

# Utjecaj maksimalnih izometričkih predopterećenja na manifestaciju eksplozivne jakosti tipa skoka u mladim nogometaša

---

**Pudja, Denis**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2015**

*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:117:542193>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-13**



*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)

Denis Pudja

**UTJECAJ MAKSIMALNIH  
IZOMETRIČKIH  
PREDOPTEREĆENJA NA  
MANIFESTACIJU EKSPLOZIVNE  
JAKOSTI TIPRA SKOKA U MLADIH  
NOGOMETAŠA**

(diplomski rad)

Mentor:

prof.dr.sc. Igor Jukić

Zagreb, siječanj 2015.

# UTJECAJ MAKSIMALNIH IZOMETRIČKIH PREDOPTEREĆENJA NA MANIFESTACIJU EKSPLOZIVNE JAKOSTI TIPA SKOKA U MLADIH NOGOMETAŠA

## Sažetak

Cilj ovoga rada bio je utvrditi utjecaj predopterećenja maksimalnim voljnim izometričkim kontrakcijama (engl. *Maximal isometric voluntary contraction - MVIC*) na naknadne eksplozivne aktivnosti tipa skoka. Uzorak se sastojao od dvije grupe mlađih vrhunskih nogometaša - kadeta (16.2 godina, 177.6 cm, 69.7 kg) i juniora (17.7 godina, 179.7 cm, 73.4 kg). Grupe su provodile različite protokole kojima je zajedničko bilo predopterećenje (PO) maksimalnim izometričkim potiskom nogu i naknadni Sargent test. Razlike su se odnosile na trajanje predopterećenja (kadeti - MVIC od 3 x 3 sekunde; juniori - MVIC od 1 x 6 sekundi) te trajanje odmora nakon PO-a i konkretnu varijantu Sargent testa (kadeti - vertikalni skok s pripremom 4 min nakon PO-a; juniori - vertikalni skok iz čučnja 2 min nakon PO-a). U eksperimentalnoj grupi kadeta zabilježen je statistički značajan pad rezultata nakon primjene PO-a, a u grupi juniora nisu evidentirane nikakve značajne promjene. Stoga je zaključak kako primijenjeni protokol ne odgovara ispitanoj populaciji u potenciranju eksplozivne jakosti tipa skoka.

Ključne riječi: postaktivacijska potencijacija, izometrija, eksplozivna jakost

## INFLUENCE OF MAXIMAL ISOMETRIC PRELOAD ON VERTICAL JUMP EXPLOSIVENESS IN YOUNG SOCCER PLAYERS

### Abstract

The goal of the present thesis was to determine the effects of a conditioning activity (CA) which included maximal voluntary isometric contractions (*MVIC*) on explosive jumps. The sample included two groups of adolescent male soccer players - a younger group (16.2 years, 177.6 cm, 69.7 kg) and a older group (17.7 years, 179.7 cm, 73.4 kg). The groups performed two different protocols whereas both included a leg press type conditioning activity followed by a variation of Sargent test. The differences referred to the duration of the CA (younger group - MVIC 3 x 3 seconds; older group - MVIC 1 x 6 seconds) and on the rest duration

after the CA and the specific variation of the Sargent test (younger group - countermovement jump 4 min after CA; older group - squat jump 2 min after CA). In the younger group a statistically significant decrease of performance was observed, whereas in the older groups no significant changes were registered. Hence, the conclusion is that the given protocol for the investigated population isn't appropriate for enhancing vertical jump performance.

Key words: postactivation potentiation, isometrics, explosive strength

# SADRŽAJ

1. UVOD.....	5
2. FENOMEN POSTAKTIVACIJSKE POTENCIJACIJE .....	7
2.1. METODE REGISTRACIJE POSTAKTIVACIJSKE POTENCIJACIJE .....	7
2.2. FIZIOLOŠKI MEHANIZMI POSTAKTIVACIJSKE POTENCIJACIJE .....	9
2.3. ČIMBENICI UVJETOVANJA POSTAKTIVACIJSKIH EFEKATA.....	11
2.3.1. Karakteristike subjekata .....	12
2.3.2. Parametri aktivnosti.....	15
3. KONTRASTNI TRENING .....	19
4. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA .....	22
4.1. ISTRAŽIVANJA AKUTNIH EFEKATA - PAP.....	22
4.2. ISTRAŽIVANJA KRONIČNIH EFEKATA - KONTRASTNA METODA ...	24
5. METODE RADA .....	26
5.1. EKSPERIMENTALNI NACRT .....	26
5.2. UZORAK ISPITANIKA .....	26
5.3. UZORAK VARIJABLI.....	27
5.4. PROTOKOL TESTIRANJA .....	29
5.5. METODE OBRADJE PODATAKA .....	31
6. REZULTATI I RASPRAVA .....	32
6.1. OSNOVNI DESKRIPTIVNI PARAMETRI .....	32
6.2. ANALIZA RAZLIKE REZULTATA.....	33
7. ZAKLJUČAK.....	39
8. LITERATURA .....	40

## 1. UVOD

Sportskim treningom teži se usvajanju, usavršavanju i razvoju niza sposobnosti, znanja i osobina koje sportašu omogućavaju učinkovito djelovanje u situacijskim uvjetima. Svaki sport specifičan je po zahtjevima u pogledu strukture i razvijenosti pojedinih komponenti pripremljenosti. Sportske igre kompleksne su aktivnosti u kojima je važna visoka razvijenost većeg broja sposobnosti i osobina među kojima se posebice ističu brzinsko-eksplozivna svojstva. Sposobnost da se u kratkom vremenskom intervalu ispolji velika sila nužna je i presudna u mnogobrojnim situacijama specifičnim za sportske igre. Brz i visok odraz, sprint na kratkoj distanci, dribling, eksplozivne promjene pravca, neke su od tipičnih aktivnosti u sportovima kao što su nogomet, košarka ili rukomet. Učinkovita izvedba takvih aktivnosti često je glavni faktor koji razlikuje vrhunske od kvalitetnih, pobjednike od poraženih. U nogometu se eksplozivna jakost, brzina i agilnost, uz aerobnu i anaerobnu izdržljivost, ističu kao najvažnije kondicijske sposobnosti relevantne za uspjeh (Marković i Bradić, 2008).

S obzirom na navedeno, logično je da se u kondicijskom treningu puno pažnje pridaje razvoju brzine, agilnosti i eksplozivne jakosti tipa sprinta i skoka. Među najistaknutijim metodama za razvoj eksplozivne jakosti su balistička metoda, pliometrija i *kontrastna metoda*. Za temu ovog rada najvažnija je posljednje spomenuta metoda koja se prema nekim autorima izjednačava s pojmom *kompleksne metode*. Tako French i sur. (2003) kompleksni trening definiraju kao metodu uparivanja teških i laganih opterećenja u organiziranu cjelinu s ciljem izazivanja *postaktivacijske potencijacije*.

Postaktivacijska potencijacija (PAP) je pojava prolaznog povećanja učinkovitosti mišićne kontrakcije nakon prethodne mišićne aktivnosti (Sale, 2002). U literaturi se između ostalog spominju i termini post-tetanička facilitacija (Marković i Peruško, 2003) i fenomen naknadnih efekata (engl. *after-effect phenomenon*) (Siff i Verkhoshansky, 1999). S obzirom da se u trenažnom procesu teži maksimizaciji efekata, fenomen PAP-a predmet je zanimanja kako u sportskoj praksi tako i u znanstvenim istraživanjima. Prethodno spomenuti kontrastni trening upravo je praktična aplikacija saznanja o postaktivacijskoj potencijaciji.

Najčešći primjer kompleksa vježbi odnosi se na izvedbu vertikalnih skokova iz čučnja nakon izvedbe stražnjeg čučnja (Ebben, 2002). Već iz ovog primjera mogu se jasno definirati osnovne postavke navedene metode. Primjenjuje se određeno predopterećenje, najčešće u

vidu vježbe visokog intenziteta, potom slijedi određeni odmor nakon čega slijedi vježba eksplozivnog karaktera.

Predopterećenje je najčešće izometričkog, koncentričnog, ekscentričnog, ili ekscentrično-koncentričnog karaktera (Jukić sur., 2004), a primijenjivani su i pliometrijski podražaji (Stieg i sur., 2011; Tsolakis i sur., 2011). Efekti različitih oblika predopterećenja na naknadne eksplozivne pokrete predmet su većeg broja istraživanja (Gullich i Schmidtbleicher, 1996; Chiu i sur., 2003; French i sur., 2003; Requena i sur., 2011; Tsolakis, 2011; Arabatzi i sur., 2014). Izometrički oblik predopterećenja u vidu guranja fiksiranih objekata kao što su zidovi karakterizira potencijalno jednostavan i ekonomičan način izazivanja postaktivacijskih efekata (Rixon i sur., 2007). S obzirom da su u ovom istraživanju sudjelovali nogometaši mlađeg uzrasta odabran je upravo izometrički režim rada za vježbu predopterećenja. Međutim, broj istraživanja koji su proučavali problematiku utjecaja izometričkih predopterećenja u treningu mlađih sportaša oskudan je i rezultati su dvosmisleni (Till i Cooke, 2009; Tan i sur., 2013; García-Pinillos i sur., 2014).

Cilj rada je analizirati rezultate testa eksplozivne jakosti tipa skoka nakon primjene maksimalnih izometričkih predopterećenja u mladim nogometaša. Dakle, svrha je utrditi utjecaj izometričkih naprezanja na naknadne eksplozivne pokrete i eventualnu mogućnost primjene tako koncipiranih kompleksa vježbi u treningu nogometaša mlađih uzrasta.

Iz svega dosad navedenog moguće je izdvojiti postaktivacijsku potencijaciju i kontrastni trening kao ključne pojmove. Stoga će u nastavku teksta biti detaljno objašnjeni, a izdvojiti će se i najvažnija istraživanja povezana s problematikom rada.

## 2. FENOMEN POSTAKTIVACIJSKE POTENCIJACIJE

Xenofondos i sur. (2010.) definiraju postaktivacijsku potencijaciju (PAP) kao povećanje mišićnih performansi nakon potencirajućih kontrakcija. Isti autori sažimaju moguće benefite PAP protokola. Tako ističu kako PAP povećava razinu izlaza snage, ali ne i maksimalnih vrijednosti sile i maksimalne brzine neopterećenog pokreta. Razlog tom je što PAP ne doprinosi povećanju sile pri aktivaciji motoričkih jedinica visokom frekvencijom. Međutim, postaktivacijska potencijacija može doprinijeti porastu gradijenta sile, odnosno brzine postizanja vršne sile. Prema tome, PAP može povećati učinkovitost aktivnosti kao što su skakanje, trčanje i bacanje (Xenofondos i sur., 2010).

### 2.1. METODE REGISTRACIJE POSTAKTIVACIJSKE POTENCIJACIJE

Postaktivacijska potencijacija uvjetovana je složenim fiziološkim procesima. Istraživači su proučavanju PAP-a pristupali različitim metodama. Za početak je najvažnije istaknuti razliku između izazivanja postaktivacijskih efekata nevoljnim tetaničkim kontrakcijama i voljnim mišićnim kontrakcijama (najčešće svladavanjem maksimalnih i velikih opterećenja). U prvom slučaju koristi se termin posttetanička potencijacija, a u drugom postaktivacijska potencijacija (Tillin i Bishop, 2009). U ovom radu, zbog jednostavnosti, koristiti će se samo termin postaktivacijska potencijacija.

Nadalje, važno pitanje u istraživanju ovog fenomena jest način registracije postaktivacijskih efekata. Hodgson i sur. (2005) ističu dva smjera dijagnostike. Jedan se odnosi na registraciju fizioloških parametara, tj. *sile mišićnog trzaja* i amplitude *H-refleksa*. Drugi smjer je jednostavniji i odnosi se na mjerenje rezultata tijekom izvedbe eksplozivnih aktivnosti (npr. nakon svladavanja maksimalnih ili velikih opterećenja). U tom slučaju radi se najčešće o visini vertikalnog odraza ili gradijentu sile.

Mišićni trzaj je kratka mišićna kontrakcija izazvana jednim presinaptičkim akcijskim potencijalom ili jednim, sinkroniziranim valom akcijskih potencijala (Hodgson i sur., 2005, prema Latash, M. L., 1998). Isti autori ističu kako se sila trzajne kontrakcije povećava nakon: a) zadržavane maksimalne voljne kontrakcije, b) stimulirane tetaničke kontrakcije i c) ponavljanog subfuzionalnog stimuliranja. Osim povećanja vršne sile trzaja, pokazalo se da navedeni faktori utječu i na gradijent sile odnosno vrijeme postizanja vršne sile. Taj se efekt



obično naziva potencijacija trzaja (engl. *twitch potentiation*) te je temeljito potvrđen i reproducibilan. Međutim, relevantnost tog fenomena u motoričkom djelovanju čovjeka manje je jasna (Hodgson i sur., 2005). Usprkos tome, sve prethodno navedeno razlog je da je sila mišićnog trzaja jedan od pretpostavljenih indikatora PAP-a.

H-refleks (Hoffmannov refleks) izvorno je opisao Paul Hoffmann 1910. godine. Radi se o električki izazvanom refleksu sličnom refleksu na istezanje. Osnovna razlika je što H-refleks zaobilazi mišićno vreteno te stoga predstavlja vrijedno oruđe u procjeni modulacije monosinaptičke refleksne aktivnosti u leđnoj moždini. Na temelju H-refleksa se procjenjuje podražljivost alfa motoneurona kada je presinaptička inhibicija i intrinzička podražljivost konstantna. Takvo mjerenje daje procjenu reakcije živčanog sustava na razna neurološka stanja, mišićno-koštane ozljede, primjenu terapijskih modaliteta, bol, *sportski trening* i *učinkovitost motoričkih izvedbi* (Palmieri i sur., 2004).

Ulogu H-refleksa kao indikatora PAP-a opisuju Gullich i Schmidtbleicher (1996). U svom su istraživanju kroskožno stimulirali tibijalni živac. Ekscitacijski potencijal prolazi eferentnim putevima (alfa motoaksonima) direktno do motoričke završne ploče u m. triceps surae i istovremeno, aferentnim putevima (dominantno Ia vlaknima) do leđne moždine. Tamo se podražaj monosinaptički prenosi do alfa motoneurona te se ponovno transferira preko motoaksona do motoričke ploče u m. triceps surae. Pojedinačni podražaj izaziva dva različita odgovora na motoričkoj završnoj ploči - ukupni akcijski potencijal kojeg je moguće registrirati elektromiografskim putem, direktnu mišićnu reakciju nakon otprilike 5 msec (M-val) i H-refleks (H-val) nakon otprilike 30 msec. Fokus je pri tome na vršnoj amplitudi H-vala koji je odraz broja aktiviranih motoričkih jedinica. *Ukoliko H-amplituda varira pri konstantnoj stimulaciji radi se o indikaciji promjene načina aktivacije što je uzrokovano modifikacijom sinaptičke efikasnosti transfera podražaja do alfa motoneurona* (Gullich i Schmidtbleicher, 1996). U slučaju potencijacije H-refleksa nakon voljnih kontrakcija govori se refleksnoj potencijaciji (engl. *reflex potentiation* - RP) (Hodgson i sur., 2005). S obzirom na navedeno, H-refleks je potencijalno objektivan indikator promjena funkcije živčanomišićnog sustava prije i nakon određenih podražaja (npr. izvedbe vježbi jakosti). Treba ipak istaknuti kako Hodgson i sur. (2005) napominju da postoji niz metodoloških poteškoća koje mogu utjecati na interpretaciju H-refleksa. Stoga je nužna rigorozna eksperimentalna kontrola da bi rezultati bili precizno interpretirani.

Konkretan indikator utjecaja PAP-a na motoričku efikasnost jesu izlazni parametri motoričkih testova. Iz preglednog rada Tillina i Bishopa (2009) vidljivo je kako su istraživači koristili niz testova brzinsko-snažnih svojstava, kao što su npr. sprint 30 m, vertikalni skok s

pripremom (engl. *countermovement jump* - *CMJ*), opružanja potkoljenice na izokinetičkim aparatima itd. Smisao tih testova je evidentan. Brzina ili eksplozivnost trenažno relevantnih pokreta i mišića mjeri se kako bi se utvrdio utjecaj prethodnih podražaja te eventualna primjenjivost takvih kompleksa u sportskom treningu.

## 2.2. FIZIOLOŠKI MEHANIZMI POSTAKTIVACIJSKE POTENCIJACIJE

Nekoliko je pretpostavljenih mehanizama pojave PAP-a. Znanstvenici kao najbitnije ističu fosforilaciju regulatornih lakih lanaca miozina (Rassier i MacIntosch, 2000; Sale, 2002; Chiu i sur., 2003; Hodgson i sur., 2005), povećanu neuralnu aktivnost (Gullich i Schmidtbleicher, 1996; French i Kraemer, 2003) i promjenu kuta mišićne kontrakcije (Tillin i Bishop, 2009).

Fosforilacija regulatornih lakih lanaca miozina (engl. *regulatory light chains of miosin* - *RLC*) po nizu je autora jedan od glavnih čimbenika izazivanja PAP-a (Rassier i MacIntosch, 2000; Chiu i sur., 2003; Wilson i sur., 2013). Rassier i MacIntosch (2000) na temelju niza istraživanja navode kako postoji čvrsta korelacija između magnitude potencijacije i magnitude fosforilacije RLC-a. Nadalje, istraživanja u laboratorijskim uvjetima pokazala su da je sila kontrakcije pri određenoj submaksimalnoj koncentraciji  $Ca^{2+}$  povećana, dok se maksimalna sila ne mijenja. Uzevši u obzir navedeno, postoji čvrst temelj teoriji po kojoj je RLC fosforilacija odgovorna za aktivnošću uvjetovanu potencijaciju (Rassier i MacIntosch, 2000).

Fosforilacija RLC-a zbiva se kada se aktivira enzim miozin kinaza (engl. *miosin light chain kinase* - *MLCK*). Do aktivacije MLCK dolazi prilikom povećanja koncentracije  $Ca^{2+}$  i povezivanja  $Ca^{2+}$ -kalmodulin kompleksa sa MLCK. Stoga, kada je mišić aktiviran koncentracija  $Ca^{2+}$  raste što rezultira aktivacijom MLCK i povećanom RLC fosforilacijom. Pretpostavka je da povećana RLC fosforilacija izaziva povećanu osjetljivost kontraktilnih proteina na  $Ca^{2+}$  čime jača ispoljavanje submaksimalnih kontrakcija. Enzim miozin fosfataza (engl. *myosin light chain phosphatase* - *MLCP*) odgovoran je za micanje fosfatne grupe sa RLC-a. Enzim djeluje relativno sporo, postizući kontrolnu razinu fosforilacije nakon 4-5 minuta u mišiću sisavca na temperaturi od 37°C (Rassier i MacIntosch, 2000).

Pokazalo se da je pojačana submaksimalna sila u uvjetima visoke razine RLC fosforilacije rezultat povećane frekvencije povezivanja poprečnih mostova ili većem stupnju tranzicije od slabih veza do čvrstih veza što rezultira većim brojem poprečnih mostova koji

tijekom kontrakcije generiraju silu. Dokazi koji potkrepljuju navedeno uključuju sljedeće: mišićna krutost raste proporcionalno povećanju aktivne sile, aktivnost miozin ATPaze raste proporcionalno povećanju aktivne sile, a stopa relaksacije se ne smanjuje. Proporcionalno povećanje krutosti ukazuje kako je rast sile uvjetovan povećanim brojem povezanih poprečnih mostova, a proporcionalno povećanje aktivnosti ATPaze sugerira da vremenski uvjetovano vraćanje poprečnih mostova nije pod utjecajem RLC fosforilacije. Konstantan broj uključenih poprečnih mostova proporcionalan je zbroju stope povezivanja i stope odvajanja poprečnih mostova. Priloženi dokazi sugeriraju da je povećanje u broju povezanih poprečnih mostova rezultat povećane stope povezivanja. Dokazi da promjene stope odvajanja nisu prisutne uključuju izostanak povećanja u vremenu relaksacije kao i izostanak promjena u ekonomičnosti generiranja sile (Rassier i MacIntosh, 2000).

Rassier i MacIntosh prema svemu navedenom zaključuju kako priloženi dokazi potvrđuju da je povezanost povećanja generirane sile i RLC fosforilacije rezultat povećanja stope povezivanja poprečnih mostova bez promjene u stopi odvajanja i ta promjena u kinetici poprečnih mostova rezultira u povišenoj osjetljivosti na  $Ca^{2+}$ .

Sljedeći bitan mehanizam odnosi se na povećanu neuralnu efikasnost, odnosno povećanu regrutaciju motoričkih jedinica višeg reda. Gullich i Schmidtbleicher (1996) ističu kako su motoričke jedinice tijekom maksimalnih voljnih kontrakcija (engl. *maximal voluntary contractions* - MVC) stimulirane vrlo visokom frekvencijom tetaničkih podražaja od više od 100 Hz. Navode kako je u istraživanjima sa životinjama dobiveno da se povećana efikasnost podražajne transmisije između živčanih stanica, nakon tetaničke stimulacije, može održati i do nekoliko minuta. Rezultat toga je povećanje postsinaptičkih potencijala uz istu razinu predsinaptičkih potencijala tijekom naknadnih aktivnosti.

Luscher i sur. (1983) prethodno navedeno objašnjavaju sljedećim mehanizmom. Na svako nadređeno živčano vlakno (tj. Ia vlakno) brojne sinapse vežu svaki alfa motoneuron. Aktivacija alfa motoneurona odvija se na principu „sve ili ništa“ pri čemu intenzitet predsinaptičkog podražaja mora koincidirati s postsinaptičkom receptorskom osjetljivošću. Neuspjeli prijenosi podražaja na sinaptičkim vezama česta su pojava tijekom uobičajenih refleksnih ili voljnih reakcija uslijed autonomno zaštićene aktivacijske rezerve. Pretpostavlja se da stimulirana tetanička kontrakcija smanjuje razinu neuspjelih prijenosa tijekom naknadnih aktivnosti putem jednog ili kombinacije više mehanizama. To se odnosi na povećanje broja otpuštenih neurotransmitera, povećanje njihove efikasnosti i redukciji neuspjelih aksonalnih prijenosa.

Na temelju istraživanja ekscitatornih postsinaptičkih potencijala (engl. *excitatory post-synaptic potentials - EPSP*) u mačaka Luscher i sur. primijetili su kako je neuspjeh u monosinaptičkom prijenosu značajniji u većih motoneurona (odgovornih za aktivaciju motoričkih jedinica višeg reda odnosno brzo-trzajućih (engl. *fast-twitch*) motoričkih jedinica. Nasuprot tome, kada je trzaj stimuliran nakon tetaničke kontrakcije u trajanju od 10 sekundi, utvrđeno je smanjenje neuspjeha u prijenosu koje se prvenstveno javlja u većih motoneurona što je kod njih rezultiralo znatnim PAP efektom. Kada bi predopterećenje moglo izazvati povećanje regrutacije motoneurona višeg reda u ljudi, taj bi efekt teoretski povećao doprinos brzo-trzajućih vlakana mišićnoj kontrakciji i stoga povećao učinkovitost naknadnih eksplozivnih aktivnosti (Tillin i Bishop, 2009, prema Luscher i sur., 1983).

Uz dva prethodno navedena mehanizma, Tillin i Bishop (2009) navode i promjenu kuta djelovanja mišićne kontrakcije kao potencijalno važan faktor u ispoljavanju PAP efekata. Kut djelovanja mišića (kut koji formiraju fascije unutarne aponeuroze) odražava usmjerenost mišićnih vlakana u odnosu na vezivno tkivo/tetive. Kut mišićne kontrakcije stoga će utjecati na prijenos sile na tetive i kosti. Zbroj sila svih pojedinih vlakana koje djeluju na relevantnu tetivu tijekom mišićne kontrakcije umanjuje se faktorom veličine kuta mišićnog djelovanja. Stoga manji kut djelovanja predstavlja mehaničku prednost u odnosu na prijenos sile na tetive. Mahlfeld i sur. (2004) (prema Tillin i Bishop, 2009) mjerili su kut usmjerenosti mišića vastus lateralis u mirovanju, prije i nakon 3-sekundnog izometričkog MVC-a. Neposredno nakon kontrakcije kut se nije promijenio. Međutim, 3-6 minuta nakon MVC-a kut se značajno smanjio (sa 16.2° na 14.4°,  $p < 0.05$ ). Ta promjena bila bi ekvivalentna povećanju prijenosa sile na tetive od samo 0.9%, ali je moguće da taj učinak doprinosi PAP-u. Također, izvjesno je da predopterećenje doprinosi povećanju popustljivosti vezivnog tkiva/tetiva što bi moglo poništiti učinak smanjenja kuta djelovanja mišića na prijenos sile. Zaključak je kako utjecaj djelovanja mišićne arhitekture na izazivanje PAP efekata zahtijeva daljnje istraživanje (Tillin i Bishop, 2009).

### 2.3. ČIMBENICI UVJETOVANJA POSTAKTIVACIJSKIH EFEKATA

Prethodno je istaknuto kako se PAP efekti postižu svladavanjem preopterećenja najčešće visokog intenziteta, nakon čega slijedi određeni odmor prije izvedbe ciljanih

eksplozivnih pokreta. Problem koji se pritom javlja jest složenost konstruiranja takovih kompleksa vježbi. Nije moguće očekivati značajne efekte nasumično programirajući parametre. Potrebno je ostvariti *ravnotežu između postaktivacijskih efekata i umora* s ciljem ostvarenja krajnjeg utjecaja na potencijaciju eksplozivnih pokreta. Naime, kada je volumen predopterećenja malen, PAP je dominantniji od umora, a potencijacija naknadnih eksplozivnih aktivnosti može biti neposredno ostvarena (tzv. *prvi prozor*). Povećanjem volumena predopterećenja, umor postaje dominantan uz negativan utjecaj na naknadne aktivnosti. Potom, umor nestaje bržom stopom od PAP-a, a potencijacija naknadnih eksplozivnih pokreta može biti ostvarena u određenom intervalu tijekom perioda oporavka (tzv. *drugi prozor*) (Tillin i Bishop, 2009). Za prethodno navedene teze postoji niz istraživanja koji su u krajnjem slučaju kontradiktorni pa je globalna teza o „prozorima“ još uvijek hipotetska.

Navedeni odnos između PAP-a i umora uvjetovan je kombinacijom čimbenika od kojih je volumen opterećenja samo jedan od njih. Nužno je detaljno poznavanje karakteristika subjekta kao i precizno definiranje parametara predopterećenja i potencirane vježbe.

### 2.3.1. Karakteristike subjekata

Tillin i Bishop (2009) navode sljedeće bitne karakteristika subjekta: *mišićna jakost, distribucija tipa mišićnih vlakana, razina treniranosti i omjer snaga-jakost*.

Isti autori navode primjer Gourgoulisa i sur. (2003), prema kojem su ispitanici s većom razinom jakosti ostvarili značajno veće PAP efekte od ispitanika s nižom razinom. Naime, ispitanici su podijeljeni u dvije grupe: jednu grupu činili su ispitanici sposobni u čučnju svladati opterećenje veće od 160kg, drugu grupu oni koji su bili sposobni svladati manje od 160kg. Grupa >160kg ostvarila je 4-postotno povećanje visine u CMJ-u nakon izvedbe pet serija čučnjeva. U drugoj grupi povećanje je iznosilo samo 0,4%.

S druge strane, Batista i sur. (2011) nisu utvrdili značajne razlike između grupa različite razine dinamičke jakosti. U njihovom je istraživanju sudjelovalo 23 ispitanika podijeljenih na 3 grupe (atletičari, bodybuilderi i tjelesno aktivni muškarci). Kategorizacija subjekata temeljila se na testiranju 1 RM-a u vježbi potisak nogu na trenažeru (engl. *leg press*). Provedena su dva različita protokola s ciljem uspostavljanja PAP efekata (1 ili 3 maksimalne voljne izometričke kontrakcije trajanja 5 sekundi po ponavljanju). Testiranjem visine u CMJ-u i brzine odraza sa platforme nisu utvrđene nikakve statistički značajne razlike

( $p \leq 0.05$ ). Dakle, u ovom primjeru autori su zaključili kako razina sportaševe razine jakosti nema utjecaja na pojavu PAP efekata i kako bi u tom smislu pristup treningu trebao biti individualan (Batista i sur., 2011).

Među najistaknutijim radovima o utjecaju omjera mišićnih vlakana na ispoljavanje PAP efekata jest onaj Hamade i sur. (2000). Autori navode kako u malih sisavaca, mišići s kraćim vremenom trzajne kontrakcije i većim udjelom brzih mišićnih vlakana (tip II) iskazuju veću posttetaničku potencijaciju sile trzaja nego što je to slučaj u mišića s dužim vremenom kontrakcije i dominacijom sporih mišićnih vlakana (tip I). Stoga su povezanost udjela vrste mišićnih vlakana i potencijacije u ljudi odlučili provjeriti na grupi od 20 mladih muškaraca. Podražaj se odnosio na MVIC u trajanju od 10 sekundi. Maksimalne trzajne kontrakcije mišića opružača koljena bile su električki evocirane prije i nakon MVIC-a. Četvorica muškaraca s najvećim (HPAP,  $104 \pm 11\%$ ) i najmanjim (LPAP,  $43 \pm 7\%$ ) PAP vrijednostima bili su podvrgnuti iglenoj biopsiji m. vastus lateralis. HPAP skupina imala je veći udio mišićnih vlakana tipa II ( $72 \pm 9$  naspram  $39 \pm 7\%$ ) i manje vrijednosti pred-MVIC vremena do vršne sile trzaja ( $61 \pm 12$  naspram  $86 \pm 7$ ms) u odnosu na LPAP skupinu. Podaci sugeriraju kako, slično mišićima malih sisavaca, ljudski mišići s manjim vremenom trzajne kontrakcije i većim postotkom vlakana tipa II ispoljavaju veće PAP vrijednosti (Hamada i sur., 2000).

Paasuke i sur. (1998) istraživali su razliku u veličini PAP efekata između sportaša u disciplinama eksplozivne jakosti (sprinter i skakači) i sportaša u disciplinama izdržljivosti (trkači na duge pruge). Utvrdili su značajno veće PAP vrijednosti u sportaša eksplozivnih disciplina ( $154.3 \pm 14.2\%$  naspram  $128.3 \pm 16.8\%$ ). Za pretpostaviti je kako je jedan od glavnih čimbenika dobivenih rezultata različit omjer brzih i sporih mišićnih vlakana među ispitanim sportašima.

Chiu i sur. (2003) istraživali su problematiku utjecaja razine treniranosti na postaktivacijsku potencijaciju. Usporedili su sportaše uključene u sportove koji zahtijevaju visoku razinu eksplozivne jakosti (ATH) i sportaše rekreativce (RT). Predopterećenje se provodilo u vidu čučnjeva s opterećenjem 90% 1RM (5 serija, 1 ponavljanje po seriji), a ciljani potencirani pokreti odnosili su se na skokove iz čučnja s različitim opterećenjem (30%, 50% i 70% 1RM). Uspoređujući grupe, značajno veći PAP učinci (parametri sile i snage) dobiveni su kod ATH grupe.

Utjecaj razine treniranosti na ispoljavanje PAP-a istraživali su i Berning i sur. (2010). Nakon izvedbe funkcionalnog izometričkog čučnja, ispitanicima su mjereni rezultati u

*countermovement jump*-u (CMJ). Sportaši s iskustvom u treningu jakosti ispoljili su značajne PAP vrijednosti (4 minute nakon predopterećenja dobiveno povećanje od 2.4cm, +5.1%; nakon 5 minuta povećanje od 2.6cm, +5.5%), dok netrenirani muškarci nisu iskazali značajno povećanje inicijalnih vrijednosti.

Važno je napomenuti kako faktori mišićne jakosti, distribucije mišićnih vlakana i razina treniranosti nisu nužno izolirani. Razina treniranosti često je povezana s jakosti sportaša, a ona pak može biti uvjetovana omjerom brzih i sporih mišićnih vlakana. U tom smislu potrebna je detaljnija analiza i kategorizacija.

Tillin i Bishop (2009) u ispoljavanju PAP efekata također ističu i važnost omjera snaga-jakost. Navode primjer istraživanja Schneikera i sur. (2006) u kojem su sudjelovali sportaši jakosti. Ispostavilo se da sportaši s omjerom snaga/jakost manjim od 19W/kg, iskazuju značajnu negativnu korelaciju između omjera S/J i potencijacije vršne snage u odnosu na sportaše s omjerom većim od 19W/kg. Autori prema rezultatima zaključuju kako sportaši manje sposobni da efikasno pretvore silu (jakost) u snagu više profitiraju od PAP protokola. Čini se također da za omjer S/J postoji prag iznad kojeg subjekti ne ispoljavaju učinke PAP-a.

Uz navedene čimbenike pojedini autori ističu i važnost dobi i spola. Tsolakis i sur. (2011) proveli su istraživanje s muškim i ženskim mačevaocima. Primijenjena su četiri različita protokola koja su uključivala dinamičke i izometričke varijante predopterećenja. Prije, neposredno nakon i potom u intervalima od 4, 8 i 12 min, eksplozivnost je mjerena skokom s pripremom (CMJ) i balističkim potiskom s klupe (engl. *bench press throw*). Statistička analiza pokazala je značajan pad u vršnoj snazi nogu jedino kod muškaraca, i to nakon primjene izometričkih podražaja (Tsolakis i sur., 2011).

Arabatzi i sur. (2014) istraživali su postaktivacijsku potencijaciju s obzirom na značajke dobi i spola. U istraživanju su sudjelovali muški i ženski ispitanici različite dobi: preadolescenti (10 - 12 godina), adolescenti (14 - 15 godina) i odrasli (20 - 25 godina). Predopterećenje se sastojalo od izometričkog podražaja (MVIC, 3 x 3 sekunde). Referentni pokazatelji odnosili su se na postignutu visinu i gradijent sile tijekom izvedbe skoka iz čučnja (engl. *squat jump*). Rezultati su bili vrlo varijabilni u odnosu na faktore spola i dobi. PAP efekti u visini skoka ispoljili su se jedino kod odraslih muškaraca, za razliku od ostalih muških i ženskih grupa. Učinci PAP-a na vršni gradijent sile iskazali su se u obje odrasle grupe i u muških adolescenata, bez značajnih učinaka u ostalim grupama. Autori zaključuju

kako su PAP protokoli primjenjivi za akutno povećanje mišićne efikasnosti u odraslih muškaraca, ali ne i u mlađoj populaciji.

Wilson i sur. (2013) u svojoj meta-analizi istraživanja PAP-a zaključili su, vezano za čimbenik spola, kako ne postoji značajna razlika između muškaraca i žena.

### 2.3.2. Parametri aktivnosti

Kao što je prethodno navedeno, odnos između PAP-a i umora uvjetovan je kombinacijom čimbenika. Vezano za parametre aktivnosti najvažniji čimbenici su: *volumen predopterećenja* (trajanje, serije, ponavljanja, odmor između serija i odmor nakon predopterećenja); *intenzitet predopterećenja*; *vrsta predopterećenja* (npr. dinamičke ili izometričke aktivnosti) i *vrsta naknadne aktivnosti*.

Značajno istraživanje o utjecaju volumena predopterećenja na ishode potencirajućih podražaja proveli su French i sur. (2003). U istraživanju je sudjelovalo 14 atletičara, a primijenili su dva različita PAP protokola i kontrolni protokol (bez predopterećenja). Predopterećenje se sastojalo od 3 x 3 sekunde ili 3 x 5 sekundi maksimalnih voljnih izometričkih opružanja potkoljenice (engl. *MVIC - knee extension*), uz 3 minute odmora između svakog ponavljanja. Ciljane potencirane vježbe uključivale su dubinske skokove i skokove s pripremom, sprint 5 sekundi na biciklergometru i opružanje potkoljenice. Značajni porast u visini odraza (5.03%), maksimalnoj sili (4.94%) i impulsu ubrzanja (9.49%) registrirani su u izvedbi dubinskih skokova jedino nakon protokola 3 x 3 sekunde MVIC. Tijekom izvedbe opružanja potkoljenica zabilježeno je povećanje maksimalnog momenta sile od 6.12%. Značajne promjene u izvedbi 5 sekundi sprinta i skoka s pripremom nisu primijećene ni u jednoj grupi. Autori zaključuju kako serija MVIC-a (3 x 3 sekunde) može doprinijeti poboljšanju izvedbe eksplozivnih vježbi ( $\leq 0.25$  sek). Ističu i zaključak Vandervoorta i sur. (1983) koji su uočili kako razmjer potencijacije pada ukoliko MVC prelazi trajanje od 10 sekundi.

Što se tiče trajanja odmora nakon PAP podražaja, meta-analiza Wilsona i sur. (2013) pokazuje kako se najveći učinci dobivaju odmorom od 7 - 10 minuta, a potom od 3 - 7 minuta.

Iako je uvriježeno mišljenje kako dominantno velika opterećenja (intenzitet dinamičkih ili izometričkih vježbi  $>80\%$ ) mogu izazvati značajne PAP efekte (Chatzopoulos i



sur., 2007; Rahimi, 2007; Tillin i Bishop, 2009), prisutni su i suprotni stavovi i rezultati. Tako Wilson i sur. (2013) u svojoj meta-analizi istraživanja PAP efekata zaključuju kako je zapravo srednji intezitet (60 - 84% 1RM) (efektivna veličina = 1.06) idealan za ispoljavanje PAP-a u usporedbi s vrlo visokim intezitetima (<85%) (efektivna veličina = 0.31) neovisno o razini treniranosti. Navedeno objašnjavaju hipotezom da aktivnost srednjeg intenziteta izaziva PAP uz manje mehaničke traume u usporedbi s težom aktivnošću.

Requena i sur. (2008) u svom su istraživanju usporedili različite tipove predopterećenja, koji su se između ostalog razlikovali i po intenzitetu. Podražaje su činili maksimalna voljna izometrička kontrakcija u trajanju od 7 sekundi, submaksimalna voljna izometrička kontrakcija (25% MVC) i submaksimalna tetanička kontrakcija (25% MVC) izazvana električkom stimulacijom. Metodom mjerenja potencijacije trzaja registrirana je statistički značajna potencijacija u protokolu maksimalne voljne kontrakcije, bez značajne potencijacije u submaksimalnom izometričkom protokolu (25% MVC) (Requena i sur., 2008). Treba istaknuti kako se rezultati tiču laboratorijskih uvjeta, ali idu u prilog tradicionalnom stavu o intenzitetu opterećenja u PAP protokolima.

Vrsta predopterećenja faktor je koji Tillin i Bishop (2009) ističu kao bitan u ispoljavanju PAP efekata i kao jedan od glavnih čimbenika nekonzistentnosti rezultata istraživanja. Istaknuto je istraživanje Rixona i sur. (2007) koji su proučavali utjecaj vrste mišićne kontrakcije (izometrička naspram dinamičke), spola i prethodnog iskustva u treningu s utezima na izazivanje PAP-a. Mjerenje je uključivalo visinu skoka i izlaz snage. Izometrički protokol odnosio se na MVIC stražnji čučanj u volumenu od 3 x 3 sekunde, a dinamički protokol na 3RM stražnji čučanj. Rezultati su pokazali kako je visina skoka nakon MVIC protokola značajno veća u usporedbi s inicijalnim vrijednostima i visinom postignutom nakon dinamičkog predopterećenja. Muškarci su iskazali više vrijednosti od žena, a iskusni sportaši su reagirali bolje od neiskusnih. Snaga odraza je također bila značajno veća u MVIC grupi u odnosu na ostale dvije grupe, a značajno je povećana i u grupi s dinamičkim predopterećenjima u odnosu na inicijalne vrijednosti, pri čemu su muškarci imali veće vrijednosti. Prema tome, Rixon i sur. (2007) zaključuju kako je izometrički protokol izazvao veće PAP efekte u odnosu na dinamički protokol, pri čemu je potencijacija značajnija u grupi iskusnih sportaša.

Razlike u razini potencijacije s obzirom na voljnu i električku stimulaciju proučavane su u prethodno spomenutom istraživanju Requene i sur. (2008). Dobiveni rezultati pokazali su

kako je razina potencijacije trzaja bila veća tijekom maksimalnog izometričkog protokola u odnosu na električku stimulaciju (ES) 1 minutu nakon potencirajućeg podražaja. Međutim, ta je razlika u potpunosti nestala nakon 3 minute oporavka. Poslije 10 minuta potencijacija trzaja bila je značajno povišena jedino u ES grupi.

U kontekstu vrste i sadržaja predopterećenja, zanimljivo je istaknuti i radove koji su proučavali primjenu vibracijske tehnologije (engl. *Whole Body Vibration - WBV*) tijekom provedbe PAP protokola. Rønnestad i Ellefsen (2011) proučavali su utjecaj uključivanja WBV-a u izvedbi polučučnja s vlastitom tjelesnom težinom na rezultate testiranja sprinta na 40 metara. Uzorak se sastojao od 9 nogometaša amaterske razine. Protokol se sastojao od predaktivnosti u 3 varijante: 30 sekundi polučučnjeva uz WBV pri 50 ili 30Hz ili polučučnjevi bez WBV-a. Sprint je izveden 1 minutu nakon potencirajuće aktivnosti. Svaki subjekt je proveo sva tri protokola dva puta dnevno na različite dane nasumičnim odabirom. Protokol WBV pri frekvenciji od 50Hz pokazao se značajnim u povećanju brzine izvedbe u odnosu na protokol bez primjene WBV ( $5.48 \pm 0.19$  naspram  $5.52 \pm 0.21$  sekundi,  $p < 0.05$ ). Protokol WBV pri frekvenciji od 30 Hz nije rezultirao statistički značajnim razlikama. Autori ovog rada zaključuju kako se protokol WBV pri frekvenciji od 50Hz pokazao efikasnim u potenciranju izvedbe sprinta na 40 metara u rekreativno treniranih nogometaša te preporučuju primjenu navedenog protokola u trenažnoj praksi (Rønnestad i Ellefsen, 2011). Treba ipak uzeti u obzir da se kao u većini istraživanja radi o rekreativnoj populaciji i da kontrolni protokol nije uključivao primjenu vanjskih opterećenja. WBV tehnologija praktički i onemogućuje primjenu ozbiljnijeg vanjskog opterećenja.

Prethodno spomenuto istraživanje Tsolakisa i sur. (2011) između ostalog se odnosilo i na utjecaj tipa predopterećenja na uvjetovanje PAP-a. Po dvije vježbe za donje i gornje ekstremitete korištene su radi potenciranja eksplozivnih pokreta. Jedna je vježba uključivala izometričke podražaje (3 x 3 sekunde), a druga pliometrijske (3 x 5 ponavljanja). U pojedinim je mjerenjima došlo do statistički značajnog pada nakon primjene izometričkog protokola, dok pliometrijski protokol nije izazvao značajne promjene (Tsolakis i sur., 2011).

Wilson i sur. (2013) u svojoj meta-analizi zaključuju kako nema statistički značajnih razlika između primjene dinamičkih i izometričkih predopterećenja.

Vezano za vrstu naknadne aktivnosti, ponovno će se kao referentno uzeti istraživanje Frencha i sur. (2003). Kao što je prethodno navedeno, u istraživanju je izometričko

predopterećenje u volumenu od 3 x 3 sekunde izazvalo PAP efekte u dubinskim skokovima i opuštanju potkoljenica, ali ne i u sprintu 5 sekundi na biciklergometru i skoku s pripremom. Razlog koji autori navode jest različita brzina mišićne aktivacije. Vježbe u kojima je ispoljena potencijacija, imaju trajanje mišićne aktivacije od  $\leq 0.25$  sekundi, dok u vježbama koje nisu potencirane trajanje iznosi  $\geq 0.25$  sekundi. Stoga autori zaključuju kako se PAP efikasno manifestira u aktivnostima vrlo eksplozivnog karaktera ( $\leq 0.25$  sekundi). Na temelju ovog i drugih relevantnih istraživanja Tillin i Bishop (2009) navode kako postoji mogućnost da specifično predopterećenje neće imati jednak utjecaj na različite eksplozivne aktivnosti.

### 3. KONTRASTNI TRENING

Kontrastni trening pojam je koji mnogi treneri i autori poistovjećuju s nazivom kompleksni trening. Prema Xenofondosu i sur. (2010), kompleksni trening prvi su opisali i istražili Verkhoshansky i Tetyan (1973). Preporučili su primjenu pliometrijskih vježbi ubrzo nakon izvedbe vježbi s utezima kako bi se iskoristila moguća povišena ekscitabilnost središnjeg živčanog sustava. Dotični su autori istraživali učinkovitost 16-tjednog treninga koji je uključivao komplekse parova vježbi kao što su stražnji čučnjevi nakon kojih se izvode skokovi iz čučnja i to redosljedom serija čučnjeva - serija skokova. U njihovom je istraživanju grupa kompleksnog treninga postigla bolje rezultate od ostalih dviju grupa.

Prethodno je spomenuto kako se za opisanu metodu najčešće poistovjećuju termini kontrastni i kompleksni trening/metoda. Duthie i sur. (2002) predložili su jasnu podjelu trenažnih formi u kojima se izmjenjuju velika i mala opterećenja. Tako su termin „kompleksni trening“ definirali kao trenažnu formu u kojoj se prvo odrade sve serije vježbe s velikim opterećenjima nakon čega slijede serije vježbe s manjim opterećenjima. „Kontrastni trening“ opisuju kao formu u kojoj se vježbe s velikim i malim opterećenjima izmjenjuju po principu serija za serijom. Također su definirali i formu prema kojoj veća opterećenja slijede manja te za taj slučaj koristili termin „tradicionalni trening“.

Prema Siffu i Verkhoshanskom (1999) kontrastna metoda spada pod skup reaktivnih metoda za razvoj eksplozivne jakosti. Podvarijante uključuju otpuštanje tereta, izmjenu velikih i malih opterećenja, „stripping“ (skidanje utega), pneumatsku tehnologiju kao i izmjenu statičkih i dinamičkih opterećenja. Pojam kompleksnog trenažnog rada spominju u kontekstu opisa paralelne primjene različitih trenažnih sredstava.

U ovom radu se uglavnom koristio termin kontrastna metoda, osim ukoliko je citiran autor koji je metodu oslovio kao kompleksnu. Dakle, uzima se u obzir da većina autora ove termine koristi kao sinonime.

Istraživanja utjecaja kontrastnog tipa treninga često su uspoređivala efekte kompleksne i kontrastne forme treninga (podjela bazirana na opisu Duthiea i sur., 2002) ili pak primjenu izoliranog pliometrijskog treninga i primjenu kombinacije treninga s utezima i vježbi eksplozivnog karaktera (Duthie i sur., 2002; Rajamohan i sur., 2010.; MacDonald i sur., 2013). Treba uzeti u obzir kako je takav tip istraživanja najčešće proveden s ispitanicima okarakteriziranim kao početnicima ili rekreativcima. Navedeno problematizira transfer zaključaka na populaciju vrhunskih sportaša jer postoje izvjesne razlike u reagiranju grupa

različite razine treniranosti na trenažne stimuluse, pri čemu početnici najčešće značajnije reaguju na podražaje koji elitnim sportašima često nisu suficijentan trenažni podražaj (Siff i Verkoshansky, 1999).

Duthie i sur. (2002) proveli su istraživanje s 11 žena s iskustvom u treningu s utezima. Provodile su tri tipa trenažnih jedinica: tradicionalni pristup - provedba skokova prije čučnjeva, kompleksni trening - serije čučnjeva koje slijede serije skokova i kontrastni trening - serije čučnjeva i skokova po principu serija za serijom. Nisu zabilježene značajne razlike u izvedbi skoka iz čučnja uspoređujući trenažne metode. Značajne razlike uočene su jedino kod izvedbe prve serije skokova. Naime, tijekom izvedbe kompleksnog protokola vršna snaga bila je manja u odnosu na ostale metode. Nadalje, uočena je značajna razlika u izvedbi uspoređujući grupe u odnosu na stupanj jakosti. Grupa s višom razinom jakosti manifestirala je veći napredak u izvedbi u odnosu na grupu s manjom razinom jakosti primjenjujući kontrastnu metodu u usporedbi s tradicionalnom metodom. Autori su zaključili kako je kontrastna metoda efikasna u razvoju ispoljavanja snage, ali jedino za sportaše s višom razinom jakosti (Duthie i sur., 2002).

Rajamohan i sur. (2010) istraživali su razlike između primjene kompleksne i kontrastne metode. Uzorak je činilo 30 mladih sportaša s Odjela za fizičku kulturu i sportske znanosti u dobi od 19 - 21 godine. Podijeljeni su u dvije brojčano podjednake grupe. Grupa 1 provodila je program kompleksnog treninga, a grupa 2 program kontrastnog treninga. Period eksperimentalne provedbe treninga trajao je 3 mjeseca (4 dana/tjedno). Mjereni su parametri jakosti (jakost nogu, leđa, mišićna jakost, mišićna izdržljivost) i parametri snage (eksplozivna jakost u vidu postignute vertikalne i horizontalne udaljenosti). Podaci su registrirani prije i nakon trenažnog perioda i pokazali su kako su veće rezultate postigli sportaši koji su sudjelovali u programu kontrastnog treninga. Rezultati su također pokazali kako program kompleksnog treninga ispoljava manje vrijednosti tijekom izvedbe prve serije skokova iz čučnja u odnosu na tradicionalni i kontrastni trening. Pretpostavka je da je razlog umor nakon izvedbe čučnjeva s velikim opterećenjem (3 serije s 3RM opterećenjem). Zaključak je kako kontrastni trening doprinosi razvoju parametara jakosti i snage (Rajamoan i sur., 2010). Važno je istaknuti kako se i ovdje pokazalo da je važan čimbenik razina treniranosti sportaša.

MacDonald i sur. (2013) također su uspoređivali učinke treninga s utezima, pliometrijskog treninga i njihove kombinacije (kompleksnog treninga). Uzorak su činili 34

rekreativca studentske dobi. Trenirali su jednom od navedenih metoda 2 puta tjedno kroz period od 6 tjedana. Proučavani su efekti na parametre snage i sile reakcije podloge tijekom izvedbe vertikalnih i horizontalnih skokova. Pojedini parametri značajno su poboljšani tijekom 6-tjednog perioda. Međutim, nisu evidentirane statistički značajne razlike među grupama u niti jednom mjerenom parametru u niti jednoj vremenskoj točki mjerenja. Autori su zaključili kako za istraživanu populaciju sve tri metode (trening jakosti, pliometrija, kompleksni trening) daju jednake efekte u periodu od 6 tjedana.

Talpey i sur. (2014) proveli su još jedno u nizu istraživanja koje je usporedilo učinke konvencionalnog, kompleksnog i kontrastnog protokola. Uzorak su također činili sportaši rekreativci. Zanimljivo je što su primijenjene statičke i dinamičke varijante kompleksnih i kontrastnih protokola. Ukupno je, dakle, provedeno 5 različitih protokola: konvencionalni protokol (3 serije po 4 skoka s pripremom (CMJ), pri čemu je između svakog skoka pauza trajala 2 minute), kontrastni dinamički i kontrastni statički protokol (4 ponavljanja s opterećenjem od 5RM ili izometrički čučanj u trajanju od 5 sekundi upareni sa serijama od 4 CMJ-a) te kompleksni dinamički i kompleksni statički protokol (3 serije po 4 ponavljanja s opterećenjem 5RM ili izometrički čučanj u trajanju od 5 sekundi provedeni prije izvedbe 3 serija CMJ-a). U svim kompleksnim protokolima je nakon izvedbe vježbi s utezima slijedilo 4 minute odmora, a 2 minute odmora nakon serije CMJ-a. Mjerena varijabla odnosila se na vršni izlaz snage tijekom izvedbe CMJ-a, i to pojedinačno za svaku seriju i ukupni prosjek. Rezultati su pokazali kako je konvencionalni protokol polučio značajno veći izlaz snage u odnosu na sve ostale protokole osim dinamičkog kompleksnog i statičkog kontrastnog protokola. Autori na temelju rezultata zaključuju kako kompleksni i kontrastni protokoli primijenjeni u njihovom istraživanju ne bi trebali biti korišteni za potencijaciju snage donjih ekstremiteta u rekreativno treniranih sportaša (Talpey i sur., 2014).

## 4. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA

S obzirom da je u prethodnim poglavljima iznesen značajan broj istraživanja o problematici postaktivacijske potencijacije i kontrastne metode na različitim uzorcima (uključujući i nogometaše), u ovom će poglavlju biti izdvojena istraživanja koja se tiču primjene PAP protokola isključivo na populaciji nogometaša.

### 4.1. ISTRAŽIVANJA AKUTNIH EFEKATA - PAP

Rahimi (2007) je usporedio razinu potencijacije sprinta nakon primjene malih, srednjih i velikih predopterećenja. Uzorak je činilo 12 vrhunskih nogometaša. Protokol se sastojao od 2 serije po 4 ponavljanja pri malom (60% 1RM), srednjem (70% 1RM) i velikom opterećenju (85% 1RM) u vježbi čučanj. Istraživanje je provedeno u periodu od 2 tjedna pri čemu su ispitanici navedene protokole (uključujući i kontrolni protokol) provodili nasumičnim odabirom. Četiri minute po završetku protokola, ispitanici su istrčavali sprint od 40 metara. U usporedbi s kontrolnim protokolom sva tri PAP protokola su statistički značajno povećala brzinu izvedbe. Vrijeme izvedbe je najviše smanjeno protokolom s velikim opterećenjima (-2.98%), potom sa srednjim opterećenjima (-1.77%), a najmanje s malim opterećenjima (-1.9%). Statistička obrada pokazala je kako značajna razlika postoji jedino između grupe s malim i grupe s velikim opterećenjima. Autor zaključuje kako PAP protokol može poboljšati izvedbu sprinta na 40 metara, ali kako je nužna primjena dinamičkih opterećenja visokog intenziteta (>80% 1RM).

Till i Cooke (2009) proučavali su akutne efekte 3 različita PAP protokola na izvedbu kratkih sprinteva (10 i 20 metara) i vertikalnih skokova. Sudjelovalo je 12 nogometaša. PAP protokoli su uključivali: vježbu jakosti (5 ponavljanja mrtvog dizanja pri opterećenju 5RM), vježbu eksplozivnosti (5 ponavljanja skokova koljenima na prsa) i izometričku vježbu (3 ponavljanja u trajanju od 3 sekunde MVIC opružanja potkoljenice). U odnosu na kontrolnu skupinu nijedan PAP protokol nije polučio statistički značajne razlike u mjerenim varijablama. Autori su zapazili jedino velike interindividualne razlike (od -7.1% do +8.2%) te stoga zaključuju kako je pri provedbi PAP protokola nužan strogo individualan pristup.

Stieg i sur. (2011) proučavali su mogućnost primjene dubinskih skokova kao predopterećenja za potencijaciju CMJ-a. Uzorak se sastojao od 17 studentica nogometašica. Visina saskoka bila je postavljena na visinu lateralnog kondila, a volumen dubinskih skokova je varirao od 0 - 12 skokova. Odmor nakon predopterećenja trajao je 10 minuta nakon čega su izvedena 3 finalna testiranja CMJ-a. Mjerene varijable odnosile su se na visinu skoka i silu reakcije podloge. Protokol nije polučio pozitivne rezultate, čak je došlo i do statistički značajnog pada visine odraza. Stoga su autori zaključili kako volumen, intenzitet i vrijeme odmora korištenog protokola nije preporučljiv za primjenu u svrhu potencijacije vertikalnih odraza.

Tan i sur. (2013) proučavali su razlike u trajanju intervala odmora između izvedbe CMJ-a nakon potencirajućih podražaja u vidu CMJ-a s opterećenjem od 15% 1RM-a u stražnjem čučnju. Uzorak se sastojao od 29 studenata nogometaša. Deset uzastopnih skokova s opterećenjem je izvedeno nakon čega je slijedila izvedba CMJ-a bez opterećenja 6 puta svakih 2 minute poslije predopterećenja. Statistička analiza pokazala je kako je najbolja izvedba CMJ-a izvedena 4 minute nakon predopterećenja. Autori su stoga zaključili kako je za navedeni protokol upravo taj odmor najprikladniji.

Mola i sur. (2014) uspoređivali su razlike u potencijaciji CMJ-a s obzirom na trajanje oporavka nakon potencirajućeg stimulusa na uzorku od 22 profesionalna nogometaša. Kontrolna skupina je nakon osnovnog zagrijavanja i 10-minutnog odmora izvela skokove u intervalima od 15 sekundi te 4, 8, 12, 16 i 20 minuta poslije odmora. Eksperimentalna skupina je imala isti protokol osnovnog zagrijavanja i odmora, ali je potom svladavala predopterećenje (3RM čučanj) i nakon toga u istim intervalima izvodila skokove. Među grupama nisu evidentirane značajne razlike u parametrima visine odraza i vršne snage. Autori su potom primijetili kako su na individualnoj razini zabilježeni PAP efekti u različitim vremenskim intervalima. S obzirom na neuspjeh protokola u izazivanju značajnih promjena na grupnoj razini, autori zaključuju kako je prije provedbe kompleksnih treninga nužna individualna analiza senzibiliteta i potrebnog oporavka za određeno predopterećenje.



## 4.2. ISTRAŽIVANJA KRONIČNIH EFEKATA - KONTRASTNA METODA

Alves i sur. (2010) su na uzorku od 23 vrhunski mlada nogometaša analizirali učinke primjene *kontrastnog i kompleksnog treninga (CCT)* (koristili su oba pojma za definiranje modaliteta treninga koji Duthie i sur. (2002) nazivaju isključivo kontrastnim treningom). Trenažni period trajao je 6 tjedana, a formirane su tri grupe, jedna kontrolna (KG) i dvije eksperimentalne (EG1 i EG2). EG1 i EG2 su se razlikovale po tjednoj frekvenciji primjene CCT-a, pri čemu je EG1 provodila trening jedanput tjedno, a EG2 dva puta tjedno. CCT trening je u oba slučaja bio uključen u uobičajeni nogometni program treninga. Trening je bio koncipiran na slijedu od tri vježbe: bazična vježba jakosti, bazična eksplozivna vježba i na kraju specifični eksplozivni zadatak. Eksperimentalne grupe značajno su napredovale u varijablama sprint 5 i 15 metara i vertikalni skok. Tjedna frekvencija treninga nije imala presudan utjecaj na rezultate, čak je EG1 grupa u manjoj mjeri postigla veći napredak. Zaključak je bio kako CCT program značajno doprinosi poboljšanju važnih sposobnosti u nogometu, pri čemu tjedna frekvencija rada nema većeg značaja.

García-Pinillos i sur. (2014) provodili su 12-tjedni program kontrastnog treninga s uzorkom od 30 mladih nogometaša (15.9 +/- 1.43 godina) podijeljenih na kontrolnu (n = 13) i eksperimentalnu grupu (n = 17). Eksperimentalna grupa je program provodila 2 puta tjedno unutar uobičajenog tjednog trenažnog režima. Kontrastni program je uključivao kombinaciju jedne izometričke i dvije pliometrijske vježbe, bez vanjskih opterećenja. Volumen vježbi se kroz tjedne povećavao, a referentne varijable, mjerene prije i nakon trenažnog programa, odnosile su se na rezultate u CMJ-u, Balsom testu agilnosti (BAT), sprintu na 5, 10, 20 i 30 metara i nogometnom udarcu. Obje grupe poboljšale su vrijeme sprinta. Eksperimentalna grupa je, za razliku od kontrolne, značajno napredovala i u ostalim testovima (CMJ, BAT, nogometni udarac) (García-Pinillos i sur., 2014). Iako su autori logično zaključili kako primijenjeni kontrastni trening ispoljava značajne promjene u nogometno relevantnim testovima, iz dostupnog sažetka nije moguće zaključiti jesu li promjene izazvane pliometrijskim aspektom treninga ili je upravo kombinacija sadržaja (kontrastni pristup) bila ključni faktor poboljšanja sposobnosti.

Brito i sur. (2014) proučavali su efekte četiri različita modaliteta treninga - trening s utezima, pliometrijski trening, kompleksni trening i kontrolni protokol. Sudjelovalo je 57 nogometaša studentske populacije. Unutar natjecateljskog dijela sezone, trenažni programi

trajali su 9 tjedana, uz dva 20-minutna treninga tjedno. Sve eksperimentalne grupe su u usporedbi s kontrolnom povećale jakost u čučnju, plantarnoj fleksiji i opružanju potkoljenica te brzinu sprinta na 20 metara. Nisu zabilježene značajne promjene u sprintu na 5 metara i testiranjima agilnosti. Nisu zabilježene niti značajne akutne promjene između grupe kompleksnog treninga i grupe treninga s utezima (Brito i sur., 2014).

## 5. METODE RADA

### 5.1. EKSPERIMENTALNI NACRT

U istraživanju su primijenjena dva različita eksperimentalna protokola (protokol s jednom i protokol s više serija potencirajućeg podražaja). Svaki protokol je proveden s eksperimentalnom grupom mlađe (kadeti) ili starije (juniori) kategorije sportaša. Mjerenje grupa provedeno je isti dan u dva različita termina. Testiran je rezultat u Sargent testu, varijanta skoka s pripremom provedena je s kadetima, skok bez pripreme s juniorima. U obje kategorije sve grupe su provodile isti protokol osnovnog zagrijavanja koji se sastojao od 5 minuta dinamičkog istezanja, 2 serije po 5 čučnjeva i 5 sklekova, 30 sekundi poskoka na prednjem dijelu stopala, objašnjavanja tehnike skoka iz čučnja ili skoka s pripremom (ovisno o kategoriji) te 2 - 3 ponavljanja istih s manjim intenzitetom (igračima sugerirano da provedu skokove radi ponavljanja tehnike skoka, procijenjenim intenzitetom od 50%). Potom je slijedio odmor od 2 - 4 minute i provedba inicijalnog testiranja. Eksperimentalna grupa je potom odmarala 4 minute (aktivni odmor - hodanje i lagano istezanje) nakon čega je izvela maksimalne voljne izometričke kontrakcije prije no što je provedeno finalno testiranje (konkretna varijanta protokola i vremenski intervali odmora opisani kasnije). Kontrolna skupina je 6 - 8 minuta nakon osnovnog zagrijavanja izvela samo spontano dinamičko istezanje te potom finalno testiranje. U oba testiranja (inicijalnom i finalnom) izvedena su po 3 pokušaja od kojih je uzet najbolji rezultat.

### 5.2. UZORAK ISPITANIKA

Uzorak ispitanika činilo je 42 nogometaša mlađeg uzrasta. Mlađa kategorija odnosila se na 19 nogometaša kadetskog uzrasta (16.2 godina, 177.6 cm, 69.7 kg), a starija na 23 nogometaša juniorskog uzrasta (17.7 godina, 179.7 cm, 73.4 kg). Kadeti su natjecatelji Prve hrvatske nogometne lige, a juniori Međuregionalne lige Zagreb/Varaždin (u tom trenutku najviše razine na kojoj se juniorska kategorija mogla natjecati). Testiranje je provedeno početkom jesenske natjecateljske polusezone, dakle nakon pripremnog perioda. U vrijeme istraživanja grupe su imale varijabilno iskustvo s treningom jakosti. Osim na pojedinačnoj razini, većina nije imala ozbiljnije iskustvo s treningom maksimalnih i/ili submaksimalnih

opterećenja, iako su juniori bili iskusniji u pogledu treninga mišićne izdržljivosti. Općenito, s obzirom na iskustvo u treningu jakosti, moguće je grupe svrstati u početnike. Svi su bili zdravi i upućeni u način izvedbe testiranja i moguće posljedice. Eksperimentalnoj grupi rečeno je kako o utjecaju predopterećenja na krajnju izvedbu ne postoje precizni podaci i da su mogući ishodi negativan, jednak ili pozitivan utjecaj na visinu skoka. Unutar pojedinih uzrasnih kategorija skupine su grupirane slučajnim odabirom.

### 5.3. UZORAK VARIJABLI

Za svakog ispitanika određena je dob (godine), visina tijela (cm), masa tijela (kg) te inicijalni i finalni rezultat na *Sargent testu*.

Vertikalni skok korišten je u mnogim testiranjima kao mjera eksplozivne jakosti donjih ekstremiteta kako u laboratorijskim uvjetima (primjenom platformi za skakanje) tako i u terenskim uvjetima - Sargent test (da Costa Mendes de Salles i sur, 2012).

Siff i Verkhoshansky (1999) navode 4 osnovna oblika testiranja vertikalnog skoka:

- statički početni položaj uz optimalni kut u zglobu koljena bez zamaha rukama
- statički početni položaj uz optimalni kut u zglobu koljena sa zamahom rukama
- dinamički početak sa optimalnim pregibom u koljenom zglobu bez zamaha rukama
- dinamički početak sa optimalnim pregibom u koljenom zglobu sa zamahom rukama

Najbitnija razlika između prve dvije metode jest isključivo fokusiranje na aktivaciju donjih ekstremiteta u skoku bez prethodnog zamaha rukama, dok u drugoj metodi na rezultat utječe i moment rada rukama. Razlika između statičkog i dinamičkog početka jest što se u dinamičkoj varijanti manifestiraju pliometrijska svojstva, dok se u statičkoj varijanti više manifestira startna jakost. Autori zaključuju kako bi izbor konkretne varijante trebao biti sukladan specifičnim pokretima u konkretnom sportu (Siff i Verkhoshansky, 1999).

Sargent test kao takav osmislio je D. A. Sargent te ga objavio u članku *The physical test of a man* (1921). U toj originalnoj verziji test se provodi na način da se inicijalna vrijednost visine određuje diskom postavljenim iznad glave ispitanika. Ispitanik se potom naginje prema naprijed savijajući se pritom u koljenu, kukovima i gležnju, a nakon toga snažno odražava prema gore uz zamah rukama naprijed i vertikalno. Disk se postavlja sve više prema gore, a najviša točka koju ispitanik može dosegnuti (dodirom glave) uzima se kao

finalna vrijednost skoka. Razlika između finalne i inicijalne visine predstavlja krajnji rezultat (Sargent, 1921). Ovo je skraćeni opis originalne verzije testa koji je kasnije modificiran i primijenjivan u raznim varijantama. Najčešći oblik primjene jest odraz sa zamahom rukama iz statičke ili dinamičke pozicije.

Marković i sur. (2004) istraživali su pouzdanost i faktorsku valjanost niza vertikalnih i horizontalnih testova (Sargent test, Abalakow test sa i bez zamaha rukama, skok iz čučnja (*squat jump*), skok s prethodnom pripremom (*countermovement jump*), skok u dalj i troskok). Rezultati su pokazali kako svi testovi imaju visoku razinu pouzdanosti i valjanosti u dijagnostici eksplozivne jakosti. Cronbachov alfa koeficijent za pouzdanost Sargent testa iznosio je 0.96, a faktorska valjanost 0.80. Dakle, moguće je zaključiti kako je Sargent test pouzdan i valjan indikator eksplozivne jakosti tipa skoka.

U ovom istraživanju primijenjene su dvije različite varijante Sargent testa. Kadeti su testirani s dinamičkom varijantom Sargenta (sa zamahom rukama), a juniori statičkom varijantom (bez zamaha rukama). Razlog tome je utvrđivanje eventualnih razlika u rezultatima testiranja dinamičkom i statičkom varijantom s obzirom na statički oblik predopterećenja. Mjerenje se provelo u zatvorenom klupskom prostoru, s ravne podloge, uz zid na kojem je bio postavljen milimetarski papir. Ispitanici su od zida bili odmaknuti 20-ak cm.

Dohvat se mjerio na milimetarskom papiru pa su ispitanici prije mjerenja dohvata iz statičke pozicije i samih testiranja morali prste namazati crnom gustom kremom što omogućilo da se na papiru precizno očita najviša točka dohvata. Rezultat se očitavao uobičajeno za Sargent test, tj. oduzimala se razlika između visine dohvata nakon skoka od visine dohvata iz statičke pozicije. Navedene postupke obavljali su studenti Kineziološkog fakulteta.

Tablica 1. Popis svih varijabli sa pripadajućom mjernom jedinicom i kraticom varijable

Broj	Naziv varijable	Mjerna jedinica	Kratica varijable
1.	Dob ispitanika	<b>god</b>	<b>DOB</b>
2.	Visina tijela	<b>cm</b>	<b>ALVT</b>
3.	Masa tijela	<b>kg</b>	<b>ALMT</b>
4.	Sargent test - inicijalni rezultat	<b>cm</b>	<b>SARINC</b>
5.	Sargent test - finalni rezultat	<b>cm</b>	<b>SARFIN</b>

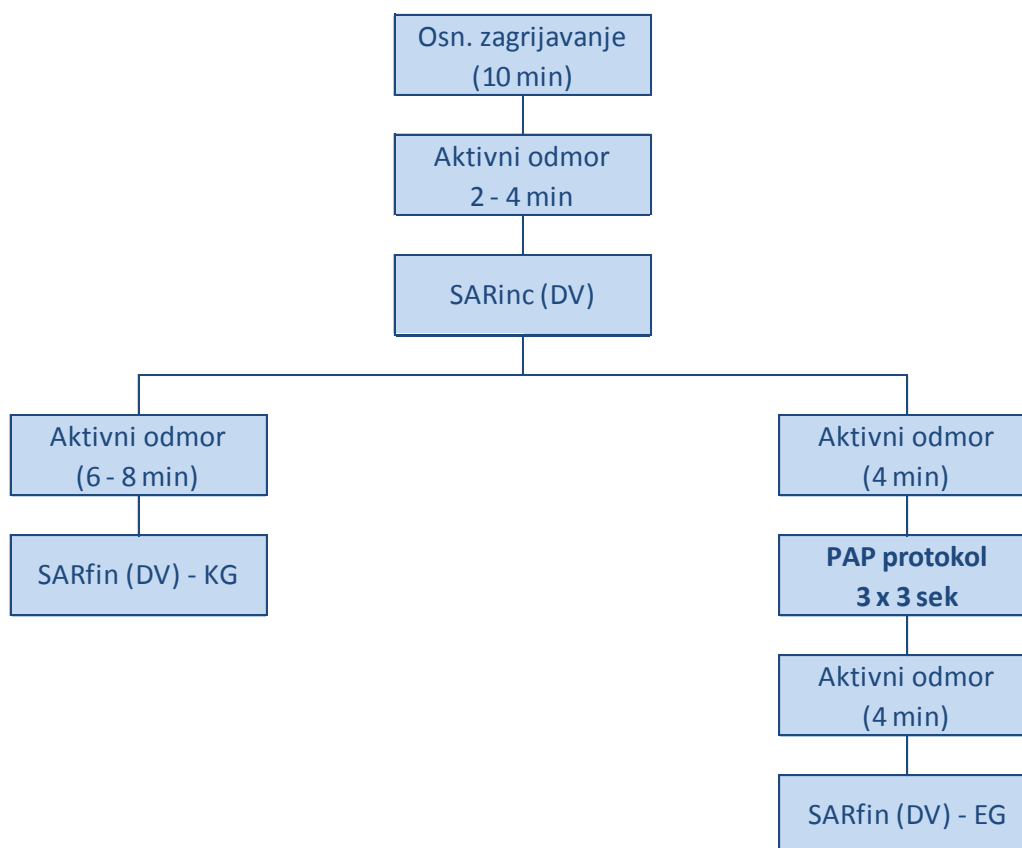
#### 5.4. PROTOKOL TESTIRANJA

Grupe su provodile različite protokole kojima je zajedničko bilo predopterećenje (PO) maksimalnim izometričkim potiskom nogu i naknadni Sargent test. S obzirom na potencijalno jednostavan i ekonomičan način primjene u praksi (Rixon i sur., 2007) za predopterećenje je odabran izometrički potisak nogu o zid. Prema tome, potisak nogu bio je horizontalnog karaktera - ispitanici su ležali na tankoj strunjači, nogama oslonjenim o zid i rukama se pridržavajući o klupu. Od ispitanika je zatraženo da u eksperimentalnim pokušajima snažno potisnu noge o zid zamišljajući da ga trebaju srušiti. Razlike među grupama odnosile su se na trajanje predopterećenja te trajanje odmora i konkretnu varijantu Sargent testa. Nakon prethodno opisanog osnovnog zagrijavanja slijedio je aktivni odmor (hodanje i lagano istezanje) od 2 - 4 minute te provedba inicijalnog testiranja (3 pokušaja, uzeta najveća vrijednost). Potom je slijedio aktivni odmor od 4 minute za eksperimentalnu grupu i 6 - 8 minuta za kontrolnu grupu. Razlika između eksperimentalne (EG) i kontrolne grupe (KG) bila je u tome što je EG nakon aktivnog odmora provela PAP protokol te potom finalno testiranje, a u slučaju KG je nakon inicijalnog testiranja slijedio samo aktivni odmor i finalno testiranje.

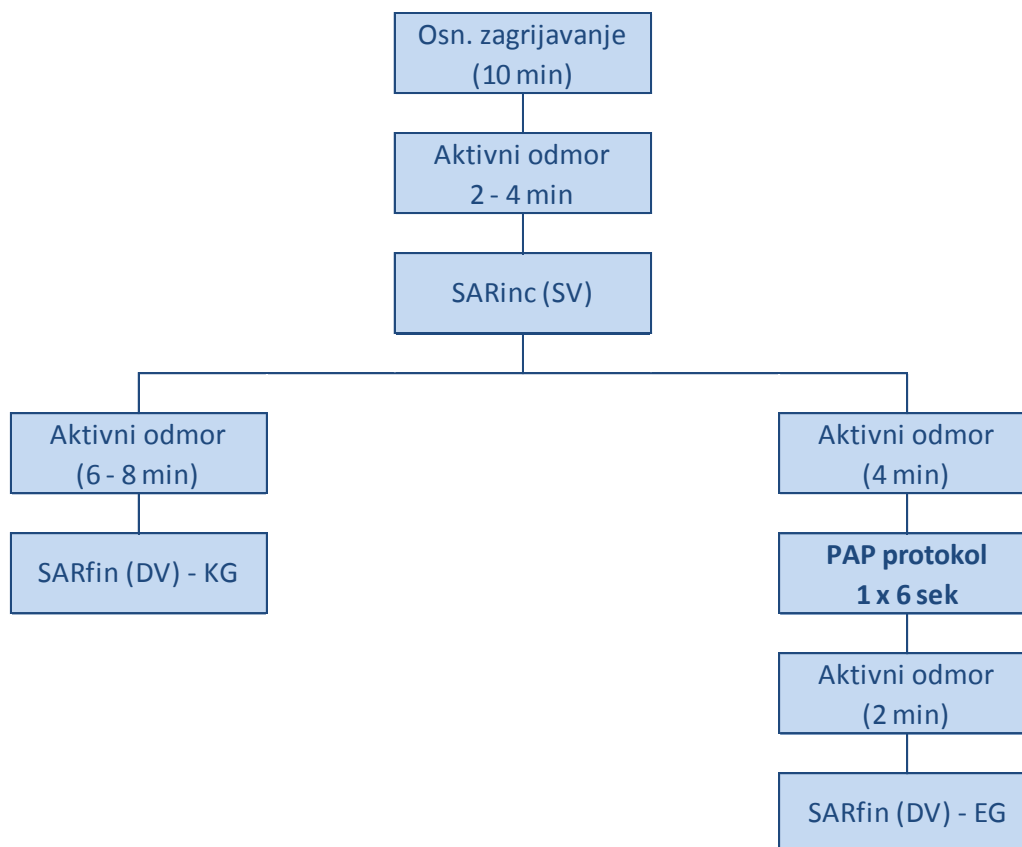
PAP protokol za kadete uključivao je maksimalne voljne izometričke kontrakcije (MVIC) u trajanju od 3 x 3 sekunde (2 minute odmora između ponavljanja). Nakon zadnjeg ponavljanja slijedio je odmor od 4 minute te izvedba 3 pokušaja u dinamičkoj varijanti Sargenta od kojih je najbolji rezultat uzet kao finalna vrijednost.

PAP protokol za juniore uključivao je MVIC od 1 x 6 sekundi. Nakon zadnjeg ponavljanja slijedio je odmor od 2 minute te izvedba 3 pokušaja u statičkoj varijanti Sargenta od kojih je najbolji rezultat uzet kao finalna vrijednost.

Slika 1. Shema protokola testiranja za kontrolnu i eksperimentalnu grupu kadeta (SARinc - inicijalno testiranje Sargent testa; SARfin - finalno testiranje Sargent testa; DV - dinamička varijanta; KG - kontrolna grupa; EG - eksperimentalna grupa; Aktivni odmor - hodanje i lagano istezanje)



Slika 2. Shema protokola testiranja za kontrolnu i eksperimentalnu grupu juniora (SARinc - inicijalno testiranje Sargent testa; SARfin - finalno testiranje Sargent testa; SV - dinamička varijanta; KG - kontrolna grupa; EG - eksperimentalna grupa; Aktivni odmor - hodanje i lagano istežanje)



## 5.5. METODE OBRADE PODATAKA

Registrirani podaci obrađeni su i analizirani računalnim programom Statistica 12.0 na Kineziološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Metode deskriptivne statistike primijenjene su radi utvrđivanja osnovnih statističkih parametara - aritmetičke sredine, minimalne i maksimalne vrijednosti, standardne devijacije, mjera asimetrije i zakrivljenosti (skewness i kurtosis).

Nakon utvrđivanja osnovnih parametara analizirana je statistička značajnost razlika među grupama. *T-test za zavisne uzorke* korišten je radi utvrđivanja statističke značajnosti razlika između inicijalnih i finalnih rezultata pojedinih grupa. *T-test za nezavisne uzorke* primijenio se kako bi se utvrdila značajnost razlika između grupa s kojima je proveden PAP protokol i onih s kojima nije. Standardna pogreška postavljena je na  $p < 0.05$ .



## 6. REZULTATI I RASPRAVA

### 6.1. OSNOVNI DESKRIPTIVNI PARAMETRI

Osnovni deskriptivni parametri (aritmetička sredina, minimalna i maksimalna vrijednost, standardna devijacija, mjere asimetrije i zakrivljenosti - skewness i kurtosis) izračunati su za svaku eksperimentalnu i kontrolnu grupu kadeta i juniora.

Tablica 2. Osnovni deskriptivni parametri za kontrolnu grupu kadeta

Varijable	Valid N	Mean	Minimum	Maximum	Std.Dev.	Skewness	Kurtosis
DOB	10,00	16,02	15,60	16,40	0,25	0,08	-0,75
ALVT	10,00	176,60	168,00	185,00	5,54	0,01	-1,15
ALTT	10,00	68,00	60,00	75,00	5,72	-0,19	-1,60
SARINC	10,00	52,13	43,90	62,30	4,73	0,61	2,40
SARFIN	10,00	52,15	45,40	63,40	4,70	1,44	3,86

Tablica 3. Osnovni deskriptivni parametri za eksperimentalnu grupu kadeta

Varijable	Valid N	Mean	Minimum	Maximum	Std.Dev.	Skewness	Kurtosis
DOB	9,00	16,42	16,30	16,60	0,13	0,35	-1,81
ALVT	9,00	178,67	170,00	186,00	5,20	-0,37	-0,73
ALTT	9,00	71,67	61,00	77,00	5,96	-1,09	-0,17
SARINC	9,00	52,46	44,00	56,80	4,24	-1,14	0,64
SARFIN	9,00	49,86	42,40	54,70	4,63	-0,63	-1,19

Tablica 4. Osnovni deskriptivni parametri za kontrolnu grupu juniora

Varijable	Valid N	Mean	Minimum	Maximum	Std.Dev.	Skewness	Kurtosis
DOB	13,00	17,79	17,10	18,80	0,51	0,81	-0,26
ALVT	13,00	176,92	161,00	194,00	8,21	0,23	1,10
ALTT	13,00	71,23	60,00	83,00	6,95	0,17	-0,84
SARINC	13,00	50,05	45,30	56,30	3,93	0,32	-1,60
SARFIN	13,00	50,16	43,80	57,00	4,78	0,17	-1,57

Tablica 5. Osnovni deskriptivni parametri za eksperimentalnu grupu juniora

Varijable	Valid N	Mean	Minimum	Maximum	Std.Dev.	Skewness	Kurtosis
DOB	10,00	17,67	16,80	18,60	0,53	0,40	0,28
ALVT	10,00	183,30	176,00	196,00	6,73	0,92	0,01
ALTT	10,00	76,20	68,00	89,00	5,88	0,81	1,90
SARINC	10,00	50,63	43,40	56,40	4,11	-0,85	0,34
SARFIN	10,00	50,44	43,40	55,40	3,40	-1,03	1,25

## 6.2. ANALIZA RAZLIKE REZULTATA

Utvrđivanje statističke značajnosti razlike rezultata između pojedinih grupa omogućuje uvid u utjecaj preopterećenja na finalne rezultate testiranja.

Važno je bilo utvrditi razlike između rezultata inicijalnog i finalnog testiranja pojedinih eksperimentalnih grupa (kadeta i juniora), kao i značajnost razlika između rezultata kontrolne i eksperimentalne grupe. Dakle, t-test za zavisne uzorke je korišten u prvom slučaju, a t-test za nezavisne uzorke u drugom. U oba slučaja postavljen je  $p < 0.05$ .

Tablica 6. Statistička značajnost razlika između rezultata finalnog i inicijalnog testiranja kontrolne grupe kadeta

Var.	Mean	Std. Dv.	N	Diff.	Std.Dv. (Diff.)	t	df	p	Confidence (-95,000%)	Confidence (+95,000%)
<b>SAR inc</b>	52,13	4,73								
<b>SAR fin</b>	52,15	4,70	10,00	-0,02	0,91	-0,07	9,00	0,95	-0,67	0,63

Prethodna tablica iskazuje rezultate koji su sukladni očekivanjima, tj. u kontrolnoj grupi nema statistički značajnih razlika između rezultata finalnog i inicijalnog testiranja.

Tablica 7. Statistička značajnost razlika između rezultata finalnog i inicijalnog testiranja eksperimentalne grupe kadeta

Var.	Mean	Std. Dv.	N	Diff.	Std.Dv. (Diff.)	t	df	p	Confidence (-95,000%)	Confidence (+95,000%)
<b>SAR inc</b>	52,46	4,24								
<b>SAR fin</b>	49,86	4,63	9,00	2,60	2,60	3,00	8,00	0,02	0,60	4,60

Tablica 8. Statistička značajnost razlika između rezultata inicijalnih testiranja kontrolne (KG) i eksperimentalne grupe kadeta (EG)

KG vs EG	Mean (KG)	Mean (EG)	t-value	df	p	Valid N (KG)	Valid N (EG)	Std. Dev. (KG)	Std. Dev. (EG)	F-ratio (Variances)	p (Variances)
<b>KGinc vs EGinc</b>	52,13	52,46	-0,16	17,00	0,88	10	9	4,73	4,24	1,25	0,77

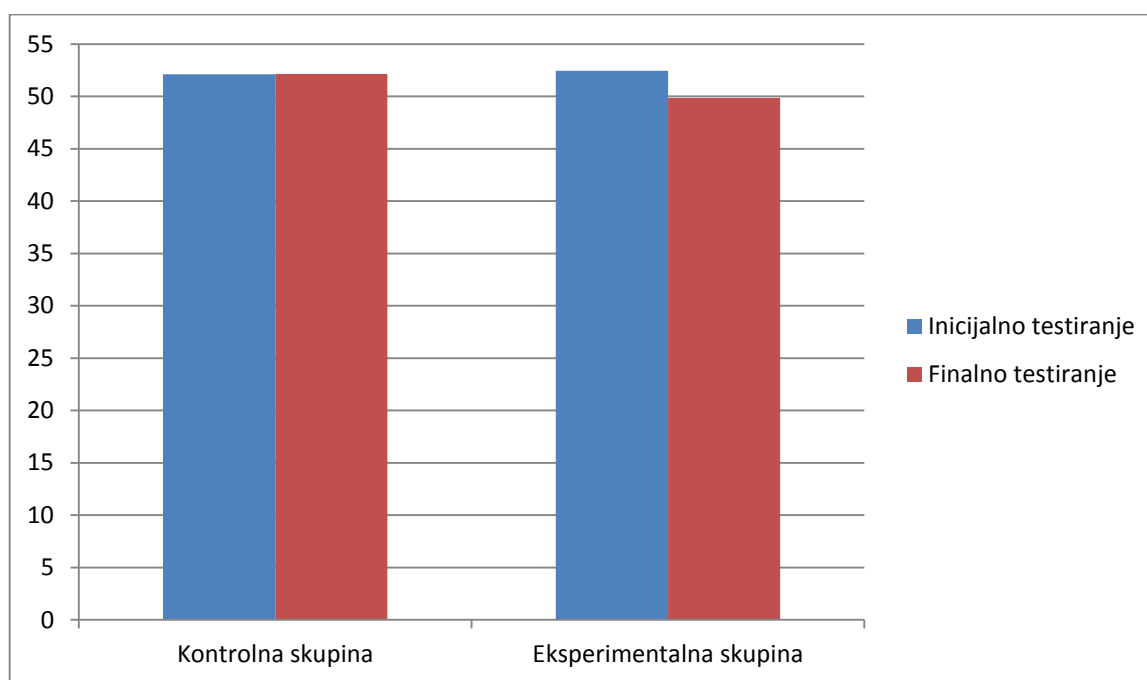
Tablica 9. Statistička značajnost razlika između rezultata finalnih testiranja kontrolne (KG) i eksperimentalne grupe kadeta (EG)

KG vs EG	Mean (KG)	Mean (EG)	t-value	df	p	Valid N (KG)	Valid N (EG)	Std. Dev. (KG)	Std. Dev. (EG)	F-ratio (Varian- ces)	p (Variances)
KGinc vs EGinc	52,15	49,86	1,07	17,00	0,30	10	9	4,70	4,63	1,03	0,98

Iako nisu utvrđene statistički značajne razlike između rezultata kontrolne i eksperimentalne grupe kadeta uspoređujući inicijalna i finalna testiranja (Tablica 8. i Tablica 9.), značajno je istaknuti rezultate u Tablici 7. Naime, rezultati testiranja u eksperimentalnoj grupi nakon PAP protokola statistički su značajno manji u odnosu na rezultate prije primjene PAP protokola, što nije slučaj u kontrolnoj grupi. Moguće je izvesti nekoliko zaključaka. Prvo, konkretni protokol nije bio primjeren za izazivanje PAP efekata. Navedeno se može odnositi na izbor vježbe, trajanje kontrakcija, trajanje odmora između ponavljanja i pauze nakon PAP podražaja, ili intenzitet vježbe. Drugo, testirana grupa ne posjeduje adekvatne karakteristike nužne za postizanje postaktivacijske potencijacije vježbama visokog intenziteta. Smatram kako je uzrok kombinirane naravi, uz dominantan utjecaj nedovoljne jakosti i iskustva kadeta.

Prema tome, na grupi kadeta moguće je zaključiti kako neprimjeren i nesustavno koncipiran kompleks potencirajuće i potencirane vježbe bez uvažavanja individualnih karakteristika konkretnog sportaša, može biti ne samo beznačajan u akutnom poboljšanju eksplozivnih performansi, već i negativno utjecati na izvedbu eksplozivnih pokreta.

Slika 3. Grafikon inicijalnih i finalnih vrijednosti Sargent testa u grupi kadeta (rezultati su izraženi u cm)



Slijedi prikaz tablica s rezultatima i analiziranim razlikama unutar i između grupa juniora. Bitno je istaknuti kako usprkos starijoj dobi, juniori kao grupa nisu bili u fazi naprednog treninga jakosti. Protokol, opisan ranije, razlikovao se po izvedbi predopterećenja unutar jedne serije (1 x 6 sekundi) te izvedbi Sargenta iz statičke pozicije.

Tablica 10. Statistička značajnost razlika između rezultata finalnog i inicijalnog testiranja kontrolne grupe juniora

Var.	Mean	Std. Dv.	N	Diff.	Std.Dv. (Diff.)	t	df	p	Confidence (-95,000%)	Confidence (+95,000%)
<b>SAR inc</b>	50,05	3,93								
<b>SAR fin</b>	50,16	4,78	13,00	-0,11	1,89	-0,21	12,00	0,84	-1,25	1,04

Tablica 11. Statistička značajnost razlika između rezultata finalnog i inicijalnog testiranja eksperimentalne grupe juniora

Var.	Mean	Std. Dv.	N	Diff.	Std.Dv. (Diff.)	t	df	p	Confidence (-95,000%)	Confidence (+95,000%)
<b>SAR inc</b>	50,63	4,11								
<b>SAR fin</b>	50,44	3,40	10,00	0,19	1,62	0,37	9,00	0,72	-0,97	1,35

Tablica 12. Statistička značajnost razlika između rezultata inicijalnih testiranja kontrolne (KG) i eksperimentalne grupe juniora (EG)

KG vs EG	Mean (KG)	Mean (EG)	t-value	df	p	Valid N (KG)	Valid N (EG)	Std. Dev. (KG)	Std. Dev. (EG)	F-ratio (Variances)	p (Variances)
<b>KGinc vs EGinc</b>	50,05	50,63	-0,34	21,00	0,74	13,00	10,00	3,93	4,11	1,09	0,87

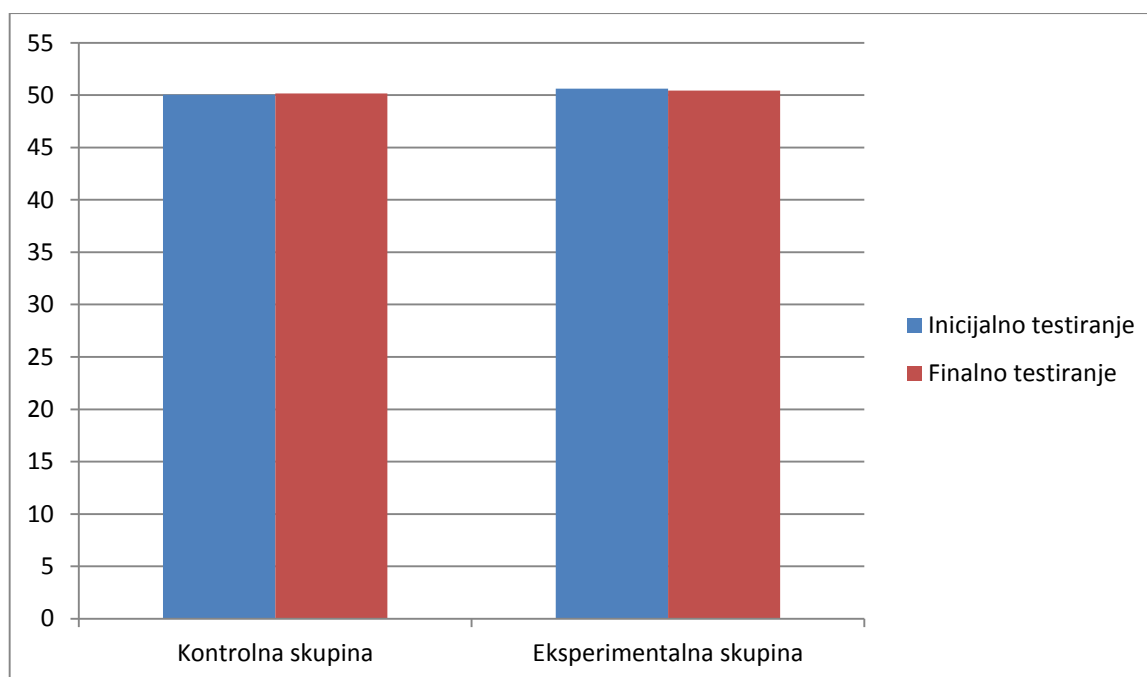
Tablica 13. Statistička značajnost razlika između rezultata finalnih testiranja kontrolne (KG) i eksperimentalne grupe juniora (EG)

KG vs EG	Mean (KG)	Mean (EG)	t-value	df	p	Valid N (KG)	Valid N (EG)	Std. Dev. (KG)	Std. Dev. (EG)	F-ratio (Variances)	p (Variances)
<b>KGinc vs EGinc</b>	50,16	50,44	-0,16	21,00	0,88	13,00	10,00	4,78	3,40	1,97	0,31

Evidentno je kako niti u grupi juniora nije postignuto značajno poboljšanje rezultata primjenom izometričkog predopterećenja. Najbitnija razlika u odnosu na kadete jest u činjenici da predopterećenje nije izazvalo pad sposobnosti, ali s obzirom da je svrha predopterećenja potencijacija efekata, ovi rezultati ne idu u prilog primjeni istraživanog protokola u trenažnoj praksi. Slično kao i kod kadeta, pitanje uzroka je složeno i tiče se karakteristika protokola i svojstava ispitanika.

Usprkos tome, neuspjeh ovog protokola također upozorava na činjenicu da je primjena kompleksnih podražaja složena problematika i kako je nužan individualan pristup u konstruiranju i odabiru niza parametara kako bi eventualna primjena ove metode bila ekonomična i efikasna.

Slika 4. Grafikon inicijalnih i finalnih vrijednosti u grupi juniora (rezultati su izraženi u cm)



## 7. ZAKLJUČAK

Primjena kontrastnih podražaja složena je problematika, a fiziološki temelj nalazi u fenomenu postaktivacijske potencijacije (PAP). Upravo je taj fenomen uzrok složenosti s obzirom na nepotpuno objašnjene mehanizme. Ipak, niz je pretpostavljenih i argumentiranih faktora uvjetovanja PAP-a. Tillin i Bishop (2009) ističu fosforilaciju regulatornih lakih lanaca miozina, povećanu aktivaciju motoričkih jedinica višeg reda i promjene u kutu usmjerenosti mišićnih vlakana kao glavne čimbenike.

Kontrastni trening metoda je razvoja eksplozivne jakosti koja uključuje izmjenu vježbi velikog i malog opterećenja. Potencijacija eksplozivnih pokreta dokazan je fenomen, ali je učinkovita primjena uvjetovana preciznim odabirom niza parametara kao što su sadržaj, intenzitet i trajanje vježbe. Osim parametara protokola/kompleksa vježbi nužno je uzeti u obzir individualna svojstva sportaša. Tako se u većini istraživanja pokazalo da se u osoba manje mišićne jakosti, manje razine treniranosti, manjeg omjera brzih mišićnih vlakana i većeg omjera snaga-jakost manifestira niža razina PAP efekata (Tillin i Bishop, 2009).

Uvjetovanje PAP efekata u populaciji mlađih sportaša, kao što je i opći slučaj, nije jasno determinirano u vidu preciznog odabira parametara podražaja. Istraživanja pokazuju oprečne rezultate.

U ovom radu cilj je bio istražiti dva PAP protokola (3 x 3 sek i 1 x 6 sek) na dvije različite grupe mlađih vrhunskih nogometaša (kadeti i juniori) u svrhu moguće primjene u trenažnoj praksi. Oba protokola bila su neuspješna u izazivanju PAP efekata. U slučaju kadeta primjena izometričkih predopterećenja rezultirala je čak i statistički značajnim padom eksplozivne jakosti mjerene Sargent testom.

Dobiveni rezultati potvrđuju kako su ishodi primjene kontrastnih podražaja uvjetovani složenim mehanizmima i kako nije moguće bezuvjetno očekivati potencijaciju eksplozivnih pokreta. Posebice u radu s mlađim sportašima, u ovom slučaju nogometašima, nužan je individualan pristup i realna analiza eventualnog senzibiliteta na određeni PAP protokol. Uzimajući u obzir dosadašnje spoznaje o faktorima uvjetovanja PAP efekata i rezultate ovog istraživanja, može se zaključiti kako bi trenažni proces u mlađim kategorijama trebao biti fokusiran na stabilan napredak prvenstveno primjenom bazičnih metoda. Primjena kontrastnih podražaja, unutar precizno i racionalno koncipiranih kompleksa vježbi, rezervirana je prvenstveno za napredne faze sportskog razvoja.



## 8. LITERATURA

1. Alves, J. M. V. M., Rebelo, A. N., Abrantes, C. i Sampaio, J. (2010). Short-term effects of complex and contrast training in soccer players' vertical jump, sprint, and agility abilities. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24, 4, 936 - 941.
2. Arabatzi, F., Patikas, D., Zafeiridis, A., Giavroudis, K., Kannas, T., Gourgoulis, V., Kotzamanidis, C. M. (2014). The post-activation potentiation effect on squat jump performance: age and sex effect. *Pediatric exercise science*, 26, 2, 187 - 94.
3. Batista, M. A., Roschel, H., Barroso, R., Ugrinowitsch, C. i Tricoli, V. (2011). Influence of strength training background on postactivation potentiation response. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25, 9, 2496 - 2502.
4. 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. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24, 9, 2285 - 2289.
5. Brito, J., Vasconcellos, F., Oliveira, J., Krstrup, P., Rebelo, A. (2014). Short-Term Performance Effects of Three Different Low-Volume Strength-Training Programmes in College Male Soccer Players. *Journal of Human Kinetics*, 40, 121 - 128.
6. Chatzopoulos, D. E., Michailidis, C. J., Giannakos, A. K., Alexiou, K. C., Patikas, D. A., Antonopoulos, C. B., Kotzamanidis, C. M. (2007). Postactivation potentiation effects after heavy resistance exercise on running speed. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21, 4, 1278 - 1281.
7. Chiu, L. Z., Fry, A. C., Weiss, L. W., Schilling, B. K., Brown, L. E., Smith, S. L. (2003). Postactivation Potentiation Response in Athletic and Recreationally Trained Individuals. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17, 4, 671 - 677.
8. De Salles, P. G. C. M., Vasconcellos, F. V. A., de Salles, G. F. C. M., Fonseca, R. T., Dantas, E. H. M. (2012). Validity and Reproducibility of the Sargent Jump Test in the Assessment of Explosive Strength in Soccer Players. *Journal of Human Kinetics*, 33, 115 - 21.
9. Duthie, G. M., Young, W. B., Aitken, D. A. (2002). The acute effects of heavy loads on jump squat performance an evaluation of the complex and contrast methods of power development. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 16, 4, 530 - 538.
10. Ebben, W. P. (2002). Complex training: A brieg review. *Journal of Sports Science and Medicine*, 1, 42 - 46.

11. French, D., Kramer, W. J. i Cooke, C. B. (2003). Changes in Dynamic Exercise Performance Following a Sequence of Preconditioning Isometric Muscle Actions. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17, 4, 678 - 685.
12. García-Pinillos, F., Martínez-Amat, A.; Hita-Contreras, F., Martínez-López, E. J., Latorre-Román, P. A. (2014). Effects of a contrast training program without external load on vertical jump, kicking speed, sprint and agility of young soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28, 9, 2452 - 2460.
13. Gullich, A. i Schmidtbleicher, D. (1996). MVC-induced short-term potentiation of explosive force. *New studies in athletics*, 11, 4, 67 - 81.
14. Gourgoulis, V., Aggeloussis, N., Kasimatis, P., Mavromatis, G., Garas, A. (2003). Effect of a submaximal half-squats warm-up program on vertical jumping ability. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17, 2, 342 - 344.
15. Hamada, T., Sale, D. G., Macdougall, J. D. i Tarnopolsky, M. A. (2000). Postactivation potentiation, fiber type, and twitch contraction time in human knee extensor muscles. *Journal of Applied Physiology*, 88, 6, 2131-2137.
16. Hodgson, M., Docherty, D., Robbins, D. (2005). Post-activation potentiation: underlying physiology and implications for motor performance. *Sports Medicine*, 35, 7, 585 - 595.
17. Jukić, I., Milanović, D., Marković, G., Šimek, S. (2004). Pretvarajući podražaji u kondicijskoj pripremi. *Kondicijski trening*, 2, 44 - 53.
18. Latash, M. L. (1998). *Neurophysiological Basis of Movement*. Champaign: Human Kinetics.
19. 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. *Journal of Neurophysiology*, 49, 1, 269 - 289.
20. MacDonald, C. J., Lamont, H. S., Garner, J. C., Jackson, K. (2013). A comparison of the effects of six weeks of traditional resistance training, plyometric training, and complex training on measures of power. *Journal of Trainology*, 2, 13 - 18.
21. Marković, G. i Bradić, A. (2008). *Nogomet: integralni kondicijski trening*. Zagreb: Tjelesno vježbanje i zdravlje.
22. Marković, G., Dizdar, D., Jukić, I. i Cardinale, M. (2004). Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18, 3, 551-555.

23. Marković, G. i Peruško, M. (2003). Metodičke osnove razvoja snage. U Milanović, D. i Jukić, I. (ur.), Zbornik radova „Kondicijska priprema sportaša“, Zagreb, 2003. (187 - 194). Zagreb: Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagrebački športski savez.
24. Mahlfeld, K., Franke, J., Awiszus, F. (2004). Postcontraction changes of muscle architecture in human quadriceps muscle. *Muscle & Nerve*, 29, 4, 597 - 600.
25. Mola, J. N., Bruce-Low, S. S., Burnet, S. J. (2014). Optimal Recovery Time for Postactivation Potentiation in Professional Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28, 6, 1529 - 1537.
26. Palmieri, R. M., Ingersoll, C. D., Hoffman, M. A. (2004). The hoffmann reflex: methodologic considerations and applications for use in sports medicine and athletic training research. *Journal of Athletic Training*, 39, 3, 268 - 277.
27. Paasuke, M., Erclinc, J., Gapcycva, H. (1998). Twitch potentiation capacity of plantar flexor muscles in endurance and power athletes. *Biology of Sport*, 15, 3, 171 178.
28. Rahimi (2007). The acute effect of heavy versus light-load squats on sprint performance. *Physical Education and Sport*, 5, 2, 163 - 169.
29. Rajamohan, G., Kanagasabai, P., Krishnaswamy, S., Balakrishnan, A. (2010). Effect of complex and contrast resistance and plyometric training on selected strength and power parameters. *Journal of Experimental Sciences*, 1, 12, 1 - 12.
30. Rassier, D. E. i MacIntosch, B. R. (2000). Coexistence of potentiation and fatigue in skeletal muscle. *Brasilian Journal of Medical and Biological Research*, 33, 5, 499 - 508.
31. Requena, B., Gapeyeva, H., García, I., Erelina, J., Paasuke, M. (2008). Twitch potentiation after voluntary versus electrically induced isometric contractions in human knee extensor muscles. *European journal of applied physiology*, 104, 3, 463 - 472.
32. Requena, B., Saez-Saez de Villarreal, E., Gapeyeva, H., Erelina, J., Garcia, I. i Paasuke, M. (2011). Relationship between postactivation potentiation of knee extensor muscles, sprinting and vertical jumping performance in professional soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25, 2, 367 - 373.
33. Rixon, K. P., Lamont, H. S., Bemben, M. G. (2007). Influence of type of muscle contraction, gender, and lifting experience on postactivation potentiation performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21, 2, 500 - 505.
34. Rønnestad, B. R. i Ellefsen, S. (2011). The effects of adding different whole-body vibration frequencies to preconditioning exercise on subsequent sprint performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25, 12, 3306 - 3310.

35. Sale, D. G. (2002). Postactivation potentiation: role in human performance. *Exercise and sport sciences review*, 30, 3, 138 - 43.
36. Sargent, D. A. (1921). The physical test of a man. *American physical education review*, 26, 4, 188 - 194.
37. Siff, M. C. i Verkhoshansky, Y. V. (1999). *Supertraining*. Denver: Supertraining International.
38. Schneiker, K., Billaut, F., Bishop, D. (2006). The effects of preloading using heavy resistance exercise on acute power output during lower-body complex training. U Hoppeler, H., Reilly, T., Tsolakidis, E., Gfeller, L., Klossner, S. (ur.), *Zbornik radova „Book of Abstracts of the 11th Annual Congress“*, Lausanne, 2006. (89). Lausanne: European College of Sports Science.
39. Stieg, J. L., Faulkinbury, K. J., Tran, T. T., Brown, L. E., Coburn, J. W. i Judelson, D. A. (2011). Acute effects of depth jump volume on vertical jump performance in collegiate women soccer players. *Kinesiology*, 43, 1, 25 - 30.
40. Talpey, S. W., Young, W. B. i Saunders, N. (2014). The acute effects of conventional, complex, and contrast protocols on lower-body power. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28, 2, 361 -366.
41. Tan, I. J. L., Cua, M. H., Pagaduan, J. C., Pojskić, H., Užičanin, E. i Babajić, F. (2013). The influence of rest intervals on countermovement jump performances following low-intensity loaded countermovement jumps. *Kinesiologia Slovenica*, 19, 2, 28 - 35.
42. Tillin, N. A. i Bishop, D. (2009). Factors modulating post-activation potentiation and its effect on performance of subsequent explosive activities. *Sports Medicine*, 39, 2, 147 - 166.
43. Tsolakis, C., Bogdanis, G. C., Nikolaou, A. i Zacharogiannis, E. (2011). Influence of type of muscle contraction and gender on postactivation potentiation of upper and lower limb explosive performance in elite fencers. *Journal of sports science and medicine*, 10, 3, 577 - 583.
44. Vandervoort, A. A., Quinlan, J., McComas, A. J. (1983). Twitch potentiation after voluntary contraction. *Experimental neurology*, 81, 1, 141 - 152.
45. Verkhoshansky, Y. V. i Tetyan, V. (1973). Speed-strength preparation of future champions. *Logkaya Atletika*, 2, 2-13.
46. Wilson, J. M., Duncan, N. M., Marin, P. J., Brown, L. E., Loenneke, J. P., Wilson, S. M., Jo, E., Lowery, R. P. i Ugrinowitsch, C. (2013). Meta-analysis of postactivation potentiation and power: effects of conditioning activity, volume, gender, rest periods, and training status. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27, 3, 854 - 859.

47. Xenofondos, A., Lapidis, K., Kyranoudis, A., Galazoulas, Ch., Bassa, E., Kotzamanidis, C. Post-activation potentiation: factors affecting it and the effect on performance. *Journal of Physical Education and Sport*, 28, 3, 32 - 38.