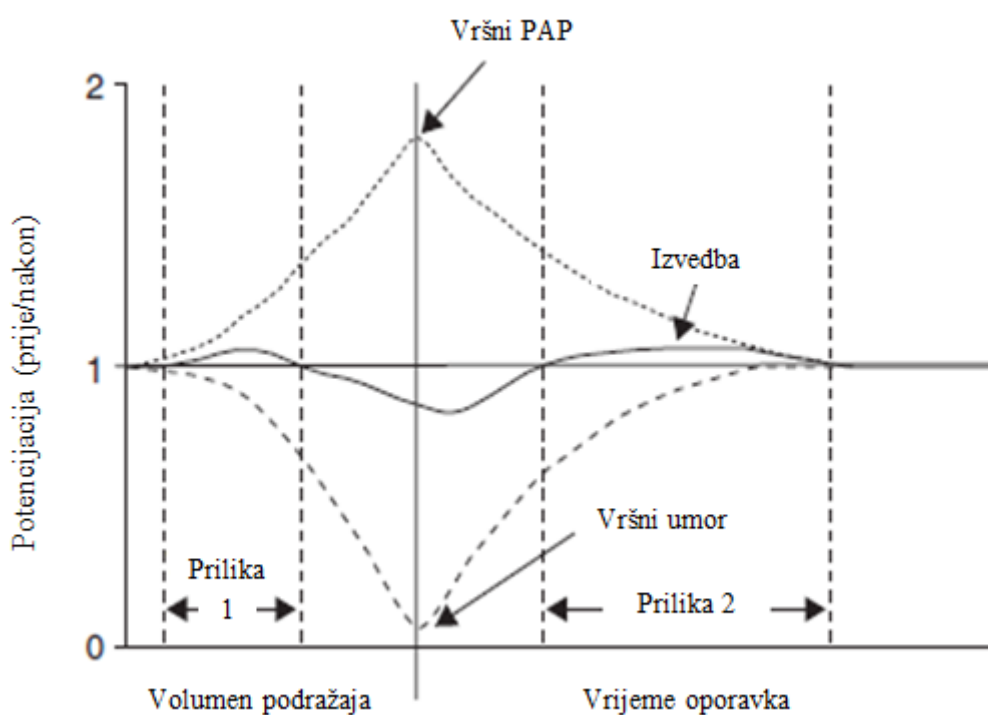
1. UVOD

Jedna od najvažnijih karakteristika današnjih sportaša je sposobnost brzog stvaranja sile koja je direktno povezana s brzinom trčanja, visinom skoka, duljinom skoka itd. Zahtjevi za brzim i eksplozivnim pokretima prvenstveno su povezivani s atletskim disciplinama. Međutim, razvojem sporta u cijelosti, spomenute karakteristike od iznimne su važnosti za uspjeh gotovo svakog sportaša. Kroz povijest kondicijske pripreme sportaša broj metoda koje su treneri koristili za razvoj brzinsko-eksplozivnih sposobnosti sportaša bio je sve veći i veći te tako danas postoji nebrojeni broj trenažnih postupaka koje treneri koriste u pripremi svojih sportaša. Jedan od trenažnih načina je kontrastni trening koji svoj princip djelovanja temelji na izazivanju efekta postaktivacijske potencijacije (PAP). Drugim riječima, kontrastni trening nastoji primjenom velikih predopterećenja izazvati bolju izvedbu u aktivnosti eksplozivnog karaktera. Iako je PAP efekt subjekt proučavanja koja traju već nekoliko desetljeća, potpuno suglasnost stručnjaka u vezi fiziološke pozadine i samog načina izazivanja PAP efekta još uvijek ne postoji. Stoga je cilj ovoga rada pregledom dosadašnje literature utvrditi najbitnije fiziološke mehanizme i metodičke faktore treninga koji utječu na pojavu PAP-a.

Na samome početku, bitno je istaknuti da se pri pregledu literature koristilo slijedeće ključne riječi: *postactivation potentiation*, *post-activation potentiation*, *jump*, *power*, *sprint*, *endurance*. Ključne riječi korištene su samostalno i u različitim kombinacijama te su se prvenstveno koristile u pretrazi radova prema riječima koje sadrže u naslovu. Pretraživane baze podataka jesu: PubMed i EBSCO, a svi oni radovi koji u cijelosti nisu bili dostupni unutar baza podataka pretraživani su pomoću Google tražilice kako bi se provjerila njihova dostupnost na drugim internetskim stranicama. Radovi su selektirani s obzirom na 5 kriterija: a) rad je morao biti napisan na engleskom jeziku; b) rad je morao biti dostupan u PDF formatu; c) rad je morao biti objavljen u znanstvenom časopisu; d) rad je morao proučavati PAP efekt isključivo u kontekstu kondicijske pripreme sportaša; e) rad je morao biti preglednog tipa (pregledni članak ili meta-analiza) uz iznimku koja podrazumijeva radove novijeg datuma izdavanja, a koji nisu uključeni u neki od preglednih radova.

2. ŠTO JE TO POSTAKTIVACIJSKA POTENCIJACIJA (PAP)?

Postaktivacijsku potencijaciju (PAP) možemo definirati kao fenomen koji akutno povećava mišićnu snagu i izvedbu (Chiu i sur., 2003) nakon prethodnog potencijacijskog podražaja (PP). PP je najčešće vježba koja se izvodi s opterećenjem, a biomehanički je slična pokretu koji se izvodi nakon PP, bez opterećenja. Veličina PAP efekta za pojedinog sportaša primarno ovisi o balansu između umora i potencijacije. Taj balans određen je mnogim faktorima, a najznačajniji su trenažno iskustvo, duljina trajanja odmora i intenzitet PP (Wilson i sur., 2013). Tilin i Bishop (2009) predložili su model hipotetskog odnosa između postaktivacijske potencijacije i umora nakon prethodnog potencijacijskog podražaja koji grafički prikazuje faze PAP-a (Prikaz 1).



Prikaz 1. Model hipotetskog odnosa između postaktivacijske potencijacije (PAP) i umora nakon prethodnog potencijacijskog podražaja (PP). Kada je volumen podražaja malen, PAP je dominantniji od umora te potencijacija u izvedbi sljedeće eksplozivne aktivnosti (prije/nakon) može biti ostvarena odmah (prilika 1). Kako volumen podražaja raste, umor postaje dominantan te negativno utječe na izvedbu sljedeće eksplozivne aktivnosti. Nakon podražaja, umor nestaje brže od potencijacije te izvedba eksplozivne aktivnosti može biti ostvarena unutar vremena oporavka (prilika 2) (Tilin i Bishop, 2009).

PAP efekt se prvenstveno koristi s ciljem stvaranja potencijacije te iskorištavanja potencijacije kako bi proizveli što veću silu u što kraćem vremenu. Sukladno tome, nakon PP-a koji stvara potencijaciju slijedi izvođenje eksplozivne aktivnosti/vježbe (npr. vertikalni skok ili sprint) kako bi iskoristili potencijaciju organizma.

Trenažne metode koje se najčešće koriste za stvaranje PAP-a jesu kontrastni i kompleksni trening koji podrazumijevaju PP u obliku izvođenja vježbe s vanjskim (najčešće) submaksimalnim opterećenjem nakon kojeg slijedi odmor određenog vremenskog trajanja, a zatim izvođenje eksplozivne vježbe s malim (kontrastni) ili bez vanjskog opterećenja (kompleksni), a s ciljem da pokret biomehanički bude što sličniji pokretu iz PP-a. Naravno, opterećenje koje se koristi kao PP može varirati, međutim efekti koji se javljaju s različitim opterećenjima nisu identični. Broj faktora koji utječu na javljanje PAP efekta nije jasno definiran, a osim faktora koje su Tilin i Bishop (2009) spomenuli kao najvažnije, Suchomel i suradnici (2015) podijelili su faktore u dvije osnovne kategorije te razvili deterministički model potencijacije za vertikalni skok (Prikaz 2).

Prva kategorija odnosi se na *subjekt i njegove karakteristike* koje utječu na sposobnost potencijacije vertikalnog skoka. Neke od najvažnijih karakteristika jesu jakost, spol, mišićni sustav i trenažna povijest. Druga kategorija obuhvaća *parametre treninga* koji za cilj ima stvaranje PAP efekta. Osim volumena opterećenja, parametri koji su također od značajne važnosti pri stvaranju potencijacije su vježba koja se izvodi, vrsta PP-a (balistički ili ne-balistički) te trajanje intervala odmora koji je potreban kako bi se zadovoljili svi preduvjeti za PAP. Daljnje grananje determinističkog modela opisuje uvjete (dinamički ili statički) u kojima možemo izvoditi vježbe te također tipove vježbi koje su pogodne za PAP. Ukoliko su parametri treninga zadovoljeni na optimalnoj razini, subjekt dolazi u stanje "spremnosti", odnosno organizam subjekta je u stanju potencijacije što nas dovodi do posljednjeg dijela determinističkog modela.

Nakon pojave PAP efekta deterministički model opisuje fiziološke mehanizme koji utječu na njegovo stvaranje pri čemu su najznačajnija 3 mehanizma:

- 1) fosforilacija lakih regulacijskih lanaca miozina,
- 2) aktivacija motoričkih jedinica i
- 3) kut penacije.

The diagram illustrates the factors influencing the state of readiness (Stanje "spremnosti") for physical activity, organized into three main sections:

- Subjekt (Subject):**
 - Snaga (Strength)
 - Apsolutna (Absolute)
 - Relativna (Relative)
 - Spol (Sex)
 - Povijest treninga (Training history)
 - Mišići (Muscles)
 - Brzina zgloba (Joint speed)
 - Položaj zgloba (Joint position)
 - Duljina mišića (Muscle length)
 - Interakcija poprečnih mostova (Cross-bridge interaction)
 - Krak sile (Force arm)
 - Građa (Build)
 - Omjer inervacije (Innervation ratio)
 - Elastični elementi (Elastic elements)
 - Serijski (Series)
 - Paralelni (Parallel)
 - Kut penacije (Penetration angle)
 - SSC (Stretch-shortening cycle)
 - Promjena kuta (Angle change)
 - PPM (Pre-peak moment)
- SPPC (Sport Performance Profile):**
 - Volumen opterećenja (Load volume)
 - Balistički ili ne-balistički (Ballistic or non-ballistic)
 - Vježba (Exercise)
 - Dinamička (Dynamic)
 - Nožni potisak (Foot push)
 - Vesta s utezima (Weighted vest)
 - Izvođenje bacanja (Throwing technique)
 - Trčanje/bicikl (Running/biking)
 - Isprekidano (Intermittent)
 - Weightlifting varijante (Weightlifting variants)
 - Statička (Static)
 - Čučanj (Squat)
 - Pliom etnja (Plyometrics)
 - OP (Optimal position)
 - Trajanje odmora (Rest duration)
 - Kratko (Short)
 - Dugo (Long)
 - Optimalno (Optimal)
 - WBV (Weight-bearing volume)
 - MVK (Maximum voluntary contraction)
 - Trajanje (Duration)
- PAP efekti (PAP effects):**
 - Brzina zgloba (Joint speed)
 - Kinematika zgloba (Joint kinematics)
 - Karakteristike zgloba (Joint characteristics)
 - Fosforilacija lakih lanaca miozina (Myosin light chain phosphorylation)
 - Aktivacija MJ (Motor unit activation)
 - Kut penacije (Penetration angle)
 - Krutost mišića (Muscle stiffness)
 - Reaktivna snaga (Reactive power)

The final outcome is **Stanje "spremnosti"** (State of readiness), which is influenced by the PAP effects and the characteristics of the myosin light chain phosphorylation (↑ karakteristika stvaranja sile: vršna sila, RFD, snaga, itd.).

(*EK* - ekscentrična kontrakcija, *IK* - izometrička kontrakcija, *KK* - koncentrična kontrakcija, *MJ* - motorička jedinica, *MVK* - maksimalna voljna kontrakcija, *OP* - opseg pokreta, *PPM* - poprečni presjek mišića, *RFD* (*eng. rate of force development*) - brzina stvaranja sile, *SPPC* (*eng. strength-power potantiation complex*) - potencijacijski kompleks jakost - snaga, *SSC* (*eng. stretch-shortening cycle*) - ciklus brzog izduživanja - skraćivanja, *WBV* (*eng. whole body vibration*) - vibracija cijelog tijela.)

3. FIZIOLOŠKI MEHANIZMI PAP-a

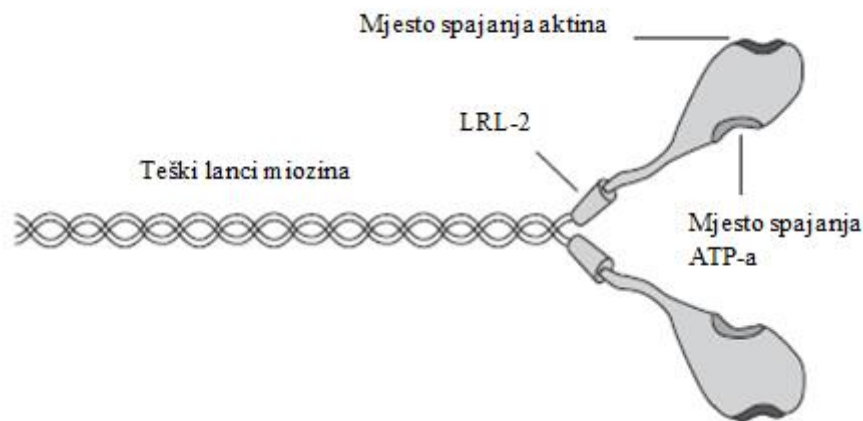
Unatoč brojim istraživanjima, fiziološki mehanizmi koji su uzrok PAP još uvijek nisu u potpunosti razjašnjeni. Stoga, predložena su dva osnovna mehanizma koja su odgovorna za PAP:

1. Fosforilacija lakih regulacijskih lanaca miozina (LRLM) i
2. Povećanje aktivacije motoričkih jedinica višeg reda.

Osim toga, postoje dokazi kako PAP-u doprinosi promjena kuta penacije, međutim taj mehanizam zahtijeva daljnja istraživanja kako bi se potvrdio njegov značaj za PAP (Tilin i Bishop, 2009).

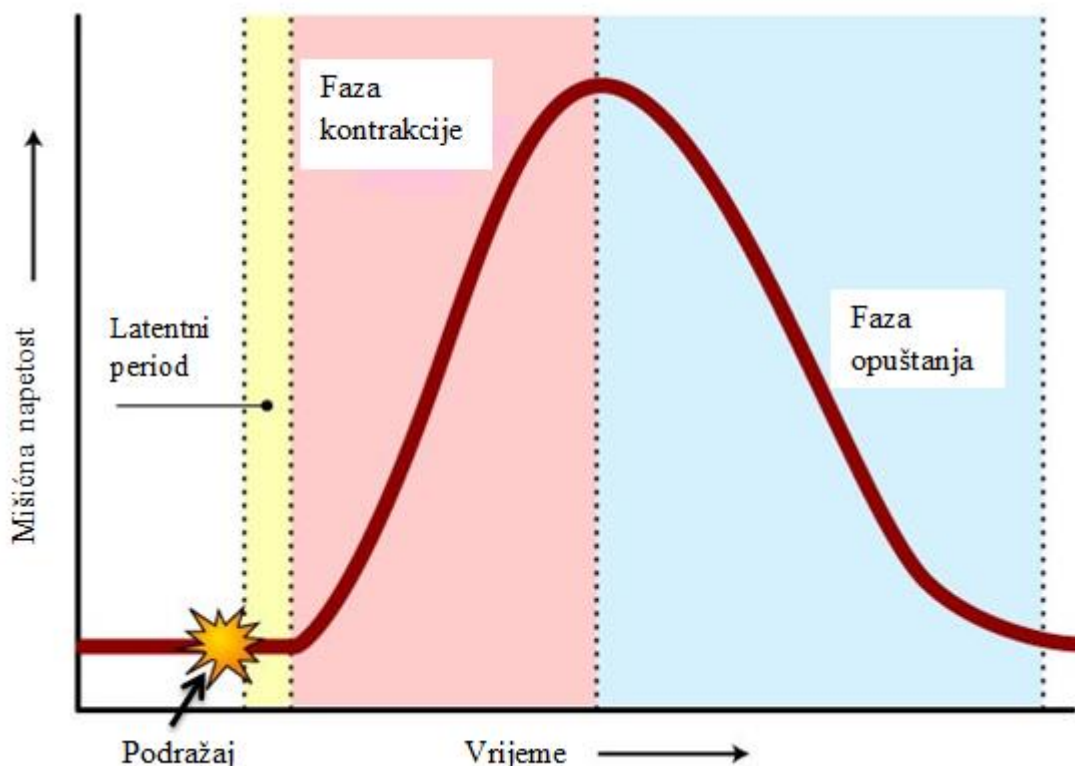
3.1 Fosforilacija lakih regulacijskih lanaca miozina

Szczesna (2003) (prema Tilin i Bishop, 2009), molekulu miozina definira kao heksamer koji se sastoji od dva teška lanca (Prikaz 3). Početni dio svakog teškog lanca definiran je kao glava miozina te sadrži dva laka regulacijska lanca (LRL) pri čemu svaki LRL ima specifičnu točku spajanja za prihvaćanje fosfatne molekule. Fosforilacija lakih regulacijskih lanaca miozina (LRLM) katalizirana je enzimom kinaze lakog lanca miozina koji se aktivira kada se molekule Ca^{2+} , oslobođene iz sarkoplazmatskog retikuluma tijekom mišićne kontrakcije, spoje na regulacijski protein kalcija, kalmodulin. Vjeruje se da fosforilacija LRLM-a omogućava kontrakcije tako što mijenja strukturu glave miozina i pomiče ju dalje od njegove deblje niti. Također, pokazano je kako fosforilacija LRLM-a pomaže interakciji aktina i miozina kroz povećanu osjetljivost na mioplazmatski Ca^{2+} . Stoga, fosforilacija LRLM ima najveće efekte pri relativno malim koncentracijama Ca^{2+} što je slučaj tijekom mišićnog trzaja ili nisko frekvencijskih tetaničkih kontrakcija (Tilin i Bishop 2009).



Prikaz 3. Jedna molekula miozina. Svaka molekula miozina građena je od dva teška lanca miozina. Lagani regulacijski lanci (LRL-2) predstavljaju par LRL-a smještenih na vratu glave miozina. Svaki LRL može pripojiti molekulu fosfata mijenjajući strukturu glave miozina. Na svakoj glavi miozina nalaze se mjesta spajanja aktina i ATP-a (Szczesna, D., 2003; prema Tilin i Bishop, 2009).

Latash (1998) (prema Hodgson i sur., 2005) mišićni trzaj (Prikaz 4) definira kao kratku mišićnu kontrakciju koja se javlja kao odgovor na jedan presinaptički akcijski potencijal ili jedan sinkronizirajući skup akcijskih potencijala, dok se sila mišićnog trzaja može povećati na tri osnovna načina: 1) *neprekidnom maksimalnom voljnom kontrakcijom*, 2) *pobuđenom tetaničkom kontrakcijom* ili 3) *ponavljajućim stimulansom subfuzijske frekvencije*. Osim što povećavaju maksimalnu silu trzaja, navedeni načini pobuđivanja mišića također su pokazali povećanje brzine stvaranja sile (*eng. rate of force development*; RFD) mišićnog trzaja i smanjenje vremena postizanja maksimalne sile (Sale, D. G., 2002, Grange, R. W., 1993). Ovaj efekt je poznatiji pod nazivom *trzajna potencijacija* (TP) te je jasno utvrđen i praktičan fenomen iako njegov učinak na ljudsku motoričku izvedbu još uvijek nije u potpunosti razjašnjen.



Prikaz 4. Grafički prikaz mišićnog trzaja. Mišić je u opuštenom stanju te je stimuliran podražajem. Tijekom latentnog perioda Ca^{2+} ioni oslobađaju se iz sarkoplazmatskog retikuluma i vežu se na troponin što posljedično omogućava interakciju aktina i miozina. Faza kontrakcije mišića započinje aktivacijom interakcije aktina i miozina i što uzrokuje skraćivanje sarkomera. Zatim slijedi faza opuštanja tijekom koje se Ca^{2+} vraćaju u sarkoplazmatski retikulum, a mišićna napetost se vraća u početno stanje (preuzeto sa: <http://cultua.info/muscle-twitch/>).

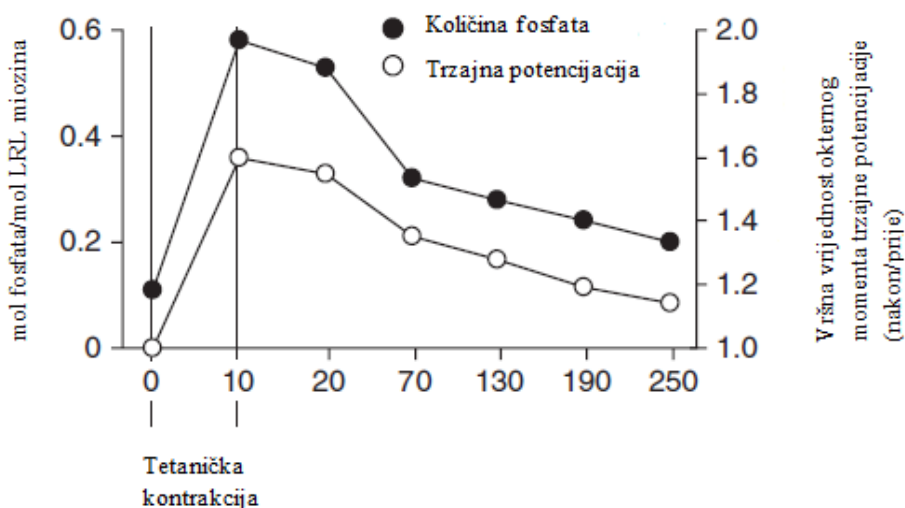
Ipak, ono što znamo jest da TP povećava silu i RFD pri nisko frekvencijskim tetaničkim izometričkim kontrakcijama. S druge strane, TP ne povećava vršnu vrijednost sile pri visoko frekvencijskim tetaničkim kontrakcijama već samo RFD (Vandenboom i sur., 1993; prema Hodgson i sur., 2005). Hodgson i suradnici (2005) ističu kako veličina TP-e pobuđene voljnim kontrakcijama ovisi o intenzitetu i trajanju voljne kontrakcije (Vandervoot i sur., 1983) te o vrsti mišićnih vlakana (Vandervoot i sur., 1983; Hamada i sur., 2000). Autori navode istraživanje Vandervoota i suradnika (1983) koji su utvrdili kako je trzajni potencijal u mišiću tibialisu anterioru (TA) i plantarnom pregibaču nakon maksimalne voljne izometričke kontrakcije (MVIK) pokazao najveću vrijednost nakon otprilike 10 sekundi trajanja MVIK, dok je nakon duljih trajanja voljnih kontrakcija potencijacija djelomično potisnuta zbog umora. Također, isti autori navode da voljne kontrakcije manje od 75% od maksimalne voljne kontrakcije proizvode malu ili nikakvu

potencijaciju te zaključuju kako maksimalne (nasuprot submaksimalnih) voljne kontrakcije u trajanju od otprilike 10 sekundi izazivaju najveću TP.

Nadalje, Hodgson i suradnici (2005) navode istraživanje Sweeneyja i suradnika (1993) koje je dokazalo da je TP veća u brzim (tip 2) mišićnim vlaknima budući da ta vlakna pokazuju veću fosforilaciju LRLM kao odgovor na prethodnu kontrakciju.

Također, Tilin i Bishop (2009) (prema Vandervoort i McComas, 1983) navode kako je TP bila značajno veća u ljudskom mišiću gastrocnemiusu (veći broj vlakana tipa 2) u odnosu na mišić soleus nakon tetaničkog stimulansa. Isto tako, Hamada i suradnici (2000) autori su istraživanja koje je proučavalo korelaciju između distribucije tipa vlakana i trzajne potencijacije u mišićima ispružačima koljena. Rezultati su pokazali da su pojedinci s kraćim vremenom trajanja trzajne kontrakcije i većim postotkom vlakana tipa 2 sposobni razviti veću TP (prema Hodgson i suradnici, 2005).

Tilin i Bishop (2009) navode kako su mnoge studije životinjskih modela (Manning i Stull, 1982; Moore i Stull, 1984; Vandenboom i sur., 1993; Szczeszna i sur., 2002) dokazale akutno povećanje fosforilacije LRL miozina i paralelnu potencijaciju trzajne napetosti nakon tetaničke stimulacije različitih specifičnih živčanih vlakana (Prikaz 5).

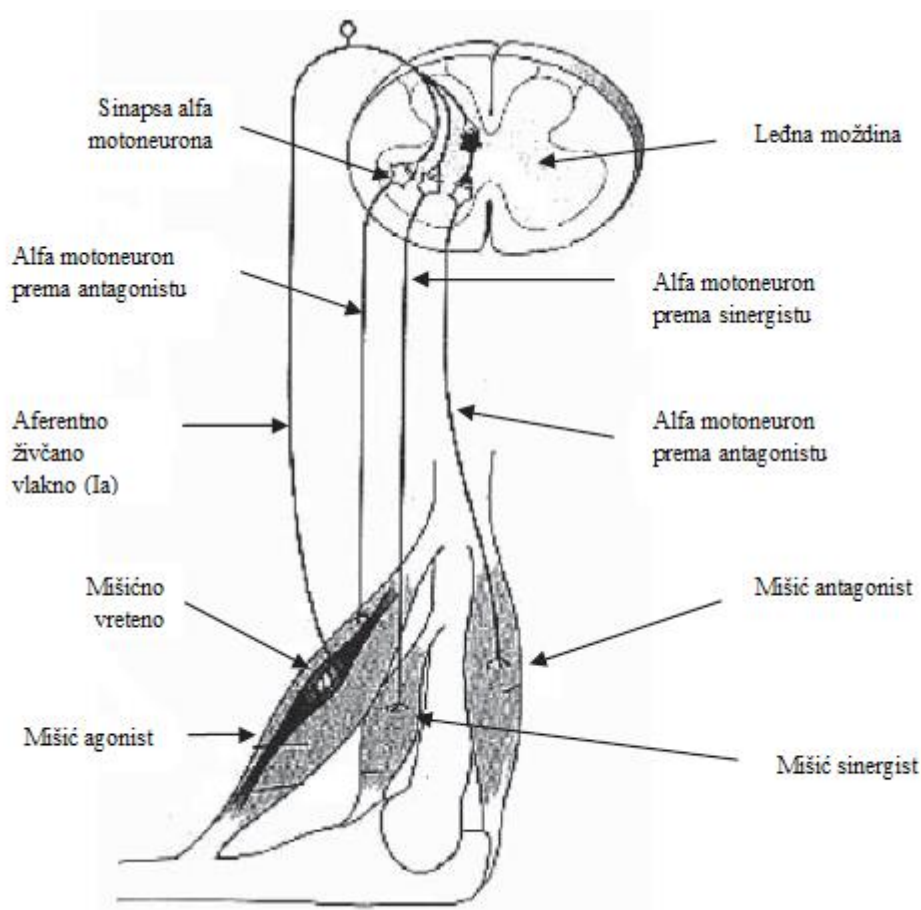


Prikaz 5. Vremenski prikaz fosforilacije lakih regulacijskih lanaca (LRL) miozina i vršne vrijednosti okretnog momenta trzajne potencijacije. Potencijacija je prikazana kao omjer okretnog momenta nakon maksimalne voljne kontrakcije (MVK) i okretnog momenta prije MVK (nakon/prije). Ovi rezultati sugeriraju mogući odnos između fosforilacije LRL miozina i potencijacije trzajne napetosti (Tilin i Bishop, 2009).

Istraživanja provedena na ljudima s ciljem proučavanja akutnog povećanja fosforilacije LRL miozina nakon PP-a nisu dala konzistentne rezultate kao istraživanja na životinjama, a neki od mogućih razloga su metodološki faktori i razlike u tipovima vlakana između životinja i ljudi (Tilin i Bishop, 2009). Teorija koja se bazira na dosadašnjim istraživanjima govori nam kako je moguće da bi trzajna potencijacija, preko povećane brzine stvaranja sile (RFD) i ubrzanja, mogla povećati vršnu brzinu i silu postignutu tijekom dinamičkih mišićnih kontrakcija. Međutim, potrebna su daljnja istraživanja strategija izazivanja trzajne potencijacije i njezinih posljedica kako bi se dokazala ova hipoteza (Hodgson i sur., 2005).

3.2 Povećana aktivacija motoričkih jedinica višeg reda

Tilin i Bishop (2009) navode kako su dosadašnja istraživanja na životinjama pokazala da inducirana tetanička izometrička kontrakcija, uzrokovana podražajem specifičnih aferentnih živčanih vlakana koja zauzvrat aktiviraju susjedne α -motoneurone preko aferentnog živčanog voleja (Prikaz 6), povećava prijenos ekscitacije potencijala preko sinaptičkih čvorova na razini leđne moždine. To prilagođeno stanje može potrajati nekoliko minuta nakon tetaničke kontrakcije te se kao rezultat javlja povećanje post-sinaptičkog potencijala za isti pre-sinaptički potencijal sljedeće aktivnosti. Autori ističu istraživanje Lushcera i suradnika (1983) koji su predložili potencijalni mehanizam stvaranja povećanog prijenosa akcijskog potencijala preko sinaptičkih čvorova na razini leđne moždine. Za svako matično živčano vlakno (npr. 1a vlakno) brojne sinapse projiciraju na svaki α -motoneuron pri čemu aktivacija α -motoneurona djeluje na principu sve ili ništa. Otpuštanje sinaptičkog transmitera mora se podudarati sa osjetljivosti post-sinaptičkih receptora. Pad transmitera na različitim sinaptičkim čvorovima je uobičajena pojava tijekom normalnog refleksa ili voljnog odgovora zbog autonomno zaštićene aktivacijske rezerve. Stoga, pretpostavlja se da inducirana tetanička kontrakcija smanjuje pad tijekom glavne aktivnosti preko jedne ili više kombinacija od nekoliko mogućih odgovora. Oni uključuju povećanje količine otpuštanja neurotransmitera, povećanje efikasnosti neurotransmitera ili smanjenje praga otkaza u aksonskim granama uzduž aferentnih živčanih vlakana.



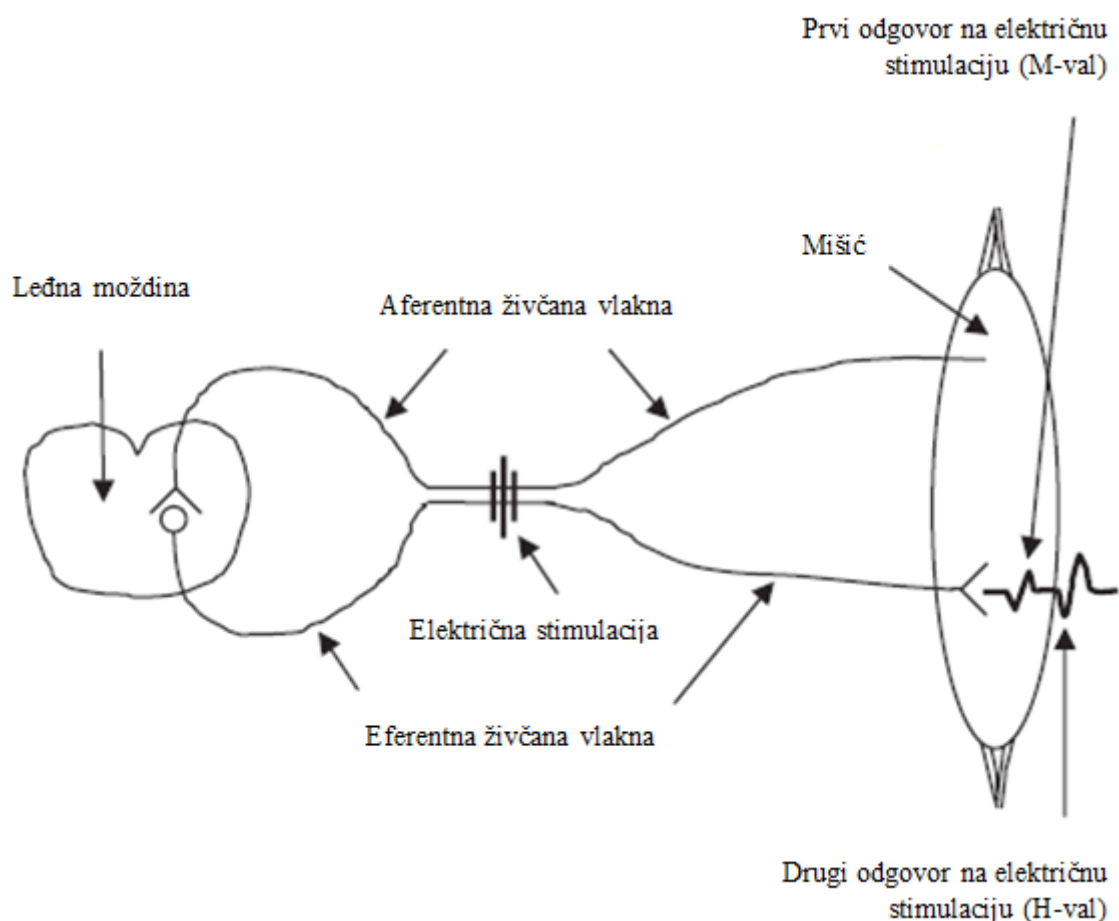
Prikaz 6. Živčani voleji aferentnog vlakna Ia. Akcijski potencijal izazvan na aferentnom vlaknu Ia putuje do leđne moždine gdje je prebačen na susjedni α -motoneuron mišića agonista. Akcijski potencijal zatim putuje direktno do mišića agonista inicirajući proces mišićne kontrakcije (prema Tilin i Bishop, 2009).

Hirst i suradnici (1981) dali su dokaze koji podržavaju smanjenje pada monosinaptičkih transmitera tijekom glavne aktivnosti. Stimulirali su aferentna živčana vlakna mačke i uočili 54%-tno povećanje ekscitacijskih post-sinaptičkih potencijala (*eng. excitatory post-synaptic potentials*; EPSPs) za isti presinaptički podražaj nakon 20-sekundne izometričke tetaničke kontrakcije. Veći EPSPs prikazao je veću depolarizaciju membrane α -motoneurona što bi povećalo vjerojatnost da α -motoneuroni dostignu prag potreban za iniciranje akcijskog potencijala i zatim kontrahiraju mišićna vlakna te motoričke jedinice.

Luscher i suradnici (1983) također su mjerili EPSP α -motoneurona mačke kao odgovor na električni podražaj. Pronašli su značajnu pozitivnu korelaciju između ulaznog (input) otpora motoneurona i amplitude EPSP za standardni podražaj ($r = 0,77$; $p < 0,01$), pri čemu je ulazni otpor povezan s veličinom α -motoneurona (gdje manji ulazni otpor

predstavlja veći motoneuron). To sugerira da je pad monosinaptičkih transmitera veći kod većih motoneurona (oni koji su odgovorni za aktivaciju motoričkih jedinica višeg reda ili motoričkih jedinica brzih vlakana). Suprotno, kada je trzaj podražen 10-sekundnom tetaničkom kontrakcijom, autori su utvrdili značajnu negativnu korelaciju između EPSP potencijacije ulaznog otpora motoneurona ($r = -0,92$; $p < 0,01$). To pokazuje da je tetanička kontrakcija smanjila pad transmitera koji se javljao prvenstveno kod većih motoneurona, a rezultirao je značajnim PAP efektom kod tih motoneurona. Ukoliko bi PP mogao potaknuti povećanje aktivacije motoričkih jedinica višeg reda kod ljudi, ovaj efekt bi teoretski mogao povećati doprinos brzih vlakana mišićnoj kontrakciji te zbog toga poboljšati izvedbu u glavnoj eksplozivnoj aktivnosti.

Prijašnje studije su mjerile H-val kod ljudi kako bi proučavale efekte PP na regrutaciju motoričkih neurona. H-val (H-refleks) mjeri se na mišićnom vlaknu pomoću elektromiografije te je rezultat aferentnog živčanog voleja kao odgovora na jednopulsni submaksimalni podražaj odgovarajućeg živčanog snopa (Prikaz 7). Stoga se pretpostavlja kako bi povećanje H-vala nakon PP moglo predstavljati pad transmitera na sinaptičkim čvorištima i naknadno povećanje u aktivaciji motoneurona višeg reda. Gullich i Shmidtbleicher (1996) stimulirali su tibijalni živac i mjerili promjere amplitude H-vala mišića gastrocnemiusa prije i 5 sekundi nakon maksimalne voljne izometričke kontrakcije plantarnih fleksora. Zabilježili su smanjenje amplitude H-vala 1 minutu nakon MVK (-24% ; $p < 0,05$), ali potencijaciju H-vala 5-13 minuta nakon MVK ($+20\%$; $p < 0,01$).

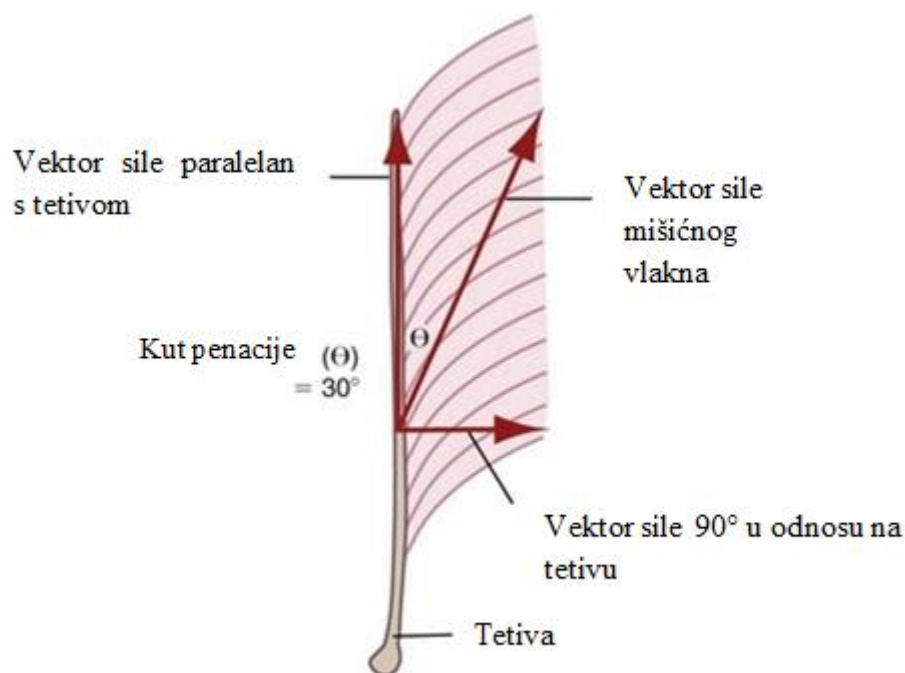


Prikaz 7. Izazivanje M- i H-vala. Stimulacija živca jednim submaksimalnim električnim impulsom izaziva dva električna odgovora mišića. Prvi odgovor (M-val) je rezultat putovanja akcijskog potencijala direktno uzduž eferentnih živčanih vlakana (α -motoneurona). Drugi odgovor (H-val) je rezultat putovanja akcijskog potencijala uz aferentna živčana vlakna do leđne moždine gdje se prenosi do susjednih živčanih vlakana i dolje prema mišiću (Tilin i Bishop 2009).

Budući da H-val nije normaliziran do maksimalnog M-vala (M-val je električno izazvani H-val) aktivacije svih motoričkih jedinica jednog mišića, za rezultate Gullicha i Schmidtleichera (1996) mogli bi biti odgovorni ostali faktori koji nisu povezani sa centralnom aktivacijom kao što je povećanje aktivnosti $\text{Na}^+\text{-K}^+$ pumpe mišićnih vlakana. Usprkos tome, ostale studije zabilježile su potencijaciju kod amplitude normaliziranog H-vala 3 – 10 minuta nakon 8 serija dinamičkih MVK-a i 5 - 11 minuta nakon izometričkih MVK u trajanju od 10 sekundi. Zajedno, ti rezultati sugeriraju kako PAP povećava amplitudu H-vala kod ljudi (nakon dovoljno dugog odmora) i to bi mogao biti rezultat povećane aktivacije motoneurona višeg reda na razini leđne moždine. Još uvijek je potrebno odrediti može li PP pospješiti aktivaciju motoneurona i poboljšati izvedbu naknadne voljne kontrakcije (Tilin i Bishop, 2009).

3.3 Promjena kuta penacije

Posljedni mehanizam koji potencijalno objašnava pojavu PAP efekta je promjena u kutu penacije. Kut penacije mišića (kut između snopova mišićnih vlakana i unutarnje aponeuroze) predstavlja orijentaciju ili smjer mišićnih vlakana u odnosu na vezivno tkivo/tetivu (Prikaz 8). Stoga, kut penacije će utjecati na prijenos sile na tetive i kosti. Budući da je suma primijenjenih sila svih pojedinih vlakana na danu tetivu tijekom mišićne kontrakcije smanjena je za faktor $\cos\theta$ (pri čemu je θ = kut penacije), manji kut penacije ima mehaničku prednost pri prijenosu sile na tetivu mišića.

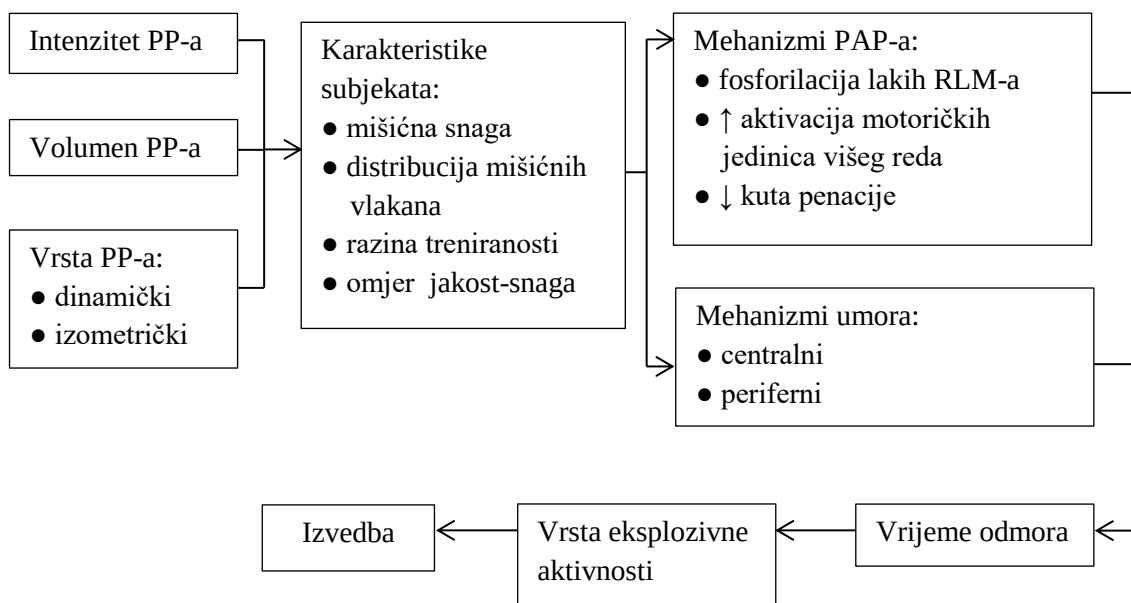


Prikaz 8. Kut penacije mišića. Manji kut penacije mišića u odnosu na tetivu podrazumijeva mehaničku prednost stvaranja mišićne sile (prema Hunter, S. K., Brown D. A., preuzeto s: <https://clinicalgate.com/muscle-the-primary-stabilizer-and-mover-of-the-skeletal-system/>).

Jedno od istraživanja koje je proučavalo ovaj efekt proveli su Mahlfeld i sur (2004) (prema Tilin i Bishop, 2009). Oni su koristeći ultrazvuk mjerili kut penacije mišića vastusa lateralis u mirovanju, prije i nakon izometričke MVK u trajanju od 3 sekunde. Kut penacije odmah nakon MVK ($15,7^\circ$) nije se promijenio u odnosu vrijednosti prije MVK-a ($16,2^\circ$); ipak, 3 - 6 minuta nakon MVK-a isti kut se značajno smanjio ($14,4^\circ$; $p < 0,05$). Iako bi ova promjena bila ekvivalent od samo 0,9% povećanja u prijenosu sile na tetivu, postoji mogućnost da ovaj efekt pridonosi PAP-u. Ipak, PP-i vrlo vjerojatno povećavaju usklađenost vezivnog tkiva/tetiva te bi to moglo smanjiti bilo kakvo povećanje u prijenosu

sile uzrokovano smanjenjem kuta penacije (Tilin i Bishop, 2009). Zbog toga je ova teorija kao uzrok PAP efekta i dalje pod velikim znakom sumnje s vrlo malo konkretnih znanstveno utemeljenih dokaza.

Uzimajući u obzir složenost pojave PAP efekta te faktore i fiziološke mehanizme koji utječu na njegovo stvaranje, Tilin i Bishop (2009) grafički su prikazali kompleksnost faktora i njihovo djelovanje na PAP (Prikaz 9).



Prikaz 9. Kompleksni faktori koji utječu na izvedbu voljne eksplozivne aktivnosti nakon potencijacijskog podražaja (PP). Intezitet, volumen i vrsta PP-a će na svakog subjekta djelovati drugačije, što ovisi o njegovim karakteristikama. Ovi faktori će zajedno utjecati na PAP efekt i pojavu umora. Interakcija između mehanizama PAP-a i umora odrediti će je li glavna aktivnost pod utjecajem potencijacije te duljinu odmora koja je subjektu potrebna. Bez obzira na prethodnu interakciju, odgovori različitih eksplozivnih aktivnosti na PP mogu se međusobno razlikovati. **RLM** regulacijski lanci miozina (Tilin i Bishop, 2009).

4. PREGLED LITERATURE

Dosadašnja istraživanja PAP efekta uglavnom su proučavala njegov utjecaj na eksplozivne aktivnosti sportaša poput skoka i sprinta te na izlaz snage sportaša ili treniranih osoba. Manji broj istraživanja baziran je na sportašima koji se bave sportovima izdržljivosti te utjecaju PAP efekta na njihovu motoričku izvedbu. Osim utjecaja PP na PAP efekt i specifičnu motoričku izvedbu, istraživanja su također proučavala faktore koji utječu na PAP. Ovaj rad obuhvatio je deset preglednih radova/meta-analiza i sedam originalnih radova (Tablica 1) s najvažnijim informacijama iz područja istraživanja PAP efekta.

Tablica 1. Znanstveni radovi uključeni u analizu PAP efekta.

Autori	Originalni naslov znanstvenog rada
Andrews i sur. (2016)	The Interaction of Fatigue and Potentiation Following an Acute Bout of Unilateral Squats
Bishop i Tilin (2009)	Factors Modulating Post-Activation Potentiation and its Effect on Performance of Subsequent Explosive Activities
Borba i sur. (2016)	Effect of post-activation potentiation in Athletics: a systematic review
Boullosa i sur. (2018)	Post-activation potentiation (PAP) in endurance sports: A review
Fukutani i sur. (2014)	Influence of the intensity of squat exercises on the subsequent jump performance
Gołaś i sur. (2016)	Optimizing Post Activation Potentiation for Explosive Activities in Competitive Sports
Gouvêa i sur. (2012)	The effects of rest intervals on jumping performance: A meta-analysis on post-activation potentiation studies
Greenough, C. (2017)	Post-activation potentiation influence on sprint acceleration performance
Hodgson i sur. (2005)	Post-Activation Potentiation Underlying Physiology and Implications for Motor Performance
Oliviera i sur. (2017)	Effect of Postactivation Potentiation on Short Sprint Performance: A Systematic Review and Meta-Analysis
Sahcnehz-Sanchez i sur. (2018)	Effects of Different Post-Activation Potentiation Warm-Ups on Repeated Sprint Ability in Soccer Players from Different Competitive Levels
Sarramian i sur. (2015).	Effect of postactivation potentiation on fifty-meter freestyle in national swimmers.
Seitz i Haff (2015)	Factors Modulating Post-Activation Potentiation of Jump, Sprint, Throw, and Upper-Body Ballistic Performances: A Systematic Review with Meta-Analysis
Sharma i sur. (2018)	Postactivation Potentiation Following Acute Bouts of

	Plyometric versus Heavy-Resistance Exercise in Collegiate Soccer Players
Suchomel i sur. (2015)	Understanding Vertical Jump Potentiation: A Deterministic Model
Ulrich i Parstofer (2017)	Effects of Plyometric Versus Concentric and Eccentric Conditioning Contractions on Upper-Body Postactivation Potentiation
Wilson i sur. (2013)	Meta-Analysis of Postactivation Potentiation and Power: Effects of Conditioning Activity, Volume, Gender, Rest Periods, and Training Status

Budući da na pojavu PAP efekta utječe mnogo faktora, cilj brojnih istraživanja je njihovo definiranje sa smjernicama za njihovu kontrolu unutar trenažnog procesa. Također, potrebno je utvrditi značajnost pojedinog faktora kako bi se u praksi mogli koncentrirati na najvažnije varijable s ciljem njihove što bolje kotrole.

Faktori koji su definirani kroz pregledne radove (Tilin i Bishop, 2009; Wilson i sur., 2013; Seitz i Haff, 2015) PAP efekta jesu:

- 1) Karakteristike subjekta,
- 2) Vrsta potencijacijskog podražaja (PP),
- 3) Intenzitet PP-a,
- 4) Volumen PP-a,
- 5) Interval odmora,
- 6) Vrsta glavne aktivnosti i
- 7) Spol.

Karakteristike subjekta

Mišićna jakost i omjer *jakost - snaga* vrlo su važne karakteristike osoba čiji utjecaj određuje pojavu PAP-a nakon potencijacijskog podražaja (Hodgson i sur., 2005; Tilin i Bishop, 2009; Wilson i sur., 2013; Seitz i Haff, 2015; Oliveira i sur., 2017; Greenough, 2017).

Wilson i suradnici (2013) zaključuju kako jače osobe bolje reagiraju na više serija PP-a budući da slabije trenirane osobe vrlo često na isti protokol reagiraju s većom razinom umora. Isti zaključak donijeli su Seitz i Haff (2015) koji su razinu jakosti definirali pomoću omjera između tjelesne mase pojedinca i razine opterećenja koju pojedinac može svladati (Jaki subjekti - omjer *stražnji čučanj : tjelesna masa* $\geq 1,75$ za

muškarce i $> 1,5$ za žene; omjer *potisak s ravne klupe* : *tjelesna masa* $\geq 1,35$ za muškarce; Slabiji subjekti - omjer *stražnji čučanj* : *tjelesna masa* $< 1,75$ za muškarce i $< 1,5$ za žene i omjer *potisak s ravne klupe* : *tjelesna masa* $< 1,35$ za muškarce). Jači subjekti ostvarili su bolje PAP učinke (ES = 0,41; eng. *Effect size* – veličina učinka) u odnosu na slabije pojedince (ES = 0,32).

Gourgoulis i suradnici (2003) su koristeći protokol od 5 serija polučučnjeva s 2 ponavljanja i opterećenjima od 20%, 40%, 60%, 80% i 90% od 1RM-a opteretili 14 košarkašica studentskog uzrasta. Košarkašice su podijelili u dvije grupe (< 160 kg 1RM čučanj i > 160 kg 1RM čučanj) dok su kao glavna aktivnost korištena 2 CMJ (eng. *countermovement jump*, skok iz čučnja s prethodnom pripremom) skoka na Kistler platformi. Snažnija grupa zabilježila je veće povećanje srednje vrijednosti CMJ-a u odnosu na slabiju grupu ($\uparrow 4,0\%$ u odnosu na $\uparrow 0,42\%$).

Kilduff i suradnici (2007) koji su zabilježili korelaciju između mišićne jakosti (apsolutne i relativne) i vršne sile potencijacije CMJ-a 12 minuta nakon 3RM stražnjeg čučnja ($r = 0,63$; $p < 0,01$). Također, isti autori spominju omjer *jakost* - *snaga* koji je u dosadašnjim istraživanjima pokazao utjecaj na PAP odgovor nakon PP-a.

Schneiker i suradnici (2006) pokazali su značajnu negativnu korelaciju između omjera *jakost* - *snaga* i potencijacije vršne vrijednosti snage tijekom CMJ-a s opterećenjem koji su ispitanici izvodili 2 – 4 minute nakon jedne serije stražnjeg čučnja s opterećenjem od 6 RM-a ($r^2 = 0,65$; $p < 0,05$). Kada su ispitanici podijeljeni na one s omjerom *jakost* - *snaga* < 19 W/kg (grupa 1) i one s omjerom > 19 W/kg (grupa 2), grupa 1 pokazala je značajnu negativnu korelaciju između omjera *jakost* - *snaga* i potencijacije vršne vrijednosti snage ($r^2 = 0,91$; $p < 0,05$) za razliku od grupe 2 koja nije pokazala povezanost između istih varijabli ($p < 0,05$). Autori zaključuju kako subjekti koji imaju manji omjer *jakost* - *snaga* i višu razinu jakosti bolje reagiraju na PP.

Greenough (2017) navodi kako je čučanj s opterećenjem 2 x TM (tjelesna masa) indikator snažnog pojedinca. U tom kontekstu spominje istraživanje Seitza i suradnika (2014) koji su 18 elitnih juniora ragbijaša podijeli na jake (≥ 2 x TM) i slabe (< 2 x TM) s ciljem utvrđivanja mogu li pojedinci subjekti ostvariti PAP prije slabijih pojedinaca. Subjekti su izvodili 1 x 3 ponavljanja stražnjeg čučnja s 90% 1RM-a da bi nakon toga izvodili skokove iz čučnja. Rezultati su pokazali kako su jači subjekti PAP efekte ostvarili između 3 i 12 minuta nakon PP-a (najveći efekti ostvareni su 6 minuta nakon PP-a) dok su

slabiji subjekti iste efekte ostvarili između 6 i 12 minuta nakon PP-a (najveći efekti ostvareni su 9 minuta nakon PP-a) pri čemu je grupa jakih ispitanika ostvarila značajno veću ($p \leq 0,05$) vrijednost PAP efekta u svakom mjerenju nakon PP-a. Zaključno, jači subjekti, odnosno subjekti s većom razinom jakosti ostvarili su značajno veću PAP ($r = 0,740$; $p = 0,004$) te je efekt postignut ranije u odnosu na slabiju grupu ispitanika ($r = -0,690$; $p = 0,002$).

Suchomel i suradnici (2015) također navode jakost kao jednu od karakteristika koja utječe na PAP efekt. Rezultati pregleda radova potvrđuju prijašnje zaključke kako snažniji pojedinci kvalitetnije reagiraju na PP u odnosu na slabije pojedince (Chiu i sur., 2003; Gourgoulis i sur., 2003; Koch i sur., 2003; Rixon i sur., 2007; Berning i sur., 2010; Seitz i sur., 2014; Suchomel i sur., 2015) te navode kako osim više razine relativne snage, koja generira sposobnost bržeg rješavanja umora nakon PP-a (Jo i sur., 2010; Seitz i sur., 2014; Suchomel i sur., 2015), subjekti koji su sposobni izvesti čučanj s opterećenjem od 2 x TM imaju bolje preduvjete za potencijacijski odgovor u odnosu na slabije pojedince (Ruben i sur., 2010; Bullock i Comfort, 2011; Seitz i sur., 2014; Suchomel i sur. 2015; Suchomel i sur., 2015). Zaključno, autori navode kako manja razina relativne snage dovodi do slabijeg potencijacijskog odgovora na PP te poboljšanje ove karakteristike pojedinca može pozitivno utjecati na PAP. Osim toga, sposobnost izvedbe čučnja s opterećenjem od 1,7 - 2,0 x TM stvara dobre preduvjete za PAP efekt nakon PP-a.

Hamada i suradnici (2003) navode distribuciju mišićnih vlakana kao jednu od karakteristika subjekata koja utječe na PAP efekt. U provedenom protokolu ispitanike su podijelili u 2 grupe: grupu s pretežno brzim (tip 2) mišićnim vlaknima (T-II; $n = 4$) i grupu s pretežno sporim (tip 1) mišićnim vlaknima (T-I; $n = 4$). Subjekti su izvodili MVIK u trajanju od 3 sekunde tijekom koje je mjeren P_t (*eng. peak torque* vršni okretni moment). Veća vrijednost P_t zabilježena je kod grupe T-II (250,0 vs 171,0 N · m; $p < 0,01$). Subjekti su također izvodili protokol umora koji se sastojao od 16 5-sekundnih MVIK-a ekstenzora koljena. Grupa T-II zabilježila je značajno veću potencijaciju napetosti trzaja tijekom početne faze protokola (+127% vs +40% povećanja u P_t nakon treće MVIK; $p < 0,05$). Ipak, grupa T-II također je zabilježila veći pad u trzajnom P_t i P_t MVIK-e tijekom kasnije faze protokola umora ($p < 0,05$). Navedeni rezultati nam govore kako osobe koji imaju više mišićnih vlakana tipa 2 tijekom početne faze protokola imaju veću sposobnost korištenja anaerobnih izvora energije i generiranja sile. S druge strane, s duljim trajanjem opterećenja isti subjekti zbog metabolita koji se stvaraju prilikom anaerobnog stvaranja energije

također generiraju veću razinu umora (Fabiato i Fabiato, 1978; Chasiotis i sur., 1983; prema Tilin i Bishop (2009)).

Tilin i Bishop (2009), kao posljednju karakteristiku subjekta koja utječe na odnos PAP-a i umora, navode trenažni status ili razinu treniranosti. Autori ističu istraživanje Chiua i suradnika (2003) koji su 24 ispitanika podijelili u dvije grupe: sportaše koji sudjeluju na natjecanjima državne i međunarodne razine (TR: $n = 7$) i subjekte koji sudjeluju u rekreacijskom treningu s otporom (NT; $n = 17$). Koristeći isti potencijacijski protokol, TR grupa ispitanika osvarila je veće PAP efekte od NT grupe ispitanika. Autori su zaključili kako NT grupa ispitanika na PP reagira značajnijim umorom te to dovodi do izostanka potencijacije organizma i pada naknadnih sposobnosti. Iste rezultate utvrđuju i Wilson i suradnici (2013) koji su dobili statistički značajnu razliku između odgovora na PP između tjelesno aktivnih (aktivni, ali bez trenutnog uključenja u trening s otporom; $ES = 0,14$), treniranih (najmanje 1 godina iskustva u treningu s otporom; $ES = 0,29$) i sportaša (>3 godine iskustva u treningu s otporom, sportaš sveučilišne ili profesionalne razine te kompetitivni powerlifter ili dizač utega; $ES = 0,81$). Također, Sanchez-Sanchez i suradnici (2018) proučavali su utjecaj čučnja kao PP-a na sposobnost ponavljajućeg sprinta (eng. repeated sprint ability RSA) nogometaša dviju natjecateljskih razina - državne razine i regionalne razine. Nogometaši državne razine natjecanja (čučanj = $112,6 \pm 14,3$ kg) su na inicijalnom testiranju pokazali veću razinu jakosti u odnosu na nogometaše regionalne razine natjecanja (čučanj = $96,5 \pm 10,2$ kg). S tim u vezi, autori su zabilježili veće poboljšanje rezultata kod snažnije grupe ispitanika s većom razinom jakosti.

Zaključno, kao najvažnija karakteristika subjekta koja određuje PAP odgovor na PP ističe se *mišićna jakost* budući da je veći broj mišićnih vlakana tipa 2 direktno povezan s razinom jakosti (Karp, 2001), a viša razina treniranosti, odnosno veće iskustvo u treningu s otporom, podrazumijeva povećanje jakosti.

Vrsta potencijacijskog podražaja (PP)

Zbog svoje složenosti i biomehaničke sličnosti s aktivnostima koje sportaši svakodnevno izvode (skokovi, sprint), jedna od najkorištenijih vježbi koja se koristi u praksi s ciljem potencijacije organizma je **čučanj**. Tilin i Bishop (2009) navode istraživanje Chiua i suradnika (2003) koji su zabilježili povećanje CMJ-a i SJ-a (eng. *squat jump*, skok iz čučnja) nakon 5 serija stražnjeg čučnja s opterećenjem od 90% 1RM-a u

vrijednosti od 1-3% u odnosu na inicijalno mjerenje. Isti PP proučavali su Linder i suradnici (2010) (prema Borba i sur., 2016) koji su subjekte opteretili čučnjem od 4RM-a da bi 9 minuta nakon PP-a subjekti izvodili sprint na 100 m. Uočeno je poboljšanje rezultata od 0,19 s (1,2%) (prije PP-a = $17,14 \pm 1,55$; nakon PP-a = $16,95 \pm 1,55$). Evetovich i sur. (2015) kao PP koristili su 3 serije čučnja s 85% 1RM-a. Nakon 8 minuta odmora utvrdili su povećanje visine vertikalnog skoka (prije PP-a = $61,9 \pm 12,3$ cm, nakon PP-a = $63,6 \pm 11,6$ cm) i duljine horizontalnog skoka (prije PP-a = $93,7 \pm 11,0$ cm; nakon PP-a = $95,9 \pm 11,5$ cm).

Nadalje, Greenough (2017) je kao jednu od vrsta PP-a definirao čučanj te ističe istraživanje Bevana i suradnika (2010) koji su potencijacijski protokol provodili na profesionalnim ragbijašima. Sportaši su bili sposobni izvesti čučanj s opterećenjem od 1,7 puta tjelesne mase što su u protokolu izvodili kao 1 do 3 ponavljanja pri 91% 1RM-a. Testiran je sprint na 10 m (5 m intervalno) inicijalno, 4, 8, 12 i 16 minuta nakon PP-a. Uočeno je poboljšanje rezultata i na 5 m ($5,0 \pm 1\%$) i na 10 m ($8,0 \pm 1,0\%$). Također, poboljšanje rezultata u eksplozivnim aktivnostima nakon PP u obliku čučnja s opterećenjem zabilježili su Esformes i suradnici (2010) te Lim i Kong (2013) (prema Borba i sur., 2016).

Potrebno je spomenuti kako *dubina izvođenja čučnja* također ima utjecaja na PAP. Seitz i Haff (2015) definirali su čučanj kao plitki (bedra iznad paralelne pozicije u odnosu na pod) i duboki (bedra paralelna ili niža u odnosu na podlogu) te utvrdili bolje PAP efekte plitkog čučnja.

Pliometrija je također često korištena vrsta PP-a. Seitz i Haff (2015) utvrdili su pozitivne efekte pliometrije na PAP dok Greenough (2017) spominje istraživanje Turnera i sur. (2015) koji su proučavali sprint na 20 m kojemu su prethodili skokovi s promjenom nogu. Subjekti su bili muškarci s iskustvom u treningu pliometrije i sprinta. Izvodili su inicijalni sprint od 20 m (10 m split time) te sprint 15 sekundi, 2, 4, 8, 12 i 16 min nakon PP-a. PP sastojao se od 3 serije sa 10 ponavljanja skokova s promjenom nogu (5 kontakata po seriji za svaku nogu) koristeći tjelesnu masu i tjelesnu masu s dodatnim opterećenjem od 10% (vesta s utezima). Rezultati su pokazali pogoršanje izvedbe sprinta nakon odmora od 15 s ($1.4 \pm 2.5\%$, $p = 0.039$), ali su rezultati na 10 i 20 m bili poboljšani nakon 4 minute odmora (10m: $2.9 \pm 3.6\%$, $p = 0.002$; 20m: $2.6 \pm 2.8\%$, $p = 0.001$) u odnosu na kontrolne rezultate, dok su Borba i sur. (2017) u svoj pregledni rad uključili više istraživanja koja su također pokazala kako pliometrija kao PP poboljšava rezultate eksplozivnih aktivnosti

(Terzis i sur., 2012; Karampastos i sur., 2013; Kummel i sur., 2016). S druge strane, Esformes i sur. (2010) nisu uočili poboljšanje u visini CMJ-a nakon što su kao PP koristili 24 pliometrijska skoka s promjenom nogu. Kao moguće objašnjenje takvih rezultata navode dugo trajanje PP-a te prevladavanje umora nad potencijacijom organizma.

Nadalje, Sharma i sur. (2018) proučavali su utjecaj **pliometrije i polučučnja** kao PP na glavnu motoričku izvedbu. 14 nogometaša studentske razine natjecanja podijelili su u dvije grupe koje su izvodile dvije vrste protokola. Prva grupa od 7 nogometaša izvodila je dvije serije od 10 skokova iz gležnja (bilateralna vježba koja podrazumijeva refleksne odraze od poda sa što krućim stopalom) te tri serije po pet skokova preko prepona visine 70 cm s ciljem što kraćeg vremena trajanja kontakta s podlogom. Odmor između ove dvije aktivnosti trajao je 30 sekundi. Zatim, subjekti su izvodili 5 skokova s povišenja s visine od 50 cm s odmorom od 15 sekundi između pojedinih skokova. Drugih 7 nogometaša izvodilo je deset pojedinačnih polučučnjeva s opterećenjem od 90% od 1RM-a. Proučavajući rezultate CMJ-a nakon provedenih protokola, autori zaključuju kako je pliometrijski protokol pokazao veće poboljšanje rezultata nakon 1 minute ($p = 0.004$) i 10 minuta ($p = 0.001$) odmora u odnosu na polučučanj. Nadalje, autori su proučavali utjecaj ovih protokola na sprint na 20 m te također navode kako je pliometrijski protokol nakon 10 minuta odmora ($p = 0.003$) pokazao bolje rezultate od polučučnja te zaključuju kako pliometrijski podražaj uzrokuje veću potencijaciju od polučučnja.

Maksimalna voljna izometrička kontrakcija (MVIK) je aktivnost koju je organizacijski najlakše provesti jer njena izvedba uglavnom ne zahtijeva dodatno vanjsko opterećenje. Literatura je pokazala oprečne rezultate što se utjecaja ovog tipa PP-a na motoričku izvedbu tiče. Tilin i Bishop (2009) ističu istraživanje Frencha i sur. (2003) koji su primjenom protokola koji se sastojao od 3 serije MVIK-a u trajanju od 3 sekunde utvrdili povećanje visine pri dubinskom skoku (eng. *drop jump*; DJ) i povećanje vršnog okretnog momenta sile (eng. *peak torque*; P_t) pri ekstenziji koljena u istim brzinama (+5.0% i +6.1%; $p < 0,05$).

Također, pozitivne rezultate utvrdili su i Güllich i Schmidbleicher (1996) koji su korištenjem 3 - 5 MVIK u položaju potiska s ravne klupe zabilježili poboljšanje rezultata u eksplozivnoj sili gornjeg dijela tijela i povećanje visine CMJ-a za 1,4 cm (statistička značajnost nije definirana) te Berning i suradnici (2010) (prema Suchomel i sur., 2015) koji su kod treniranih subjekata zabilježili poboljšanje rezultata CMJ-a nakon PP u obliku

funkcionalnog izometričkog čučnja s opterećenjem od 150% 1RM-a i odmora od 4 i 5 minuta.

S druge strane, određena istraživanja nisu pokazala promjenu u rezultatima glavnih aktivnosti (Gossen i Sale, 2000; Robbins i Docherty, 2005; Lim i Kong 2013; prema Borba i sur., 2017) ili su postignuti efekti bili negativni (Behm i sur., 2004; prema Tilin i Bishop, 2009) dok Seitz i Haff (2015) u svojoj meta-analizi zaključuju kako je MVIK rezultirala negativnim efektima na rezultate glavnih aktivnosti te PAP nije zabilježena ($ES = -0.09$).

Iako se najčešće koristi kao vrsta glavne aktivnosti s ciljem provjere utjecaja PP na motoričku izvedbu subjekta, **sprint** (ili maksimalno trčanje na određeni broj metara) je u manjem broju istraživanja korišten kao PP. Borba i suradnici (2016) autori su rada koji je proučavao utjecaje PAP-a u području atletike. Dva istraživanja koja proučavaju sprint u kontekstu PP proveli su Karampatsosa i suradnici (2013) te Terzis i suradnici (2013). Prvo istraživanje proučavalo je utjecaj **maksimalnog trčanja na 30 m** i jedne minute odmora na rezultate bacanja 6 muških bacača kladiva (26 ± 3 godine) dok je drugo istraživanje kao PP koristilo **maksimalno trčanje na 20 m** i jednak interval odmora na 10 sportaša (24 ± 4 godine) bacačkih disciplina. Oba istraživanja zabilježila su bolje rezultate u izvedbi glavne aktivnosti nakon PP-a.

Kao PP, **nabačaj na snagu** (eng. *power clean*; PC), koji biomehanički nalikuje sprintu, i njegov utjecaj na PAP predmet su proučavanja pojedinih istraživanja. Greenough (2017) navodi kako PC jednako kao i sprint, uključuje ekstenziju kukova i koljena, plantarnu fleksiju i sinkronizirani rad mišića ekstenzora što nam govori kako PC potencijalno potencira pokrete koji se javljaju tijekom sprinta (Durck, 1986; Seitz, Trajano i Haff, 2014). Također, PC omogućava stvaranje velike sile pri velikoj brzini u odnosu na čučanj, koji također omogućava stvaranje velike sile, ali pri puno manjoj brzini. Ovakav odnos sile i brzine teoretski bi mogao imati bolji transfer na eksplozivne aktivnosti, konkretnije sprint (Naruhito i sur., 2008; Smimiotou i sur., 2008; Seitz, Trajano i Haff, 2014).

Seitz i suradnici (2014) uspoređivali su PAP utjecaj PC-a i čučnja na sprint. 13 elitnih ragbijaša (s iskustvom u treningu jakosti i snage najmanje godinu dana i sposobni izvesti čučanj s opterećenjem od $1,5 \times TM$) izvodilo je 2 različita PP-a uz kontrolnu grupu ispitanika. PP sastojao se od 1 serije i 3 ponavljanja stražnjeg čučnja ili PC-a s opterećenjem od 90% 1RM-a. Nakon 7 minuta odmora ispitanici su izvodili sprint na 20

m. Rezultati su pokazali poboljšanje vremena sprinta (čućanj: ES = -0,66; PC = -0,92), brzine (čućanj: ES = 0,63; PC: ES = 0,84) i prosječnog ubrzanja na 20 m (čućanj: ES = 0,70; PC: ES = 1,00), uz veće poboljšanje ukupnog vremena sprinta nakon PC-a. Također, PC je rezultirao značajno većim poboljšanjem vremena sprinta na 20 m (ES = 0,83; p = 0,042; 3,05%) u odnosu na stražnji čučanj (2,16%) te značajno poboljšanje u brzini (ES = 1,17; p = 0,047; 3,22%) u odnosu na stražnji čučanj (2,25%). Veće poboljšanje rezultata nakon PC-a uočeno je i u prosječnom vremenu ubrzanja (ES = 0,87; p = 0,05; 6,61%) u odnosu na čučanj (4,59%).

Ovi rezultati pokazuju kako različite vrste PP-a stvaraju različite PAP efekte te bi u slučaju sprinta PC potencijalo mogao biti bolji PP u odnosu na čučanj.

Greenough (2017) kao PP također navodi **vučenje saonica** s opterećenjem (poznatije kao sprintovi s opterećenjem). Ističe istraživanje Whelena i suradnika (2014) koji su mjerili vrijeme 10 maksimalnih sprintova na 10 metara u 12 tjelesno aktivnih muškaraca. 7 dana kasnije subjekti su izveli 3 ponavljanja 10 sprintova s opterećenjem (odmor između ponavljanja bio je 90 s) koristeći opterećenje saonica od 25 - 30% TM. Zatim, 1, 2, 4, 8 i 10 minuta nakon posljednjeg sprinta s opterećenjem, subjekti su izvodili sprint od 10 m. Statističkom analizom autori su zaključili kako nije došlo do značajnih PAP efekata te su mogući razlog definirali kao nedovoljnu razinu treniranosti subjekata.

Sljedeće istraživanje koje je proučavalo efekte istog PP-a je istraživanje Winwooda i sur. (2016) provedeno na 22 ragbijaša s iskustvom ($3,6 \pm 2,0$ g) u treningu s otporom. Subjekti su izveli 2 inicijalna sprinta na 15m da bi nakon toga izvodili vučenje saonica s opterećenjem od 75% (15 m) i 150% (7,5 m) TM. 4, 8 i 12 minuta nakon toga ponovno su izvodili sprint na 15 m. Rezultati su pokazali značajno ($p = 0,036$) poboljšanje vremena ($2,53 \pm 0,12$ s) sprinta na 15 m 12 minuta nakon PP s opterećenjem od 75% TM u odnosu na inicijalno testiranje ($2,55 \pm 0,12$ s). Također, uočena je značajna razlika u postotku promjene vremena sprinta između 2 PP-a 4 (ES = 0,44 - 0,52), 8 (ES = 0,59) i 12 (ES = 0,64) minuta nakon PP-a. Autori su zaključili kako opterećenje saonica od 75% TM ili opterećenje koje smanjuje brzinu sprinta za 34 - 37% na 5, 10 i 15 m može biti kvalitetan stimulans za glavnu izvedbu sprinta.

Suchomel i suradnici (2015) navode istraživanje koje je proučavalo utjecaj **mrtvog dizanja** (*eng. deadlift*) kao PP na PAP i rezultate glavne aktivnosti. Autori tog istraživanja su Till i Cooke (2009) koji su 12 treniranih subjekata opteretili s 1 serijom od 5

ponavljanja mrtvog dizanja s opterećenjem od 5RM-a. Nakon 7, 8 i 9 min odmora nije uočeno poboljšanje rezultata u visini CMJ-a ili prosječnoj visini CMJ-a.

Ulrich i Parstofer (2017) željeli su utvrditi **razlike između pliometrijskih, koncentričnih i ekscentričnih PP** te njihov utjecaj na PAP gornjeg dijela tijela. 16 sportaša s minimalno jednogodišnjim iskustvom u treningu s otporom opteretili su kroz 3 različita protokola: pliometrija (PLY) (10 pliometrijskih sklekova), klasično ekscentrično-koncentrično izvođenje potiska s ravne klupe (CON) (1 x 3 80% 1RM-a) i ekscentrično izvođenje potiska s ravne klupe (ECC) (1 x 3 120% 1RM-a). 1, 4, 8, 12 i 16 minuta nakon PP subjekti su izvodili balistički potisak na ravnoj klupi (30% 1RM-a potiska s ravne klupe) čije su rezultate usporedili s rezultatima inicijalne izvedbe iste aktivnosti. Rezultati su pokazali kako je jedino CON grupa ispitanika pokazala poboljšanje izvedbe glavne aktivnosti i to nakon 8 minuta odmora (ES = 0.21, p = 0.046). Ipak, uspoređujući rezultate svakog ispitanika zasebno s njihovim vlastitim inicijalnim rezultatima, autori navode kako su PLY (ES = 0.31, p<0.001) i CON (ES = 0.38, p<0.001) podražaji pokazali značajno poboljšanje rezultata, dok isto poboljšanje nije uočeno kod ECC (ES = 0.11, p = 0.106) grupe ispitanika.

Zaključno, s obzirom na njihovu jednostavnu praktičnu primjenu, pliometrijski sklekovi mogu predstavljati kvalitetan PP s ciljem stvaranja PAP efekta.

Andrews i suradnici (2016) proveli su istraživanje koje je proučavalo utjecaj **unilateralnog potencijacijskog podražaja** na PAP. Autori su na 14 subjekata (6 žena i 8 muškaraca) proveli trodnevni protokol koji se sastojao od 3 dijela: 1) unilateralni **bugarski čučanj** dominantne noge s testiranjem noge koja je izvodila PP, 2) unilateralni bugarski čučanj s testiranjem noge koja nije izvodila pokret te 3) kontrolno testiranje ne-dominantne noge. Testiranje se sastojalo od CMJ i DJ skokova. Subjekti su izvodili 5 bugarskih čučnjeva s opterećenjem od 50% 1RM-a nakon čega je slijedio odmor od 3 minute; zatim 2 bugarska čučnja s opterećenjem od 70% 1RM-a, nakon kojih je također slijedio odmor od 3 minute, da bi na kraju protokola subjekti izvodili isti PP s opterećenjem od 90% 1RM-a. Rezultati istraživanja govore kako je noga koja je izvodila pokret pokazala povećanje visine CMJ-a od 3,5% (p = 0,008; d = 0,28), 4,0% (p = 0,011; d = 0,33) i 3,2% (p = 0,013; d = 0,26) 1, 5 i 10 minuta nakon PP-a. Noga koja nije izvodila pokret zabilježila je pogoršanje CMJ rezultata za 2,0% (p = 0,034; d = 0,18), 1,2% (p = 0,2; d = 0,12) i 2,1% (p = 0,05; d = 0,17) 1, 5 i 10 minuta nakon PP-a, dok za DJ ni u jednom mjerenju nije utvrđeno poboljšanje rezultata. Autori navode kako je motorička i koordinacijska

kompleksnost izvođenja unilatelnih vježbi jedan od mogućih limitirajućih faktora u dostizanju odgovarajuće potencijacije organizma i poboljšanju rezultata DJ-a.

Intenzitet potencijacijskog podražaja

Jedan od faktora koji definira opterećenje PP-a je intenzitet. Tako su Wilson i suradnici (2013) opterećenje definirali kao malo ($\leq 60\%$ 1RM-a), umjereno (60 - 84% 1RM-a) i veliko ($\geq 85\%$ 1RM-a). Pregledom literature utvrdili su značajnu razliku između umjerenog (ES = 1,06) i velikog (ES = 0,31) opterećenja za sve grupe ispitanika. Autori zaključuju kako bi subjekti s manjim iskustvom u treningu s opterećenjem trebali koristiti umjerena opterećenja s jednom serijom izvođenja, dok bi s porastom iskustva broj serija trebao rasti. Ovo je također jedan od rijetkih radova koji daje prednost umjerenom u odnosu na veliko/submaksimalno opterećenje. Iste zaključke donijeli su Sotiropoulos i suradnici (2010) koji su 26 muškaraca (čučanj 1RM = 185 ± 30 kg) podijelili u dvije grupe i kroz zagrijavanje opteretili s dvije vrste opterećenja: malo opterećenje (polučučanj s 25 - 35% od 1RM-a) i umjereno opterećenje (45 - 65% od 1RM-a). Autori su utvrdili poboljšanje izvedbe CMJ-a (za 3.5%) i mehaničke snage (za 6.3%) u obje grupe ispitanika ($p \leq 0.05$). Također, utvrdili su povećanu EMG aktivnost mišića kvadricepsa i vastus lateralis za 5.9% i 8.5%. Autori pretpostavljaju kako je upravo zbog povećane EMG aktivnosti mišića došlo do poboljšanja rezultata izvedbe glavne aktivnosti u obje grupe ispitanika.

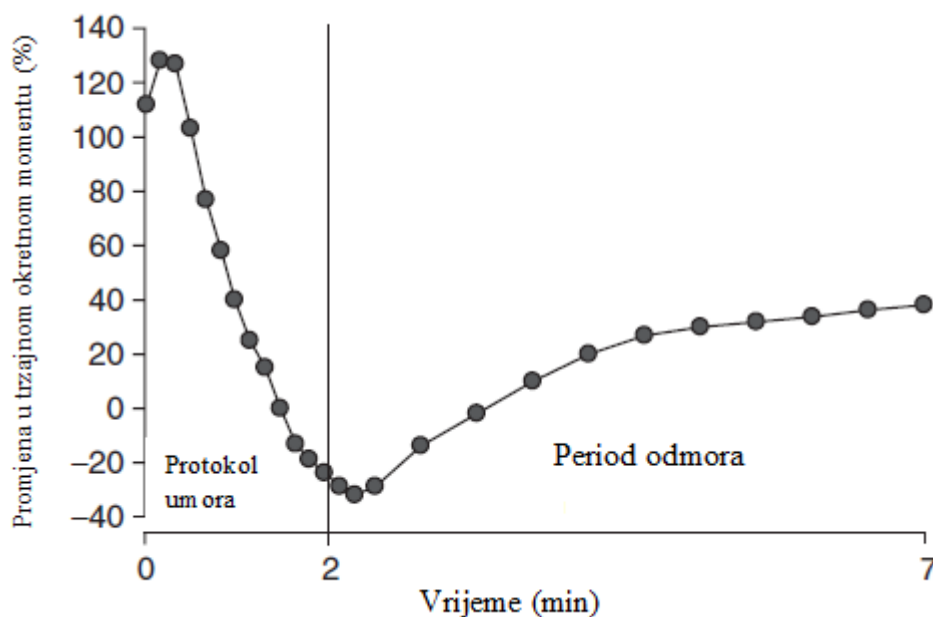
S druge strane, Tilin i Bishop (2009) ističu istraživanje Salea (2002) te navode kako su submaksimalne i maksimalne kontrakcije (dinamičke ili izometričke) s opterećenjem $>80\%$ optimalan PP za stvaranje PAP efekta.

Nadalje, Greenough (2017) predlaže opterećenje od $>90\%$ 1RM-a kada kao PP koristimo čučanj s ciljem utjecaja na glavnu izvedbu sprinta.

Fukutani i suradnici (2014) proučavali su utjecaj različitog intenziteta čučnja kao PP na glavnu izvedbu skoka. 8 dizača utega koristilo je dva protokola kao PP: 1) veliko opterećenje (45% 1RM-a x 5 ponavljanja, 60% 1RM-a x 5 ponavljanja, 75% 1RM-a x 3 ponavljanja i 90% 1RM-a x 3 ponavljanja) i 2) umjereno opterećenje (45% 1RM-a x 5 ponavljanja, 60% 1RM-a x 5 ponavljanja i 75% 1RM-a x 3 ponavljanja). Subjekti su prije i nakon protokola izvodili 3 CMJ-a. Autori su uočili značajno veći moment sile i visinu skokova kod grupe koja je koristila PP s većim opterećenjem.

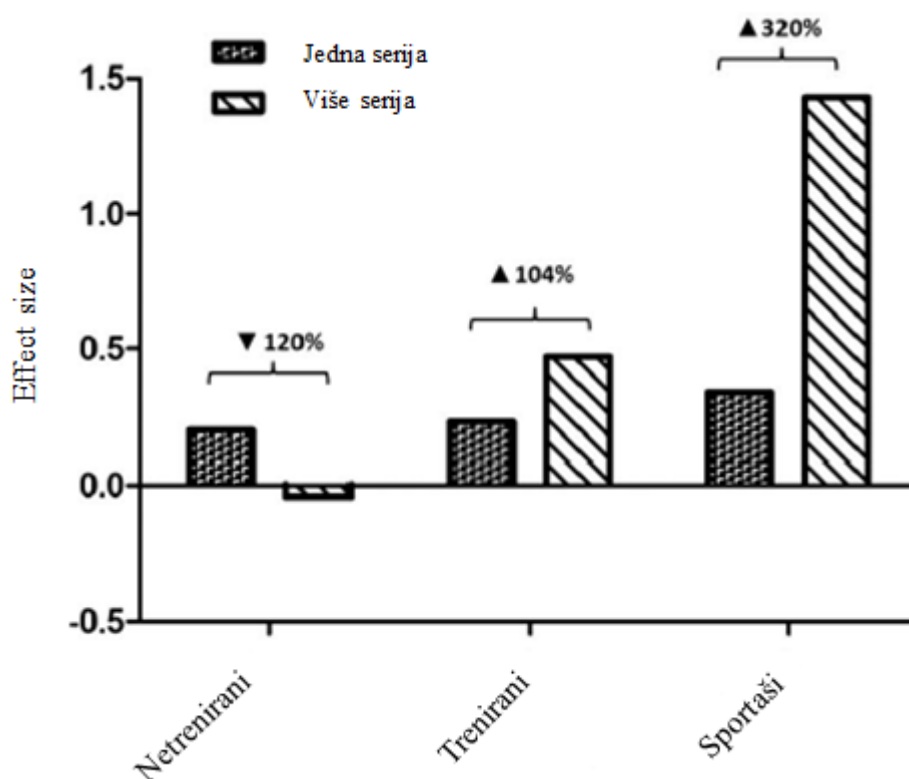
Volumen potencijacijskog podražaja

Prema Tilinu i Bishopu (2009), Hamada i sur. (2003) autori su istraživanja koje se ističe u području utjecaja volumena PP-a na PAP. Oni su, koristeći protokol umora, subjekte opteretili sa 16 MVIK u trajanju od 5 sekundi. Interval odmora između kontrakcija trajao je 3 sekunde. Prije MVIK-e autori su inicirali trzajni odgovor femoralnog živca da bi isti postupak bio ponovljen između svake MVIK, 1 minutu nakon MVIK te zatim svaku drugu minutu nakon MVIK i tako sljedećih 13 minuta. Mjerili su P_t trzaja i utvrdili kako je maksimalnu vrijednost od 127% u odnosu na početnu vrijednost ($p < 0.05$) dostigao nakon prve 3 MVIK. Svaku sljedeću kontrakciju pratilo je smanjenje vrijednosti P_t trzaja, dok je nakon 16 kontrakcija vrijednost P_t trzaja iznosila 32% ispod početne razine ($p < 0.05$). Ovo nam govori kako je povećanje volumena opterećenja pratilo istovremeno povećanje umora subjekta. Nakon završetka protokola P_t trzaja postupno se povećavao da bi nakon 30 - 120 sekundi odmora dostigao razinu veću od početne (+32%; $p < 0.05$). S obzirom na dobivene rezultate, možemo zaključiti kako je umor prouzročen protokolom nestao brže od PAP tijekom perioda odmora (Prikaz 10).



Prikaz 10. Vremenski prikaz trzajnog okretnog momenta ekstenzora koljena tijekom protokola umora i 5 minutnog perioda odmora. Protokol umora sastojao se od 16 izometričkim MVK u trajanju od 5 sekundi s 3 sekunde odmora između svake kontrakcije. Trzajna kontrakcija zabilježena je prije protokola, između svake MVK, 5 sekundi nakon protokola te zatim svakih 30 sekundi tijekom perioda odmora. Trzajni okretni moment izražen je u postocima vrijednosti zabilježenima prije protokola (Tilin i Bishop, 2009).

Wilson i suradnici (2013) volumen PP-a definirali su kao broj serija izvođenja određene vježbe te su prema tome odredili dvije osnovne kategorije volumena - jedna serija i više serija izvođenja PP-a. Utvrdili su statistički značajnu razliku između jedne serije $ES = 0,24$ (95% CI (*eng. confidence interval*): 0,37, 0,44; $n: 95$) ($p < 0,05$) i više serija $ES = 0,66$ (95% CI: 0,36, 0,95; $n: 46$) ($p < 0,05$) PP-a. Ipak, autori tvrde kako su ovi rezultati ovisni o razini treniranosti subjekata te naglašavaju kako slabije trenirani subjekti na više serija PP-a reagiraju većom količinom umora u odnosu na bolje trenirane subjekte budući da s povećanjem razine treniranosti subjekta također raste njihova sposobnost odgađanja pojave umora (Prikaz 11).



Prikaz 11. Efekti protokola s jednom serijom vs. više serija na snagu netreniranih osoba, treniranih osoba i osoba sportaša (Wilson i sur., 2013). (eng. *Effect size*; ES – veličina učinka).

Interval odmora

Interval odmora je vrlo bitan faktor u svakom PAP protokolu s obzirom da njegova duljina utječe na odnos između razine potencijacije organizma i umora nakon PP-a. Budući da teoretski postoje 2 prilike unutar kojih je organizam u potencijacijskom stanju nakon PP-a (Tilin i Bishop, 2009), optimalan odmor omogućava nam pravovremeno djelovanje i maksimalno iskorištavanje nastale potencijacije. Seitz i Haff (2015) zaključili su kako su dulji intervali odmora (5 - 7 min, ES = 0,49; ≥ 8 min, ES = 0,44) dali bolje PAP efekte u odnosu na intervale kraćeg trajanja (0,3 - 4 min, ES = 0,17). Autori također navode kako je interval odmora nakon pliometrijskog PP-a u trajanju od 0,3 - 4 minute dao najbolje PAP rezultate. Slične rezultate predstavili su Wilson i suradnici (2013) koji su intervale odmora podijelili u 3 kategorije: 3 - 7 min, 7 - 10 min i >10 min. Utvrdili su statistički značajnu razliku između intervala od 3 - 7 min ES = 0,54 (95% CI: 0,31, 0,77; n: 75) i 10 minuta ES = 0,02 (95% CI: 20,33, 0,38; n: 31) ($p < 0,05$) te 7 - 10 min ES = 0,70 (95% CI: 0,10, 1,30; n: 11) i 10 minuta ES = 0,02 (95% CI: 20,33, 0,38; n: 31) ($p < 0,05$). Autori su predložili

kako je optimalno vrijeme trajanja intervala odmora 7 - 10 min, ali je u obzir potrebno uzeti razinu treniranosti subjekta, budući da bolje trenirane osobe zahtijevaju kraći interval odmora i obrnuto.

Gouvêa i suradnici (2012) navode nekoliko istraživanja (Jensen i Ebben 2003; Comyns i sur., 2007; Kilduff i sur., 2008) koja pokazuju kako intervali odmora kraći od 3 minute $ES = -0,25$ (95% CI: -0,51 do 0,01) djeluju negativno na PAP. Također, pregledom literature zaključuju kako je optimalno vrijeme trajanja intervala odmora između 8 i 12 minuta $ES = 0,24$ (95% CI: -0,02 do 0,49) dok intervali odmora od 4 - 7 minuta $ES = 0,15$ (95% CI: -0,08 do 0,38) i iznad 16 minuta $ES = 0,01$ (95% CI: -0,21 do 0,24) nisu pokazali dobre rezultate.

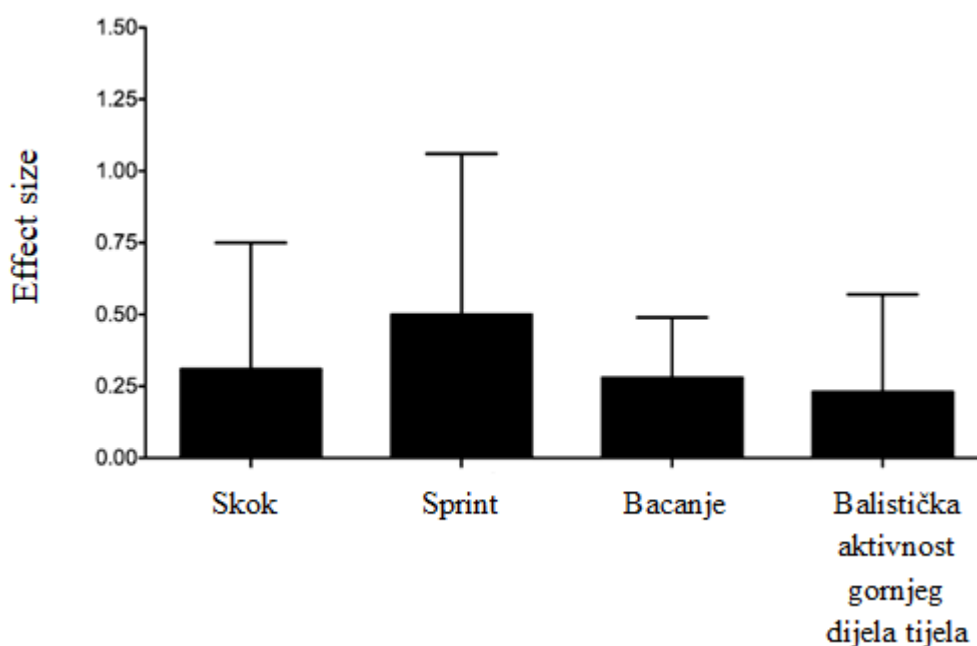
Pretpostavlja se da je uzrok toga istovremeno djelovanje potencijacije i umora te kasniji nestanak potencijacije zbog predugog trajanja intervala odmora.

Gołaś i suradnici (2016) u svom istraživanju koristili su individualizirani interval odmora između PP-a i glavne eksplozivne aktivnosti. 3 skupine ispitanika - košarkaši, atletičari bacačkih disciplina i sanjkaši - proveli su 3 različita potencijacijska protokola. Košarkaši su izvodili 4 x 4 ponavljanja *keiser* čučnja s opterećenjem od 80% 1RM-a s intervalnom odmorom između serija od 90 sekundi, atletičari bacačkih disciplina izvodili su 2 x 3 ponavljanja potiska s ravne klupe s opterećenjem od 110 i 130% 1RM-a pri čemu je interval odmora između serija trajao 15 minuta s ciljem potpunog oporavka dok su sanjkaši izvodili 2 lat povlačenja s 50% 1RM-a (predaktivacijski protokol) te zatim 3 x 4 ponavljanja veslanja s bučicama s 80% 1RM-a i 90 sekundi odmora između serija. Sve grupe ispitanika su između PP i glavne aktivnosti koristile prethodno utvrđeni individualizirani interval odmora. Rezultati su pokazali kako je optimalno trajanje intervala odmora iznosilo 6 minuta.

Vrsta glavne aktivnosti

PP i PAP efekt gotovo uvijek se koriste s ciljem poboljšanja sposobnosti u eksplozivnoj (skok, sprint, bacanje) glavnoj aktivnosti, odnosno aktivnosti u kojoj se PAP manifestira. Manji broj istraživanja proučavao je PAP efekt i njegov utjecaj na MVIK i izdržljivost sportaša.

Seitz i Haff (2015) proučavali su djelovanje PAP efekta na skok, sprint, bacanje i balističku aktivnost gornjeg dijela tijela. Zaključili su kako PP pozitivno utječe na sve vrste nabrojanih glavnih aktivnosti (Prikaz 12), međutim navedene zaključke potrebno je uzeti s dozom sumnje budući da je PAP efekt vrlo ovisan o karakteristikama proučavanih subjekata.



Prikaz 12. Veličina učinka za različite aktivnosti. Vrijednosti prikazuju srednju vrijednost i standardnu devijaciju srednje vrijednosti (Seitz i Haff, 2015).

Borba i suradnici (2016) utvrdili su poboljšanje u izvedbi glavnih aktivnosti u atletici (bacanja, skokovi, sprint) nakon PP-a, a autori nekih od istraživanja koja navode su Terzis i suradnici (2009), Lindr i suradnici (2010), Karampatsos i suradnici (2013) te Evetovich i suradnici (2015). U pregledu istraživanja koja su proučavala utjecaj različitih PP-a na izvedbu sprinta, Greenough (2017) navodi kako korištenje odgovarajućih PP-a pozitivno utječe na sprint te poboljšava vrijeme sprinta na 15 - 100 m za 1,2 - 3,5%.

Boullosa i suradnici (2018) autori su jednog od radova koji se tiču utjecaja PAP na izdržljivost sportaša. Iako je broj znanstvenih radova manji nego u području eksplozivnih glavnih aktivnosti te se PP metode i metode utvrđivanja PAP-a od rada do rada razlikuju, autori navode kako dokazi pokazuju da je submaksimalno opterećenje duljeg trajanja optimalan način opterećivanja sportaša izdržljivosti. Zbog navedenih razlika između

istraživanja, autori zaključuju kako bi spomenuto opterećenje moglo pomoći sportašima u izvedbi kroz poboljšanje mišićne efikasnosti i tempa trčanja, međutim spomenutu hipotezu potrebno je kvalitetno testirati kako bi se utvrdila njezina valjanost.

Spol

Dosadašnja istraživanja dala su različite rezultate što se utjecaja spola na PAP tiče. Wilson i suradnici (2013) pregled literature usmjerili su, između ostalog, na utvrđivanje razlike između spolova i odgovora na PP. Navode kako ne postoji značajna razlika između muškaraca $ES = 0,42$ (95% CI: 0,23, 0,61; n: 123) i žena $ES = 0,21$ (95% CI: -0,31, 0,71; n: 16) ili obje grupe zajedno $ES = 0,21$ (95% CI: -0,38, 0,79; n: 12) ($p > 0,05$).

S druge strane, Sarramian i suradnici (2015) istraživali su utjecaj PAP na 18 plivača reprezentativne razine i izvedbu sprinta od 50 m slobodnom tehnikom. Subjekte su opteretili s 4 različita PP-a: tradicionalno plivačko zagrijavanje prije natjecanja (RSWU), PAP gornjeg dijela tijela (UBPAP), PAP donjeg dijela tijela (LBPAP) i kombinirano PAP zagrijavanje (CPAP). Nakon statističke analize rezultata i podjele rezultata s obzirom na spol autori zaključuju kako su muškarci bolje reagirali na UBPAP podražaj u odnosu na RSWU ($27,51 \pm 1,06$ vs. $28,01 \pm 1,17$ s, $p = 0,047$) and CPAP ($27,49 \pm 1,12$ vs. $28,01 \pm 1,17$ s, $p = 0,02$).

Unatoč različitim zaključcima dosadašnjih istraživanja, ukoliko subjekti zadovolje kriterije prethodno navedenih faktora, pri čemu prvenstveno mislimo na odgovarajuću razinu jakosti, za očekivati je kako se potencijacijski odgovor na PP između žena i muškaraca neće razlikovati.

5. ZAKLJUČAK

Dosadašnja istraživanja pokazuju kako pojedinci s većom razinom jakosti bolje reagiraju na PP od slabijih pojedinaca, a promatrajući ih u kontekstu čučnja kao PP-a, jake pojedince možemo definirati kao osobe koje su sposobne izvesti čučanj s opterećenjem od 1,75 x TM za muškarce i 1,5 x TM za žene.

Što se volumena i intenziteta opterećenja tiče, oni ovise o razini jakosti subjekta. Sukladno tome, jači subjekti potencijacijsku vježbu trebali bi izvoditi sa submaksimalnim/maksimalnim opterećenjem (>90% od 1RM-a), dok se zbog brže pojave umora i njegovog duljeg trajanja preporučuje da slabije osobe istu vježbu izvode s manjim opterećenjem (60-80% od 1RM-a).

Također, razina jakosti određuje i volumen podražaja koji je moguće podnijeti pa tako jači subjekti mogu izvoditi više serija (≥ 2) PP-a s većim opterećenjem, dok slabiji subjekti, koristeći manje opterećenje mogu izvoditi isti ili manji broj serija PP-a pri čemu obje grupe subjekata mogu koristiti intervale odmora između PP i glavne aktivnosti u trajanju od 5 do maksimalno 12 minuta.

Vodeći se navedenim principima, osim čučnja, kao PP možemo koristiti skokove (pliometriju). Jedna od prednosti korištenja pliometrije jest jednostavnost provedbe budući da ne zahtijeva dodatno vanjsko opterećenje. Osim toga, s povećanjem iskustva u treningu pliometrije, subjekti mogu koristiti vanjsko opterećenje od 10% tjelesne mase.

Nadalje, neke od vrsta PP-a koji se mogu koristiti u praksi su vučenje saonica s opterećenjem, nabačaj na snagu, maksimalne voljne izometričke kontrakcije i potisak s ravne klupe. Ipak, potrebna su daljnja istraživanja kako bi se utvrdila optimalna vrsta PP-a i što bolje i kvalitetnije definirao pojedini faktor koji utječe na PAP efekt te kako bi se dobile jasnije preporuke za njegovu praktičnu primjenu.

6. LITERATURA

1. 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. *J Sports Sci Med*; 15 (4), 625-632.
2. Behm, D. G., Button, D. C., Barbour, G., Butt, J. C., Young, W. B. (2004). Conflicting effects of fatigue and potentiation on voluntary force. *J Strength Cond Res*; 18 (2), 365-72. doi: 10.1519/R-12982.1
3. Berning, J. M., Adams, K. J., DeBeliso, M., Sevene-Adams, P. G., Harris, C., Stamford, B. A. (2010). Effect of functional isometric squats on vertical jump in trained and untrained men. *J Strength Cond Res*; 24 (9), 2285-9. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181e7ff9a.
4. Bishop, D., Tillin, N. A. (2009). Factors Modulating Post-Activation Potentiation and its Effect on Performance of Subsequent Explosive Activities. *Sports Med*; 39 (2), 147-166. doi: 10.2165/00007256-200939020-00004.
5. Borba, D. de A., Ferreira-Júnior, J. B., dos Santos, L. A., do Carmo, M. C. Coelho, L. G. M. (2017). Effect of post-activation potentiation in Athletics: a systematic review. *Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano*; 19 (1), 128-138. doi: 10.5007/1980-0037.2017v19n1p128
6. Boullosa, D., Del Rosso, S., Behm, D. G., Foster., C. (2018). Post-activation potentiation (PAP) in endurance sports: A review. *Eur J Sport Sci*; 1-16. 10.1080/17461391.2018.1438519
7. Chasiotis, D., Hultman, E., Sahlin, K. (1983). Acidotic depression of cyclic AMP accumulation and phosphorylase b to a transformation in skeletal muscle of man. *J Physiol*; 335, 197-204.
8. 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. 17 (4), 671-7.
9. Comyns, T. M., Harrison, A. J., Hennessy, L., Jensen, R. L. (2007). Identifying the optimal resistive load for complex training in male rugby players. *Sports Biomech*; 6 (1), 59-70. doi: 10.1080/14763140601058540
10. de Oliveira, J. J., Crisp, A. H., Barbosa, C. G. R., de Silva, A. de S., Baganha, R., J., Verlengia, R. (2017). Effect of Postactivation Potentiation on Short Sprint

- Performance: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Asian Journal of Sports Medicine*; 8 (4); e14566. doi: 10.5812/asjrm.14566
11. Durck, C. (1986) SPEED DEVELOPMENT: Squat and power clean relationships to sprint training. *Strength & Conditioning Journal*; 8 (6), 40-41.
 12. Esformes, J. I., Cameron, N., Bampouras, T. M. (2010). Postactivation potentiation following different modes of exercise. *J Strength Cond Res*; 24 (7), 1911-6. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181dc47f8.
 13. 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. *J Strength Cond Res*; 29 (2), 336-42. doi: 10.1519/JSC.0000000000000728.
 14. Fabiato, A., Fabiato, F. (1978). Effects of pH on the myofilaments and the sarcoplasmic reticulum of skinned cells from cardiac and skeletal muscles. *J Physiol*; 276, 233-55.
 15. French, D. N., Kraemer, W. J., Cooke, C. B. (2003). Changes in dynamic exercise performance following a sequence of preconditioning isometric muscle actions. *J Strength Cond Res*; 17 (4), 678-85.
 16. Fukutani, A., Takeri, S., Hirata, S., Miyamoto, N., Kanehisa, H., Kawakami, Y. (2014). INFLUENCE OF THE INTENSITY OF SQUAT EXERCISES ON THE SUBSEQUENT JUMP PERFORMANCE. *J Strength Cond Res*; 28 (8), 2236 - 2243. doi: 10.1519/JSC.0000000000000409.
 17. Gołaś, A., Maszczyk, A., Zajac, A., Mikołajec, K., Stastny, P. (2016). Optimizing Post Activation Potentiation for Explosive Activities in Competitive Sports. *J Hum Kinet*; 52, 95 - 106 doi: 10.1515/hukin-2015-0197
 18. Gossen, E. R., Sale, D. G. (2000). Effect of postactivation potentiation on dynamic knee extension performance. *Eur J Appl Physiol*; 83 (6), 524-30. doi: 10.1007/s004210000304
 19. Gourgoulis, V., Aggeloussis, N., Kasimatis, P., Mavromatis, G., Garas, A. (2003) Effect of a submaximal half-squats warm-up program on vertical jumping ability. *J Strength Cond Res*; 17 (2), 342-4.
 20. Gouvêa, A., Fernandes, I. A., César, E., Gomes, P. S. C. (2012). The effects of rest intervals on jumping performance: A meta-analysis on postactivation potentiation studies. *J Sports Sci*; 31 (5), 459-467. doi: 10.1080/02640414.2012.738924

21. Grange, R. W., Vandenboom, R., Houston, M. E. (1993). Physiological significance of myosin phosphorylation in skeletal muscle. *Can J Appl Physiol*; 18 (3), 229-42.
22. Greenough, D. C. (2017). Review of the Literature POST-ACTIVATION POTENTIATION INFLUENCE ON SPRINT ACCELERATION PERFORMANCE. *J. Aust. Strength Cond.*; 25 (7), 67-72.
23. 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 Physiol Scand*; 178 (2), 165-73.
24. 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. *J Appl Physiol* (1985); 88 (6), 2131-7. doi: 10.1152/jappl.2000.88.6.2131
25. Hirst, G. D. S., Redman, S.J., Wong K. (1981). Post-tetanic potentiation and facilitation of synaptic potentials evoked in cat spinal motoneurons. *J Physiol*; 321, 97-109.
26. Hodgson, M., Docherty, D., Robbis, D. (2005.) Post-Activation Potentiation Underlying Physiology and Implications for Motor Performance. *Sports Med.*; 35 (7), 585-595.
27. Jensen, R. L., Ebben, W. P. (2003) Kinetic analysis of complex training rest interval effect on vertical jump performance. *J Strength Cond Res*; 17 (2), 345-9.
28. Karampatsos, B. G., Terzis, G., Polychroniou, C., Georgiadis, G. (2013). Acute effects of jumping and sprinting on hammer throwing performance. *Physical Education and Sport*; 13 (1), 3-5. doi: 10.7752/jpes.2013.01001
29. Karp, J. R. (2001). Muscle Fiber Types and Training. 23 (5), 21-26.
30. 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. *J Strength Cond Res*; 21 (4), 1134-8. doi: 10.1519/R-20996.1
31. 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. *J Sports Sci*; 26 (8), 759-802. doi: 10.1080/02640410701784517.
32. Lim, J. J. H., Kong, P. W. (2013). The application of postactivation potentiation on sprint performance. *J Australian Strength Cond*; 21 (1), 61-66.

33. Linder, E. E., Prins, J. H., Murata, N. M., Derenne, C., Morgan, C. F., Solomon, J. R. (2010). Effects of preload 4 repetition maximum on 100-m sprint times in collegiate women. *J Strength Cond Res*; 24 (5), 1184-90. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181d75806.
34. Luscher, H. R., Ruenzel, P., Henneman, E. (1983) Composite EPSPs in motoneurons of different sizes before and during PTP: implications for transmission failure and its relief in Ia projections. *J Neurophysiol*; 49 (1), 269-89.
35. Mahlfeld, K., Franke, J., Awiszus, F. (2004). Postcontraction changes of muscle architecture in human quadriceps muscle. *Muscle Nerve*; 29 (4), 597-600. doi: 10.1002/mus.20021
36. Naruhiro, H., Newton, R.U., Andrews, W.A., Kawamori, N., McGuigan, M.R., Nosaka, K. (2008). Does performance of hang power clean differentiate performance of jumping, sprinting, and changing of direction. *J Strength Cond Res*; 22 (2), 412-418. doi: 10.1519/JSC.0b013e318166052b
37. Robbins, D. W., Docherty, D. (2005). Effect of loading on enhancement of power performance over three consecutive trials. *J Strength Cond Res*; 19 (4), 898-902. doi: 10.1519/R-15634.1
38. Sale, D. G. (2002). Postactivation Potentiation: Role in Human Performance. *Exercise and Sport Sciences Reviews*; 30 (3), 138-143.
39. Sarramian, V. G., Turner, A. N., Greenhalgh, A. K. (2015). Effect of postactivation potentiation on fifty-meter freestyle in national swimmers. *J Strength Cond Res*; 29 (4), 1003 - 1009. doi: 10.1519/JSC.0000000000000708.
40. Schneiker, K., Billaut, F., Bishop, D. (2006) The effects of preloading using heavy resistance exercise on acute power output during lower-body complex training (abstract). *Book of Abstracts of the 11th Annual Congress, European College of Sports Science*, 2006 Jul 5-8, Lausanne, 89.
41. Seitz, L. B., Haff, G. G. (2015). Factors Modulating Post-Activation Potentiation of Jump, Sprint, Throw, and Upper-Body Ballistic Performances: A Systematic Review with Meta-Analysis. *Sports Med*; 46 (2), 231-40. doi: 10.1007/s40279-015-0415-7
42. Seitz, L. B., Trajano, G. S., Haff, G. G. (2014). The back squat and the power clean: elicitation of different degrees of potentiation. *Int J Sports Physiol Perform*; 9 (4), 643-9. doi: 10.1123/ijsp.2013-0358

43. Seitz, L. B., Trajano, G. S., Haff, G. G. (2014). The back squat and the power clean: elicitation of different degrees of potentiation. *Int J Sports Physiol Perform*; 9 (4), 643-9. doi: 10.1123/ijsp.2013-0358.
44. 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* 3, 1-8. doi: 10.1155/2018/3719039
45. Smirnitou, A., Katsikas, C., Paradisis, G., Argeitaki, P., Zacharogiannis, E., Tziortzis, S. (2008). Strength-power parameters as predictors of sprinting performance. *J Sports Med Phys Fitness*; 48 (4), 447-54.
46. Sotoripoulos, K., Smilios, I., Christou, M., Barzouka, K., Spasias, A., Douda, H., Tokmakidis, S. P. (2010). Effects of warm-up on vertical jump performance and muscle electrical activity using half-squats at low and moderate intensity. *J Sports Sci Med*; 9 (2), 326–331.
47. Suchomel, T.J., Lamont, H.S., Moir, G. L. (2016). Understanding Vertical Jump Potentiation: A Deterministic Model. *Sports Med.*; 46 (6), 809 – 828. doi: 10.1007/s40279-015-0466-9
48. Sweeney, H. L., Bowman, B. F., Stull, J. T. (1993). Myosin light chain phosphorylation in vertebrate striated muscle: regulation and function. *Am J Physiol*; 264 (5 Pt 1), 1085-95. doi: 10.1152/ajpcell.1993.264.5.C1085
49. Szczesna D. (2003). Regulatory light chains of striated muscle myosin. Structure, function and malfunction. *Curr Drug Targets Cardiovasc Haematol Disord.*; 3 (2): 187-97
50. Terzis, G., Karampatsos, G., Kyriazis, T., Kavouras, S. A., Georgiadis, G. (2012). Acute effects of countermovement jumping and sprinting on shot put performance. *J Strength Cond Res.*; 26 (3), 684-90. doi: 10.1519/JSC.0b013e31822a5d15.
51. Till, K. A., Cooke, C. (2009). The effects of postactivation potentiation on sprint and jump performance of male academy soccer players. *J Strength Cond Res*; 23 (7), 1960-7. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181b8666e.
52. Turner, A. P., Bellhouse, S., Kilduff, L. P., Russel, M. (2015). Postactivation potentiation of sprint acceleration performance using plyometric exercise. *J Strength Cond Res*; 29 (2), 343-50. doi: 10.1519/JSC.0000000000000647.

53. Ulrich, G., Parstofer, M. (2017). Effects of Plyometric Versus Concentric and Eccentric Conditioning Contractions on Upper-Body Postactivation Potentiation. *Int J Sports Physiol Perform*; 12(6), 736-741. doi: 10.1123/ijsp.
54. Vandervoort, A. A., Quinlan, J., McComas A. J. (1983). Twitch potentiation after voluntary contraction. *Exp Neurol*; 81 (1), 141-52.
55. Whelan, N., O'Regan, C., Harrison, A. J. (2014). Resisted sprints do not acutely enhance sprinting performance. *J Strength Cond Res*; 28 (7), 1858-66. doi: 10.1519/JSC.0000000000000357.
56. Wilson, J. M., Duncan, N. M., Marin, P. M., Brown, L. E., Loenneke, J. P., Wilson, S. M. C., Jo, E., Lowery., R. P., Ugrinowitsch, C. (2013.). Meta-analysis of postactivation potentiation and power: effects of conditioning activity, volume, gender, rest periods and training status. *J Strength Cond Res*; 27 (3), 854-9. doi: 10.1519/JSC.0b013e31825c2bdb.
57. Winwood, P. W., Posthumus, L. R., Cronin, J. B., Keogh, J. W. (2016). The Acute Potentiating Effects of Heavy Sled Pulls on Sprint Performance. *J Strength Cond Res*; 30 (5), 1248-54. doi: 10.1519/JSC.0000000000001227.