

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

KINEZIOLOŠKI FAKULTET

(studij za stjecanje visoke stručne spreme

i stručnog naziva: magistar kineziologije)

Dora Vajdić

**TREND PROMJENA REZULTATA U
TESTOVIMA SKOK S PRIPREMOM I
SKOK BEZ PRIPREME U
NOGOMETAŠA MLAĐIH DOBNIH
KATEGORIJA**

(diplomski rad)

Mentor:

doc.dr.sc. Luka Milanović

Zagreb, rujan 2017.

TREND PROMJENA REZULTATA U TESTOVIMA SKOK S PRIPREMOM I SKOK BEZ PRIPREME U NOGOMETAŠA MLAĐIH DOBNIH KATEGORIJA

Sažetak

Cilj ovog rada bio je utvrditi promjene u odnosima rezultata u testovima skok bez pripreme i skok sa pripremom unutar različitih dobnih skupina nogometaša. Uzorak se sastojao od četiri skupine ispitanika - mlađi pioniri (11.6 godina, 154.1 cm, 44.2 kg), pioniri (13.5 godina, 169.76 cm, 57.7 kg), kadeti (15.5 godina, 177.4 cm, 67.9 kg) i juniori (17.3 godina, 178.7 cm, 70.2 kg). Mjereni su im rezultati u skoku bez pripreme (engl. Squat Jump - SJ) zatim i u skoku s pripremom (engl. Countermovement Jump - CMJ) te su promatrani odnosi između tih skokova, gdje je očekivano da će skok s pripremom dati bolje rezultate, zbog iskorištavanja ciklusa istežanja i skraćivanja (engl. Stretch-shortening cycle - SSC). Također, očekivano je kako će skupina juniora pokazati najveću razliku između dva skoka zbog višeg stupnja sazrijevanja. Rezultati istraživanja potvrdili su hipotezu te je utvrđeno postojanje statistički značajne razlike između SJ i CMJ samo u skupini juniora, što je potvrdilo i izračunavanje pokazatelja sposobnosti iskorištavanja SSC-a, koje je također dalo najveći postotak razlike između dva skoka u toj skupini. Na kraju, može se zaključiti kako postoji trend porasta u vrijednostima testova vertikalne skočnosti u nogometaša mlađih dobnih kategorija sličnog iskustva u treningu jakosti i pliometrije/eksplozivne jakosti, gdje stariji pokazuju veće rezultate i bolju sposobnost iskorištavanja SSC-a od mlađih, što se može prepisati višem stupnju sazrijevanja.

Ključne riječi: ciklus istežanja i skraćivanja, pliometrija, eksplozivna jakost, mladi sportaši, skok s pripremom, skok bez pripreme, rast i razvoj

TREND OF RESULT CHANGES IN SQUAT JUMP AND COUNTERMOVEMENT JUMP IN YOUNG SOCCER PLAYERS

Abstract

The goal of the present thesis was to determine changes in relation of squat jump and countermovement jump in different age groups of young soccer players. The sample included four different age groups of young soccer players – U12 (11.6 years, 154.1 cm, 44.2 kg), U14 (13.5 years, 169.76 cm, 57.7 kg), U16 (15.5 years, 177.4 cm, 67.9 kg) and U18 (17.3 years, 178.7 cm, 70.2 kg). The groups got tested in squat jump and countermovement jump, and the relation of the two jumps was observed. It was expected that the countermovement jump will give higher scores because of the use of the stretch shortening cycle and also that the U18 group will show the biggest difference in the two tests performed because of their maturation level. Results of the experiment confirmed the hypothesis and showed the existence of statistical significant change between CMJ and SJ only in the U18 group, as well as the calculation of the measure of stretch-shortening ability which showed the biggest percentage of difference between two tests in the same group. Hence, the conclusion is that there is a trend of increase in results in vertical jump height tests in young soccer players of different age groups that have a similar experience in strength and plyometric type of training, where the older show higher scores and better stretch-shortening cycle ability than the younger ones, possibly because of their maturation level.

Key words: stretch-shoretning cycle, plyometrics, explosive strength, youth athletes, countermovement jump, squat jump, maturation

SADRŽAJ

1. UVOD	5
2. PLIOMETRIJA	7
2.1. Ciklus istežanja i skraćivanja (SSC).....	7
2.1.1. Fiziološka osnova SSC-a	7
2.1.2. Mehanička osnova SSC-a	8
2.1.3. Neurofiziološka osnova SSC-a	9
2.1.4. Brzi i spori SSC	10
2.2. Načini procjene sposobnosti iskorištavanja SSC-a	10
2.2.1. Odnos skoka s pripremom i skoka bez pripreme	10
2.2.2. Pokazatelji sposobnosti iskorištavanja SSC-a.....	11
3. METODE RADA.....	12
a. Ispitanici	12
b. Varijable	12
c. Protokol	13
d. Statistička obrada podataka	14
4. REZULTATI.....	15
4.1. Osnovni deskriptivni parametri	15
4.2. Analiza razlike rezultata	17
4.3. Analiza PSA pokazatelja	18
5. RASPRAVA I ZAKLJUČAK	20
6. LITERATURA	23

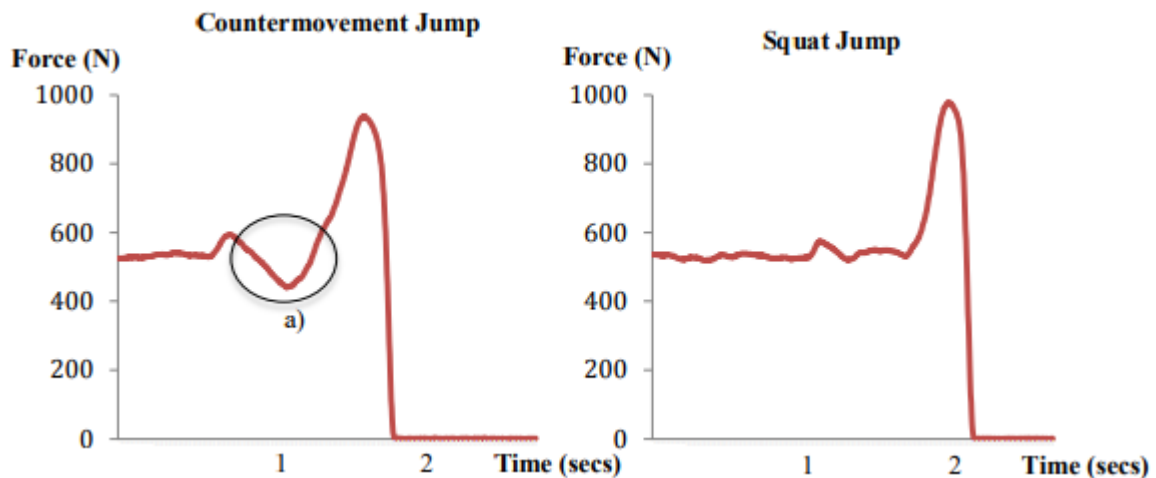
1. UVOD

Prema strukturi pokreta nogomet spada u skupinu kompleksnih sportova, a njegovu kompleksnost izražava visoka razina tehničko-taktičkih i kondicijskih sposobnosti, od kojih, uz izdržljivost, brzinu i agilnost, veliku ulogu imaju jakost, snaga i eksplozivnost. Eksplozivna snaga kao takva je jedna od odrednica uspjeha u svim aktivnostima koje zahtijevaju razvoj maksimalne mišićne sile u najkraćem mogućem vremenu (Kraemer i Newton, 1994.). Uz brze promjene pravca kretanja, driblinge, sprinteve na kraćim i dužim dionicama koji spadaju u skupinu horizontalnih kretnji, primjer brzinsko-eksplozivnih kretnji vertikalnog tipa daju eksplozivni sunožni i jednonožni odrazi. Pliometrijski sadržaji kao što su vertikalni skokovi i poskoci također mogu biti i koristan alat za povećanje eksplozivnosti i jakosti donjih ekstremiteta (Ebben, 2005; McNeely, 2005; Jezdimirović i sur., 2013).

Suvremeni kondicijski trening teži individualizaciji potreba svakog sportaša prema njegovim vlastitim karakteristikama i statusu treniranosti radi maksimiziranja njegovih potencijala i ostvarivanja vrhunskih rezultata. Prvi korak u tom smjeru je dijagnostika stanja treniranosti koja nam daje inicijalne podatke o stupnju razvijenosti pojedinih sposobnosti kako bi se pravilno i sigurno usmjerio sam trenažni proces te kako bi se smanjila mogućnost ozljede. U okviru testiranja eksplozivne snage tipa skoka, neki od najčešće korištenih testova su skok bez pripreme (engl. Squat jump - SJ), skok s pripremom (engl. Countermovement jump - CMJ), Sargent test, Alabakow test sa zamahom i bez zamaha ruku. Među njima, testovi SJ i CMJ pokazali su najveću pouzdanost i valjanost pri procjeni eksplozivne snage nogu kod fizički aktivnih muškaraca (Marković i sur., 2004).

Postoji više odrednica koje utječu na sportaševu sposobnost vertikalnog skoka. Neke od njih su maksimalna jakost, brzina razvoja maksimalne sile (engl. Rate of force development - RFD), sposobnost iskorištavanja ciklusa istežanja i skraćivanja (engl. Stretch-shortening cycle - SSC), sposobnost proizvodnje sile velikim brzinama (engl. High-velocity force production), maksimalna mehanička snaga (engl. Maximal mechanical power) te skakačka vještina i mišićna koordinacija (Kraemer i Newton, 1994). Ovaj se rad pretežito usmjerava na istraživanje odnosa visine skoka bez pripreme (SJ) i skoka s pripremom (CMJ) koji objašnjava razinu sposobnosti iskorištavanja SSC-a kod mladih sportaša. SJ predstavlja vertikalni skok gdje ne postoji pomak u suprotnom smjeru (engl. Countermovement), već se pokret vrši koncentričnom kontrakcijom, dok pri CMJ postoji pokret suprotnog smjera ekscentričnog tipa kojeg odmah slijedi

koncentrična reakcija i to podrazumijeva ekscentrično-koncentričnu kontrakciju (postojanje SSC-a).



Slika 1. Odnos sile reakcije podloge i vremena. Prvi prikaz govori o CMJ, a drugi o SJ. Vidljivo je kako kod CMJ-a postoji malen trenutak gdje dolazi do pada sile/ spuštanja u čučanj (zaokruženo na slici) dok kod SJ-a to nije slučaj (Sahrom i sur., 2013)

Rađen je velik broj istraživanja na temu SSC-a kod odraslih sportaša, no zaključci tih radova možda se ne mogu primijeniti na mlađu populaciju sportaša. Poznato je da mlađi sportaši u pretpubertetu i pubertetu tek dosežu punu zrelost, pa tako i stupanj razvijenosti mišića, tetiva i/ili refleksa te razinu potencijacije (Sahrom, 2013).

Cilj ovog rada je analizirati odnos rezultata u testovima SJ i CMJ unutar četiri grupe ispitanika različitih dobnih kategorija te pokušati provjeriti postoji li trend promjena tih rezultata i koji su za to potencijalni razlozi. Također, svrha je i ispitati sposobnost mladih nogometaša da iskoriste ciklus istežanja i skraćivanja (engl. Stretch-shortening cycle ability) te time dati uvid u stanje treniranosti mladih nogometaša te usmjeriti kondicijski trening prema razvoju određenih sposobnosti na temelju zaključenog.

Iz navedenog kao ključne pojmove moguće je navesti ciklus istežanja i skraćivanja i pliometriju, te će oni biti detaljnije objašnjeni u nastavku teksta, kao i neka dosadašnja istraživanja na tu temu.

2. PLIOMETRIJA

Fenomen ciklusa istezanja i skraćivanja tema je mnogih znanstvenih istraživanja. On se može definirati kao ciklus brze mišićne ekscentrične kontrakcije s prelaskom u eksplozivnu koncentričnu kontrakciju (Winkelman, 2011). Ovo poglavlje bavit će se detaljnije objašnjavanjem pliometrije kao pojma, samim ciklusom istezanja i skraćivanja te načinima procjene sposobnosti iskorištavanja ciklusa istezanja i skraćivanja (engl. Stretch shortening cycle ability - SSC).

2.1. Ciklus istezanja i skraćivanja (SSC)

Pliometrija je jedna od najčešće korištenih metoda treninga za razvoj eksplozivne jakosti, pogotovo vertikalne skočnosti (Marković i Mikulić, 2010). Njene korijene postavio je Yuri Verkhoshanski, ruski atletski trener, pod imenom „šok metoda“, dok joj je današnji naziv dao Fred Wilt. Ta metoda koristi brze i eksplozivne aktivnosti poput sprinta, skoka, izbačaja i udarca kako bi se povećala sposobnost razvoja što veće sile u što kraćem vremenu. Mehanizam koji stoji u pozadini te metode je ciklus istezanja i skraćivanja. Prilikom svakodnevnog hoda, mišić kvadriceps pri kontaktu prolazi kroz ekscentričnu kontrakciju, zatim kroz kratku izometričku kontrakciju i na kraju brzo prelazi u koncentričnu kontrakciju. Cjelokupni ciklus koji uključuje predaktivaciju mišića omogućuje pohranu elastične energije koja se oslobađa prelaskom u koncentričnu kontrakciju i na taj način omogućuje veće ispoljavanje sile pokreta (Fleck i Kraemer, 2014; Bosco i sur., 1987.).

2.1.1. Fiziološka osnova SSC-a

Mehanizam mišićne kontrakcije skeletnih mišića voljni je proces. Razlikujemo više vrsta mišićnih kontrakcija: izometrička (gdje se dužina napregnutog mišića ne mijenja, a napetost raste jer su mišićna sila i vanjska sila u ravnoteži) i izotonička kontrakcija (dolazi do pokreta a tonus se ne mijenja). Izotonička kontrakcija dalje se dijeli ovisno o tome je li mišićna sila veća od vanjske sile, pa se mišić skraćuje (koncentrična kontrakcija) ili je vanjska sila veća od mišićne, zbog čega se mišić izdužuje (ekscentrična kontrakcija) (Padulo i sur., 2013; Hill, 1925). Kao što je ranije navedeno, SSC počinje brzim istezanjem napetog mišića (ekscentrična kontrakcija) kojeg slijedi brzo skraćivanje istog mišića (koncentrična kontrakcija) (Bosco i sur. 1982). Poznato je da koncentrična i izometrička kontrakcija proizvode manju silu nego ekscentrična, dok će koncentrična faza „pliometrijske“ kontrakcije proizvoditi najveću silu

(zbog brze ekscentrične kontrakcije koja joj prethodi). Prema Jamurtas i sur. (2000) prilikom ekscentrične kontrakcije razvija se i veća mišićna bol i pomaci u razini kreatin kinaze u krvi nego kod koncentrične kontrakcije. Nadalje, ista studija govori kako ne postoji značajna razlika u percepciji mišićne boli nakon pliometrijskog i ekscentričnog treninga, ali je zapažena veća razina boli nego kod treninga koncentričnih kontrakcija. Razvoj veće sile kroz SSC kao posljedicu ima i veće mikroskopsko oštećenje vlakana (Schwane i Armstrong, 1983). Iz tog razloga studija Jamurtasa i sur. iz 2000. predlaže početnicima sudjelovanje u treningu pliometrije manjeg volumena radi prilagodbe, a iskusnim vježbačima da koriste novi trening pliometrije radi smanjenja percepcije mišićne boli i razine kreatin kinaze.

2.1.2. Mehanička osnova SSC-a

Literatura danas spominje postojanje trokomponentnog modela mišića koji se sastoji od kontraktilne komponente (mišićna vlakna - aktin i miozin - CC), elastične komponente koja se pruža u serijama s kontraktilnom komponentom (engl. Series elastic component – SEC) te paralelne elastične nekontraktilne komponente koja leži paralelno uz mišićna vlakna (engl. Parallel elastic component - PEC) (Bosco i Komi, 1979). SEC predstavljaju strukture koje se pružaju u liniji s mišićnim vlaknima, dakle poprečni mostovi (engl. Cross bridges), građivni proteini i tetive, dok se PEC sastoji od mišićnog vezivnog tkiva (endomisium, perimisium, ektomisium) (Sahrom, 2013). U ekscentričnoj pred-istezajućoj fazi pliometrijske aktivnosti dolazi do istežanja mišićnog vretena na prijelazu iz tetive u mišić te istežanja nekontraktilnog tkiva unutar mišića. Stimulacija tih komponenti mišića, zajedno sa kontraktilnom, često se naziva neurofiziološki-biomehanički odgovor (Marković i Mikulić, 2010). Dakle, zbog mehaničkog svojstva SEC-a koje nalikuje opruzi dolazi do pohrane energije u fazi istežanja i većeg ispoljavanja sile u fazi skraćivanja (Marković i Mikulić, 2010). Elastična energija može biti pohranjena u tetivama, drugom vezivnom tkivu, kao i u miozinskim poprečnim mostovima (Fleck i Kraemer, 2014, Biewer i Roberts, 2000). Adaptacija u mišićnom ili vezivnom tkivu može se proizvesti treningom tako da se pohranjuju, a potom i upotrebljavaju veće količine elastične energije, što ukazuje na promjene u krutosti mišića uslijed pliometrijskog treninga (Fleck i Kraemer, 2014; Cornu, Almeida Silveira, Goubel 1997; Hunter i Marshall, 2002). Prema Fleck i Kraemer, 2004., veće ispoljavanje sile ovisi i o neuralnom refleksu na predaktivaciju čime se aktivira veći broj mišićnih vlakana, te se mišićna vlakna aktiviraju u kraćem vremenu. Također, studije govore kako se s povećanjem brzine istežanja mišića te smanjenjem vremena potrebnog za prijelaz između ekscentrične u koncentričnu kontrakciju

dodatno može povećati proizvodnja sile u koncentričnoj fazi (Wilson i sur. 1991). Prema Komi i Gollhofer (1997), efektivni ciklus skraćivanja i istežanja sastoji se od pravovremene predaktivacije mišića, kratke i brze ekscentrične akcije te najbrže mogućeg prijelaza iz ekscentrične u koncentričnu kontrakciju. Komi i Gollhofer (1997) također spominju refleks istežanja kao faktor koji ima utjecaj na sposobnost iskorištavanja ciklusa istežanja i skraćivanja.

2.1.3. Neurofiziološka osnova SSC-a

Golgijev tetivni aparat i mišićno vreteno su neuroreceptori smješteni u zglobovima i ligamentima (Davies, Riemann i Manske, 2015). Njihove funkcije su suprotne, kao i njihova podražljivost. Mišićno vreteno građeno je od intrafuzalnih vlakana i odgovara na podražaj brzine istežanja mišića, što je brzina veća, to je odgovor veći – mišić se više skрати kako bi se zaštitio od pretjeranog istežanja i oštećenja. Takav mehanizam naziva se miotatički refleks. Golgijev tetivni organ nalazi se na krajevima ektrafuzalnih vlakana te reagira na napetost mišića tako da potencira negativnu povratnu spregu koja onemogućuje razvoj prevelike mišićne napetosti. Eksplozivni pliometrijski sadržaji mogu poboljšati učinkovitost neurona kroz unaprjeđenje neuromuskularne koordinacije (Marković i Mikulić, 2015). Može se zaključiti kako je cilj pliometrijskog treninga upravo povećanje podražljivosti neuroloških receptora kako bi se dobio brži odgovor živčanog sustava, a pritom smanjila osjetljivost Golgijevog tetivnog aparata (Davies, Riemann i Manske, 2015). Također, razna istraživanja potvrđuju kako se za izvedbu akcija velike brzine i sile angažiraju pretežito brza mišićna vlakna, tipa IIa i IIb (Twist i Eston, 2005; Macaluso i sur., 2012). Prema Hennemanovom principu veličine, prilikom izvedbe određene vježbe ili pokreta, mišići će slijediti uvijek isti redosljed paljenja: spora oksidirajuća vlakna, brza oksidirajuća vlakna tipa a te zatim vlakna tipa b. Ovisno o vanjskoj sili koju mišićna vlakna moraju svladati, pali se određeni broj motoričkih jedinica, frekvencija tih signala se povećava te se sinkronizira rad agonista i antagonista. Pliometrijski trening omogućava povezivanje svih ovih funkcija te zapravo omogućava smanjenje latentnog vremena između aktivacije mišića i njegovog odgovora kroz proizvodnju sile (Davies, Riemann i Manske, 2015). Također, istraživanja pokazuju i mogućnost promjene principa veličine kroničnom adaptacijom na trening pliometrije u smjeru brže aktivacije brzih vlakana tipa b.

„Plyometric training is appropriate for virtually any sport if properly applied in the context of the sport.“ (Gambetta, 2006. Athletic Development: The Art & Science of Functional Sports Conditioning: 220*)

2.1.4. Brzi i spori SSC

Pliometrijski trening pokazuje povećanje od 8.7% i 7.5% kod skoka s pripremom bez i sa zamahom ruku (Marković, 2007), dok su skokovi s kraćim vremenom kontakta na podlozi (poput drop jump-a) povećali vrijednosti za 4.7%. Takvi podaci, iako ih se treba uzeti s rezervom, ukazuju da skokovi mjere različite sposobnosti te da trening pliometrije ima veći utjecaj na razvoj SSC-a dužeg trajanja (Fleck i Kraemer, 2014; Hennessy i Kilty, 2001). Brzi SSC podrazumijeva ekscentrično-koncentričnu akciju gdje kontakt s podlogom traje manje od 250 milisekundi. Primjer takvog tipa SSC-a je već navedeni drop jump i kontakt s podlogom kod sprinta. Spori SSC obuhvaća kontakt s podlogom dulji od 250 milisekundi, kao na primjeru skoka s pripremom ili servisa u tenisu.

2.2. Načini procjene sposobnosti iskorištavanja SSC-a

2.2.1. Odnos skoka s pripremom i skoka bez pripreme

Različiti pristupi su korišteni kako bi se procijenio učinak SSC-a i njegov odnos sa sportskom izvedbom (Bosco i sur., 1983). U te svrhe najčešće se koristi odnos rezultata u testovima CMJ i SJ. Prema Van Hooren, Zolotarjeva 2017., skok bez pripreme i skok s pripremom su često upotrebljavani testovi kojima se utvrđuje razina sportske izvedbe u polju kondicijske pripreme. Skok bez pripreme izvodi se tako da se ispitanik spusti u poziciju počućnja i zadrži tu poziciju par sekundi prije odraza. Odras se izvodi istovremeno s obje noge maksimalnim intenzitetom, a ruke se tijekom cijele izvedbe nalaze na kukovima. Pri doskoku, obje noge istovremeno dolaze u kontakt s podlogom. Za razliku od skoka bez pripreme, skok s pripremom izvodi se tako da se pokret inicira iz početne uspravne pozicije tako da se spušta u položaj počućnja te se nastoji čim brže, bez pauze, odraziti što više u zrak. Doskok se ne razlikuje od onog kod skoka bez pripreme, ruke su također prilikom cjelokupne izvedbe na kukovima. Različiti su mehanizmi koji stoje u pozadini ovih pokreta. SJ daje informacije o sposobnosti brzog razvoja sile kroz koncentrični pokret, dok CMJ procjenjuje sposobnost brzog razvoja sile kroz SSC. SJ ne koristi mehanizam SSC-a jer mu ne prethodi predaktivacija te iz tog razloga proizvodi i manje visine skoka (Fleck i Kraemer, 2014). Odnos ta dva tipa vertikalnog skoka često je proučavan. Istraživanja podupiru razlog primjene pohranjene elastične energije tijekom ciklusa istezanja i skraćivanja (Fleck i Kraemer, 2014; Biewener i Roberts, 2000; Bosco i sur., 1987; Bosco, Tarkka i Komi, 1982; Farley i sur., 1991). Bosco i

sur. (1987) su procijenili da elastična energija može pridonijeti od 20 do 30% razlici između skoka s pripremom i skoka bez pripreme. Prema Sahrom (2013), u inicijalnoj ekscentričnoj fazi CMJ-a aktivna je kontraktilna komponenta, dok se SEC i PEC izdužuju i tako pohranjuju elastičnu energiju. U koncentričnoj kontrakciji koja slijedi, zajedno sa silama proizvedenim kontraktilnom komponentom oslobađa se elastična energija. Veličina vraćene energije proporcionalna je primijenjenoj sili i izazvanoj deformaciji s povratom energije od 65 do 85% u ljudskim tetivama (Bennett i sur., 1986; Pollock i Shadwick, 1994; Davies, Riemann i Manske, 2015). Kod SJ-a, gdje se položaj čučnja zadržava dulje od četiri sekunde prije koncentrične faze, uloga SEC-a i PEC-a se minimizira, primarno zbog raspršenosti elastične energije kroz toplinsku energiju (Wilson i Flanagan, 2008; Sahrom, 2013).

2.2.2. Pokazatelji sposobnosti iskorištavanja SSC-a

Studije u kojima su se koristili CMJ i SJ za procjenu sposobnosti iskorištavanja SSC-a pokazuju da je CMJ davao 18 do 30% bolje rezultate od SJ-a (Sahrom, 2013.; Bobbert i sur., 1996.; Komi i Bosco, 1978). Sposobnost iskorištavanja SSC-a može se izračunati na četiri načina: direktnom usporedbom (visina CMJ – visina SJ); putem indeksa reaktivne jakosti (engl. Reactive strength index – RSI) koji predstavlja omjer visine skoka i vremena; putem porasta predistezanjem (engl. Pre-stretch augmentation - PSA) koji se računa formulom $[(CMJ - SJ)/SJ \times 100]$ te putem omjera iskorištavanja ekscentrije (engl. Eccentric utilisation ratio – EUR) koji predstavlja vrijednost dobivenu dijeljenjem CMJ sa SJ (Harrison i Moroney, 2007; Komi i Bosco, 1978; McGuigan i sur., 2006; Walshe i Wilson, 1997; Young, 1995, Sahrom, 2013; Tufano i sur., 2013). Ovaj rad pretežito se usmjerava na izračun PSA pokazatelja koji daje informacije o porastu u izvedbi radi faze predistezanja. Također, navodi se kako se PSA koristi radi praćenja adaptacije na trening kroz sportsku sezonu (McGuigan i sur., 2006) te da je povezan s poboljšanjem izvedbe, prevencijom ozljeda te mehanizmima umora (Kubo i sur., 2007). Prema Walshe, Wilson i Murphy (1995), PSA pokazatelj je izražen kao povećanje postotka izvedbe u odnosu na SJ. Ova metoda izračuna odabrana je i zato što je praktična za svakodnevnu uporabu te je lako razumljiva (Suchomel i sur., 2016).

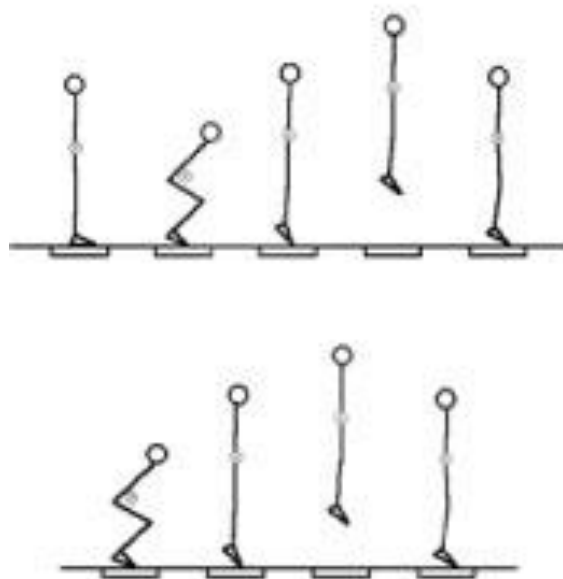
3. METODE RADA

3.1. Ispitanici

Uzorak ispitanika sastojao se od 75 nogometaša mlađih dobnih kategorija, podijeljenih u četiri grupe. Njih 19 pripadalo je skupini juniora/ U-18 (17.3 godina, 178.7 cm, 70.2 kg), 13 skupini kadeta/ U-16 (15.5 godina, 177.4 cm, 67.9 kg), 22 skupini pionira/ U-14 (13.5 godina, 169.76 cm, 57.7 kg) i 21 skupini mlađih pionira/ U-12 (11.6 godina, 154.1 cm, 44.2 kg). Juniori i kadeti natječu se u Prvoj nogometnoj ligi Središte, a pioniri i mlađi pioniri u Prvoj zagrebačkoj nogometnoj ligi. Testiranje je provedeno netom prije početka natjecateljske sezone, dakle nakon pripremnog perioda. Sve grupe ispitanika imaju varijabilno iskustvo u treningu jakosti i pliometrije. Svi ispitanici bili su zdravi i pripremljeni za testiranje te su upoznati s protokolom i načinom provođenja istraživanja. Također, bili su obaviješteni o mogućim posljedicama i rizicima protokola.

3.2. Varijable

Varijable koje su korištene u ovom istraživanju su test skoka bez pripreme (engl. Squat jump) i test skoka s pripremom (engl. Countermovement jump). Testovi skok bez pripreme i skok s pripremom mjereni su Opto Jump sustavom. Opto Jump (Microgate, Engineering, Bolzano, Italija) mjerni je instrument korišten za dijagnostiku sportaševu izvedbe i fizičke spremnosti koji procjenjuje sportaševu sposobnost horizontalnog i vertikalnog ispoljavanja sile. Neki od testova koji se mogu provoditi ovim sustavom su skok bez pripreme, skok bez pripreme sa teretom (engl. Squat jump with weights), skok s pripremom, skok s pripremom i zamahom ruku (engl. Countermovement jump free arms), skokovi iz stopala (engl. Stiffness) i propadajući skok (engl. Drop jump). Konkretno u ovome radu, Opto Jump se koristio u svrhu procjene vertikalne komponentne razvoja sile, tj. eksplozivne jakosti donjih ekstremiteta. U oba testa procijenjena je visina skoka.



Slika 2. Skok s pripremom (gornja slika) i skok bez pripreme (donja slika) (Linthorne, 2001)

Razlika između statičkog (skok bez pripreme) i dinamičkog (skok a pripremom) 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; Pudja, 2015). Prema Van Hooren, Zolotarjeva 2017., skok bez pripreme i skok s pripremom su često upotrebljavani testovi kojima se utvrđuje razina sportske izvedbe u polju kondicijske pripreme. Skok bez pripreme izvodi se tako da se ispitanik spusti u poziciju počučnja i zadrži tu poziciju par sekundi prije odraza. Odraz se izvodi istovremeno s obje noge maksimalnim intenzitetom a ruke se tijekom cijele izvedbe nalaze na kukovima. Pri doskoku, obje noge istovremeno dolaze u kontakt s podlogom. Za razliku od skoka bez pripreme, skok s pripremom izvodi se tako da se pokret inicira iz početne uspravne pozicije tako da se spušta u položaj počučnja te se nastoji čim brže, bez pauze, odraziti što više u zrak. Doskok se ne razlikuje od onog kod skoka bez pripreme, ruke su također prilikom cjelokupne izvedbe na kukovima. Testovi su se proveli tri ponavljanja s pauzom od 20 sekundi između ponavljanja.

3.3. Protokol

Grupe ispitanika testirane su u razdoblju jednog tjedna, prije regularnog nogometnog treninga tog dana. Protokol je uključivao kratki uvodno-pripremni dio koji se sastojao od miofascijalnog opuštanja regija koje su najviše opterećene testiranjem, zatim kratkog rada na

mobilnosti kroz dinamičko istežanje i stabilnosti kroz aktivaciju dubokih mišića trupa i zdjelice te za kraj, par pripremnih vježbi skokova i poskoka. Sustav Opto Jump i njegove fotoelektrične ćelije namještene su na ravnoj tvrdoj podlozi, s razmakom od jednog metra. Prilikom testiranja, svakom ispitaniku objašnjen je sam protokol i demonstriran svaki skok zasebno. Test je izvodio tako da se ispitanik stao u početni položaj unutar područja omeđenog sustavom te je na znak mjeritelja („Pripremi, kreni!“) izveo zadatak. Prilikom izvođenja testova naglašeno je kako ruke moraju cijelo vrijeme biti oslonjene na kukove. Svaki test ponavljan je tri puta s pauzom od 20 sekundi između skokova. U daljnju analizu uzet je najbolji rezultat (najviši skok, izraženo u centimetrima) u oba skoka. Valjanost Opto Jump sustava testirana je putem platforme za mjerenje sile i pokazala je visoki pozitivni rezultat (intraklasni korelacijski koeficijent 0.997-0.998). Također, visoka razina pouzdanosti provjerena je korištenjem intraklasnog koeficijenta korelacije i koeficijenta varijacije (Glatthorn i sur., 2001). Opto Jump sustav izračunava visinu skoka putem mjerenja vremena leta (Linthorne, 2001).

3.4. Statistička obrada podataka

Statistička analiza provedena je putem računalnog programa Statistica 12.0 (StatSoft., Inc., Tulsa, OK, USA). Izračunati su osnovni deskriptivni statistički pokazatelji za svaku skupinu ispitanika (aritmetička sredina, minimum, maksimum te standardna devijacija). Nakon toga, proveden je t-test za nezavisne uzorke unutar svake skupine kako bi se utvrdila statistička značajnost razlike u visini skoka bez pripreme i skoka s pripremom. Dobiveni rezultati smatrani su statistički značajnima pri $p < 0.05$. Također, nakon statističke obrade izračunati su pokazatelji sposobnosti iskorištavanja ciklusa istežanja i skraćivanja (engl. Percentage of Pre-stretch Augmentation – PSA) putem formule $[(CMJ - SJ) / SJ \times 100]$ kako bi se поближе utvrdila sposobnost iskorištavanja predistežanja na visinu skoka.

4. REZULTATI

4.1. Osnovni deskriptivni parametri

Rezultati provedene osnovne deskriptivne statistike prikazani su u tablicama 1-4. Prikazani podaci u minimalnim i maksimalnim vrijednostima prikazuju veliku varijaciju raspona rezultata u oba skoka u svim skupinama ispitanika. Standardna devijacija skokova najveća je u kod kadeta, što ukazuje na najveću raspršenost rezultata upravo u toj skupini ispitanika.

Tablica 1. Osnovni deskriptivni pokazatelji u grupi juniora

Juniori	n	AS	SD	Min	Max
TV	19	178,77	5,55	170,00	190,00
TM	19	70,24	4,82	63,00	79,00
DOB	19	17,36	0,49	17,00	18,00
CMJ	19	37,22	3,97	31,00	48,00
SJ	19	33,69	3,76	28,00	44,60

Tablica 2. Osnovni deskriptivni pokazatelji u grupi kadeta

Kadeti	n	AS	SD	Min	Max
TV	13	177,48	8,72	57,10	83,60
TM	13	67,97	7,33	167,80	191,40
DOB	13	15,53	0,51	15,00	16,00
CMJ	13	31,94	6,26	23,00	44,70
SJ	13	30,55	6,10	20,40	41,70

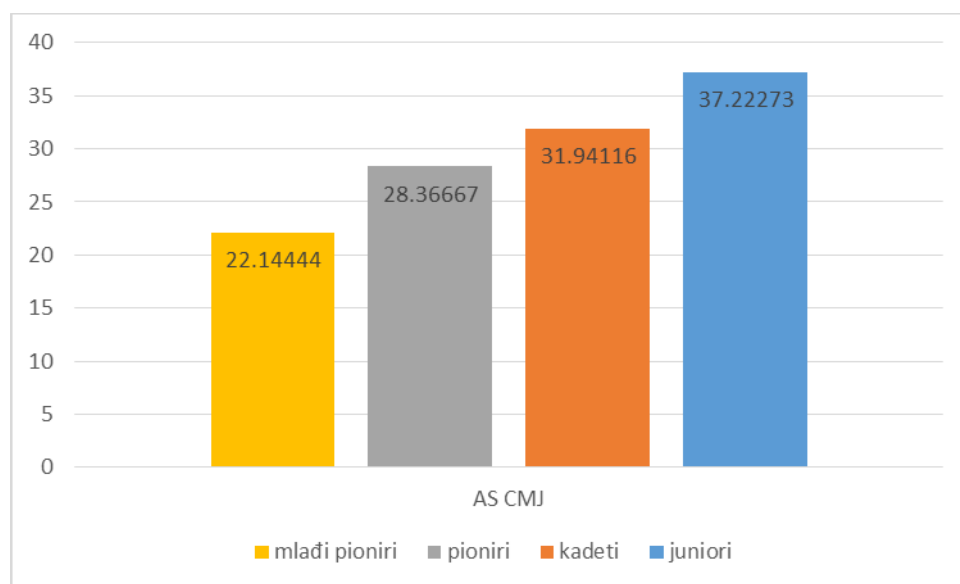
Tablica 3. Osnovni deskriptivni pokazatelji u grupi pionira

Pioniri	n	AS	SD	Min	Max
TV	22	169,76	8,10	151,50	183,00
TM	22	57,70	7,86	36,70	71,50
DOB	22	13,50	0,51	13,00	14,00
CMJ	22	28,36	5,15	20,30	37,20
SJ	22	26,32	4,47	17,30	33,80

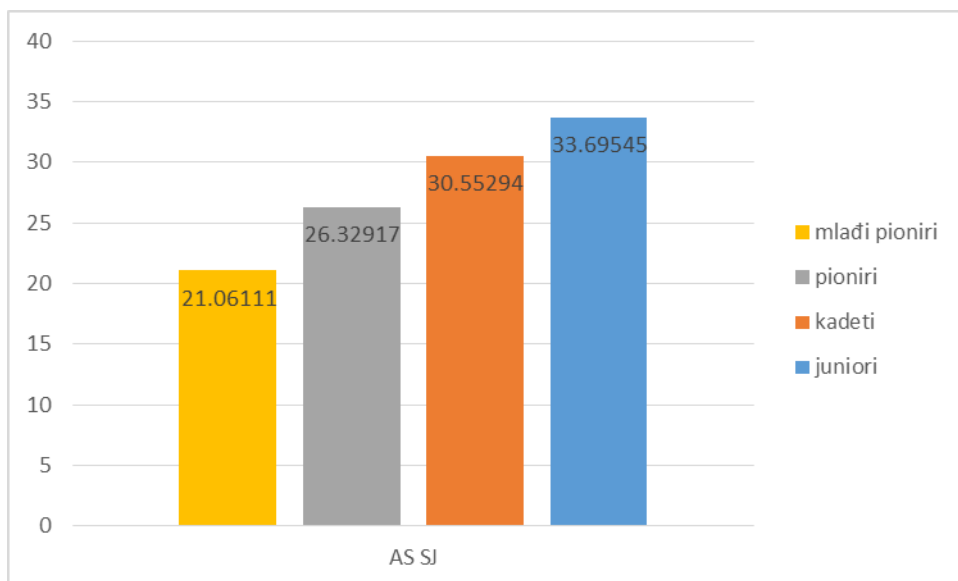
Tablica 4. Osnovni deskriptivni pokazatelji u grupi mlađih pionira

Mlađi pioniri	n	AS	SD	Min	Max
TV	21	154,09	9,76	140,50	173,50
TM	21	44,24	9,34	32,50	64,20
DOB	21	11,66	0,48	11	12
CMJ	21	22,14	3,27	17,2	28,6
SJ	21	21,06	3,65	15,6	27,3

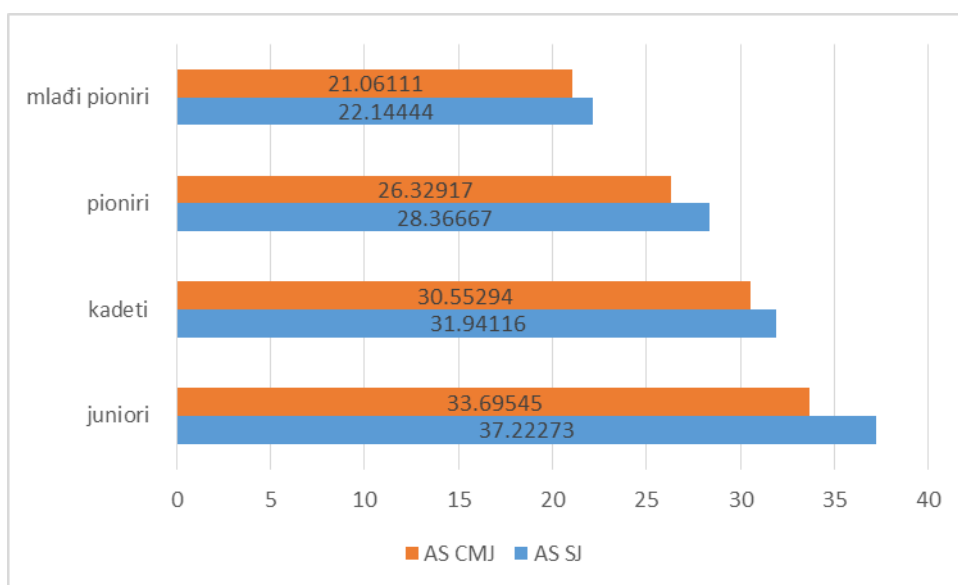
Slike 3 i 4 prikazuju kretanje aritmetičkih sredina rezultata u testovima CMJ i SJ. Vidljiv je linearni porast rezultata, gledajući od mlađih pionira prema juniorima, u oba testa. Na slici 5 prikazan odnos rezultata u testovima CMJ i SJ u svakoj skupini ispitanika.



Slika 3. Grafikon trenda kretanja rezultata u testu CMJ



Slika 4. Grafikon trenda kretanja rezultata u testu SJ



Slika 5. Odnos rezultata u testovima CMJ i SJ unutar svake skupine ispitanika

4.2. Analiza razlike rezultata

Utvrđivanje statističke značajnosti razlika između skokova unutar svake skupine ispitanika omogućuje uvid u razinu sposobnosti iskorištavanja ciklusa istežanja i skraćivanja. Statistička obrada pokazala je statistički značajnu razliku CMJ-a i SJ-a samo unutar skupine

juniora ($p=0.004$), dok ostale skupine ne pokazuju značajnu razliku. Slijede prikazi tablica s rezultatima unutar svake od skupina ispitanika.

Tablica 5. Statistička značajnost razlika između CMJ i SJ u skupini juniora

CMJ vs SJ	mean CMJ	mean SJ	t-value	df	p	valid N CMJ	valid N SJ	st.dev CMJ	st.dev SJ	F-ratio Variance s	p Variance s
juniori	37.22273	33.69545	3.02166	42	0.004269	19	19	3.975752	3.764556	1.115349	0.804819

Tablica 6. Statistička značajnost razlika između CMJ i SJ u skupini kadeta

CMJ vs SJ	mean CMJ	mean SJ	t-value	df	p	valid N CMJ	valid N SJ	st.dev CMJ	st.dev SJ	F-ratio Variance s	p Variance s
kadeti	31.94116	30.55294	0.654248	32	0.517627	13	13	6.26429	6.107282	1.052077	0.92038

Tablica 7. Statistička značajnost razlika između CMJ i SJ u skupini pionira

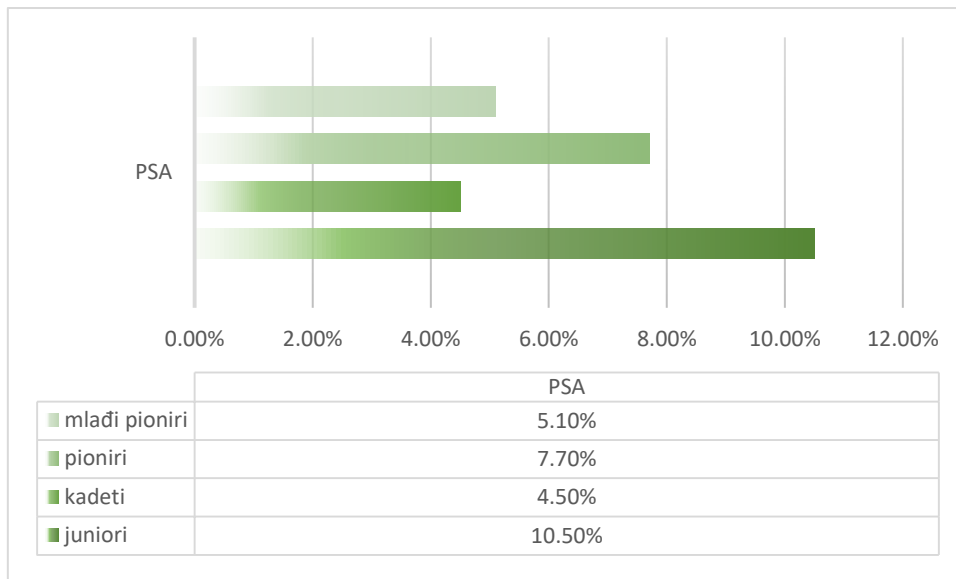
CMJ vs SJ	mean CMJ	mean SJ	t-value	df	p	valid N CMJ	valid N SJ	st.dev CMJ	st.dev SJ	F-ratio Variance s	p Variance s
pioniri	28.36667	26.32917	1.46292	46	0.150289	22	22	5.152852	4.472474	1.327393	0.50242

Tablica 8. Statistička značajnost razlika između CMJ i SJ u skupini mlađih pionira

CMJ vs SJ	mean CMJ	mean SJ	t-value	df	p	valid N CMJ	valid N SJ	st.dev CMJ	st.dev SJ	F-ratio Variance s	p Variance s
mlađi pioniri	22.14444	21.06111	0.935826	34	0.355962	21	21	3.278849	3.655604	1.243693	0.658053

4.3. Analiza PSA pokazatelja

Izračun postotka porasta rezultata zbog predistezanja kod CMJ-a iznosi 10.5% u skupini juniora, 4.5% u skupini kadeta, 7.7% u skupini pionira i 5.1% u skupini mlađih pionira. Rezultati su prikazani na slici 6.



Slika 6. Prikaz postotaka PSA.

5. RASPRAVA I ZAKLJUČAK

Glavna svrha ovog rada bila je utvrditi postoji li trend razvoja rezultata te promjena odnosa u testovima vertikalne skočnosti u mlađim dobnim kategorijama nogometnih igrača. Rezultati su pokazali kako je takav trend prisutan u oba skoka, kao i u njihovom odnosu, no odnos ne pokazuje takav linearan porast. SJ je skok koji koristi samo koncentričnu kontrakciju i zbog toga izvedba tog skoka ovisi samo o kontraktilnoj sposobnosti mišića, tj. uz minimalni doprinos elastične komponente (Sahrom, 2013). Rezultati SJ kod skupine pionira i mlađih pionira slični su i odgovaraju rezultatima dobivenim u različitim studijama, koji iznose 26 do 31 cm (Sharom, 2013.; Lloyd i sur., 2011.; Gerodimos i sur., 2008). Ova studija, kao i druge, prikazuje i trend povećanja rezultata u visini skoka od mlađih dobnih skupina prema starijima (slika 3) (Lloyd i sur., 2011). Lloyd i sur. (2011) pronašli su razliku od 27% između dječaka iznad 16 godina i dječaka od 13 godina, no također, podijelivši skupine na rani pubertet, kasni pubertet i zrelost, uvidjeli su da zreli dječaci pokazuju najlošije rezultate u visini skoka. Dakle, kronološki najstariji dječaci pokazivali su najbolje rezultate, no kada im je određivana biološka dob, zreli dječaci pokazali su najslabije rezultate. Lloyd i sur. zaključuju kako je bitno u sličnim studijama određivati biološku dob. Kroz sazrijevanje dječaka, zapaženo je kako postoji korelacija između mišićne jakosti (o kojoj uvelike ovisi rezultat u SJ) s povećanjem poprečnog presjeka mišića. Takvo povećanje povezano je s pojačanim lučenjem testosterona u pubertetu i ono može utjecati na poboljšanje rezultata u SJ tijekom sazrijevanja (Sahrom, 2013; Ikai i Fukunaga, 1968). Dakle, može se zaključiti kako je veća razina jakosti dobivene sazrijevanjem (svi ispitanici imaju relativno sličnu razinu iskustva u treningu jakosti) omogućila više vrijednosti u testu SJ kod starijih kategorija nogometaša u odnosu na mlađe. Rezultati u CMJ pokazuju sličan trend porasta rezultata kao i u SJ, s nešto većom razlikom između juniora i kadeta, te pionira i mlađih pionira (5.2 cm i 6.2 cm), dok razlika kadeta i pionira iznosi samo 3.5 cm (slika 3). Lloyd i sur. (2011) govore o sličnom linearnom porastu rezultata u CMJ. Kao razlog povećanja rezultata u CMJ također navode porast u jakosti uzrokovan nastupom PHV-a i porasta mišićne mase, kao i kod SJ, jer je zapaženo da je maksimalna izometrična jakost proporcionalna s veličinom mišića (Lloyd i sur., 2011). Nastup godine najvećeg prirasta u visinu (engl. Peak height velocity – PHV) se javlja najčešće u trinaestoj godini ili četrnaestoj kod dječaka, te iznosi prosječno 11.3 cm (Granados i sur., 2015). Poznato je kako je period iza PHV-a označen i prirastom u mišićnoj masi ili težini (engl. Peak weight velocity - PWV) (Beunen, 2007; Sahrom, 2013), što je povezano s prethodno navedenim porastom poprečnog presjeka mišića i lučenjem testosterona.

Takva razina zrelosti sa sobom nosi i značajan porast u eksplozivnoj jakosti (Philippaerts i sur., 2006). Uz porast razine jakosti, mogući razlog za napredak u CMJ je i poboljšani refleks na istežanje. Iako se mislilo kako su centralni mehanizmi koji kontroliraju refleks na istežanje razvijeni već u prepubertetu (Grosset i sur., 2007; Scammon, 1930; Sahrom, 2013), mehanički induciran refleks i vrijeme kontrakcije sazrijevaju do odrasle dobi, vjerojatno zbog razvoja senzomotoričkih puteva do maksimuma, kada polako kreću propadati (Sahrom, 2013). Grosset i sur. (2007) navode kako je razvoj osjetljivosti mišićnog vretena također jedan od razloga poboljšanog refleksa na istežanje. Sahrom (2013) navodi kako je moguć razlog povećanja rezultata u skokovima i smanjena motorička kontrola u mlađoj dobi, koja se poboljšava sazrijevanjem.

Nadalje, odnos rezultata CMJ i SJ pokazuje statistički značajnu razliku samo kod skupine juniora. Tome u prilog idu i rezultati PSA (pokazatelja iskoristivosti SSC-a) gdje je vidljiv nagli pad postotka u skupini kadeta, zbog čega napredak nije linearan (slika 6). Moguće objašnjenje takvih rezultata je da je upravo u toj skupini došlo to tzv. adolescentske zbunjenosti (engl. adolescent awkwardness) gdje zbog naglo nastalih disproporcija dolazi do smanjenja koordinacije i lošije izvedbe skokova (Beunen i sur., 1988). Također, ista skupina imala je malen broj uzoraka zbog čega je teško davati neke detaljnije zaključke. Dosadašnja istraživanja pokazuju drugačije rezultate, gdje se sa starenjem smanjuje razlika između dva skoka (Temfemo i sur., 2009). Iako je u literaturi često navedeno kako veća razlika između skokova govori o boljoj iskoristivosti elastične energije u CMJ zbog dobro razvijene sposobnosti koaktivacije mišića i brzog razvoja mišićne stimulacije, velika razlika također može ukazivati i na lošu sposobnost smanjenja stupnja tzv. muscle slack-a (vrijeme u ranoj fazi razvoja mišićne sile, gdje mišić treba prijeći iz neaktivne u aktivnu fazu) i razvoja stimulacije u SJ-u (Van Hooren i Zolotarjova, 2017). Također se navodi kako iz tog razloga postoji tendencija da se trenajni protokoli usmjere ka smanjenju razlike između CMJ i SJ.

Još jedan od razloga zašto rezultati ove studije pokazuju drugačiji trend razvoja odnosa rezultata između CMJ i SJ je taj što su SJ i CMJ pouzdani testovi za procjenu visine vertikalnog skoka dok izračun PSA (kao i ostalih pokazatelja iskoristivosti SSC-a) možda i nije zbog naglašavanja varijance u visini skokova kod netrenirane populacije (Tufano i sur., 2013). Iako je ova studija rađena na uzorku vrhunskih nogometaša mlađih kategorija u Hrvatskoj, oni se ne mogu okarakterizirati kao iskusni u treningu pliometrije te se kod takve populacije treba koristiti neka direktnija metoda procjene. Isto tako, uzorak ispitanika je malen i varira unutar

svake od grupa, zbog čega postoji velika raspršenost rezultata unutar grupa, pogotovo kod kadeta (prikazano u tablicama 1-4).

U konačnici, ova studija pokazala je da postoji trend razvoja rezultata u testovima vertikalne skočnosti od mladih, prepubertetskih nogometaša prema zrelima, što možemo pripisati stupnju rasta i razvoja mladih sportaša. Pošto su vertikalni skokovi zavisni o razini jakosti, a jakost ovisi o poprečnom presjeku mišića, dakle o nastupu PHV-a i lučenju testosterona, može se zaključiti kako su dobiveni rezultati logični i očekivani. Kada govorimo o promjenama u odnosu između testova ne može se sa sigurnošću zaključiti kako postoji linearan trend razvoja rezultata, zbog značajnog pada u odnosu u skupini kadeta (što je moguće pripisati manjem broju ispitanika i većoj varijaciji u rezultatima). Kada bi i kadeti pokazivali značajniju razliku između skokova, taj trend porasta razlike između rezultata pokazao bih se oprečnim dosadašnjim istraživanjima, koja pokazuju trend smanjenja. Može se zaključiti kako je potrebno provesti još istraživanja na ovu temu, s većim brojem ispitanika.

Osnovna ograničenja i nedostaci ove studije su svakako mali broj ispitanika (pogotovo u skupini kadeta), izostanak određivanja biološke dobi te relativno neiskustvo prvenstveno u treningu jakosti, a zatim i pliometrije, kojoj prethodi upoznavanje s bazičnom tehnikom odraza i doskoka, a zatim i naprednijim elementima treninga. Informacije o biološkoj dobi svakako bi omogućile bolje raspoznavanje i grupiranje djece unutar iste kategorije, a u skladu s time i kvalitetnije usmjeravanje, planiranje i programiranje dugoročnog sportskog razvoja te naravno bolje razumijevanje i povezivanje s mehanizmima koji su odgovorni za razvoj vertikalne skočnosti u mladih sportaša. Nova istraživanja potrebna su kako bi se detaljnije istražili odnosi između procesa sazrijevanja i razvoja eksplozivne jakosti te kako bi se, u skladu sa stupnjem zrelosti, primijenili potrebni trenažni sadržaji za svrsishodan rad na maksimiziranju potencijala mladih sportaša.

6. LITERATURA

1. Asmussen E, Bonde-Peterson F. (1974). Storage of elastic energy in skeletal muscles in man. *Acta Physiol Scand* 91:385–392.
2. Beunen, G.P. and Malina, R.M. (1988). Growth and physical performance relative to the timing of the adolescent spurt. *Exercise and Sports Science Reviews*, 16:503-540.
3. Biewener AA1, Roberts TJ. (2000). Muscle and tendon contributions to force, work, and elastic energy savings: a comparative perspective. *Exerc Sport Sci Rev.* 2000 Jul;28(3):99-107.
4. Bobbert MF, Gerritsen KG, Litjens MC, Van Soest AJ. (1996). Why is counter-movement jump height greater than squat jump height? *Med Sci Sports Exerc* 28:1402–1412.
5. Bobbert MF1, Casius LJ. (2005). Is the effect of a countermovement on jump height due to active state development? *Med Sci Sports Exerc.* 2005 Mar;37(3):440-6.
6. Bosco C, Komi PV (1979) Potentiation of the mechanical behavior of the human skeletal muscle through prestretching. *Acta Physiol Scand* 106:467–472.
7. Bosco C, Komi PV. (1980). Influence of aging on the mechanical behavior of leg extensor muscles. *Eur J Appl Physiol* 45:209–219.
8. Bosco C, Mognoni P, Luhtanen P. (1983). Relationship between isokinetic performance and ballistic movement. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1983;51(3):357-64.
9. Bosco C, Tarkka I, Komi PV. (1982). Effect of elastic energy and myoelectrical potentiation of triceps surae during stretch-shortening cycle exercise. *Int J Sports Med.* 1982 Aug;3(3):137-40.
10. Bosco C, Viitasalo JT, Komi PV, Luthanen P. (1982). Combined effect of elastic energy and myoelectrical potentiation during stretch-shortening cycle exercise. *Acta Physiol Scand* 114:557–565.
11. Cornu C, Almeida Silveira MI, Goubel F. (1997). Influence of plyometric training on the mechanical impedance of the human ankle joint. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1997;76(3):282-8.
12. Davies G, Riemann BL, Manske R. (2015). Current concepts of plyometric exercise. *Int J Sports Phys Ther.* 2015 Nov; 10(6): 760–786.
13. De Villarreal ES, Kellis E, Kraemer WJ, Izquierdo M. (2009). Determining variables of plyometric training for improving vertical jump height performance: a meta-analysis. *J Strength Cond Res.* 2009;23(2):495–506.

14. Ebben, W.P. (2005). Practical guidelines for plyometric intensity. *NSCA's Performance Training Journal*, 6 (5), 12–16.
15. Elftman H. (1939) Forces and energy changes in the leg during walking. *Am J Physiol* 125:339–356.
16. Farley CT, Blickhan R, Saito J, Taylor CR. (1991). Hopping frequency in humans: a test of how springs set stride frequency in bouncing gaits. *Appl Physiol* (1985). 1991 Dec;71(6):2127-32.
17. Fleck S, Kraemer W. (2014). *Designing Resistance Training Programs-4th Edition*. Human Kinetics.
18. Gambetta V. (2006). *Athletic Development: The Art & Science of Functional Sports Conditioning*. Human Kinetics.
19. Gerodimos V, Zafeiridis A, Perkos S, Dipla K, Manou V, Kellis S. (2008). The contribution of stretch-shortening cycle and arm-swing to vertical jumping performance in children, adolescents, and adult basketball players. *Pediatr Exerc Sci*. 2008 Nov;20(4):379-89.
20. Glatthorn, JF, Gouge, S, Nussbaumer, S, Stauffacher, S, Impellizzeri, FM, Maffiueletti, NA. (2011). Validity and reliability of Uptojump photoelectric cells for estimating vertical jump height. *J. Strength Cond. Res*. 2011, 25, 556–560.
21. Gottlieb GL, Agarwal GC. (1979). Response to sudden torques about ankle in man: myotatic reflex. *J Neurophysiol* 42:91–106.
22. Granados A, Gebremariam A, Lee JM. (2015). Relationship Between Timing of Peak Height Velocity and Pubertal Staging in Boys and Girls. *J Clin Res Pediatr Endocrinol*. 2015 Sep; 7(3): 235–237.
23. Grosset D, Taurah L, Burn DJ, MacMahon D, Forbes A, Turner K, Bowron A, Walker R, Findley L, Foster O, Patel K, Clough C, Castleton B, Smith S, Carey G, Murphy T, Hill J, Brechany U, McGee P, Reading S, Brand G, Kelly L, Breen K, Ford S, Baker M, Williams A, Hearne J, Qizilbash N, Chaudhuri KR. (2007). A multicentre longitudinal observational study of changes in self reported health status in people with Parkinson's disease left untreated at diagnosis. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2007 May;78(5):465-9.
24. Harrison AJ, Moroney A. (2007). Arm augmentation of vertical jump performance in young girls and adult females. In: *XXV ISBS Symposium, Ouro Preto – Brazil, 2007*
25. Hennessy L, Kilty J. (2001). Relationship of the stretch-shortening cycle to sprint performance in trained female athletes. *J Strength Cond Res*. 2001 Aug;15(3):326-31.

26. Hill AV. (1925). Length of muscle, and the heat and tension developed in an isometric contraction . *J Physiol* . 1925 ; 60 : 237 – 263.
27. Hirayama K, Iwanuma S, Ikeda N, Yoshikawa A, Ema R, Kawakami Y. (2017). Plyometric Training Favors Optimizing Muscle-Tendon Behavior during Depth Jumping. *Front Physiol*. 2017 Jan 25;8:16.
28. Hunter JP, Marshall RN. Effects of power and flexibility training on vertical jump technique. *Med Sci Sports Exerc*. 2002 Mar;34(3):478-86.
29. Ikai M, Fukunaga T. (1968). Calculation of muscle strength per unit cross-sectional area of human muscle by means of ultrasonic measurement. *Int Z Angew Physiol*. 1968;26(1):26-32.
30. Jamurtas AZ, Fatouros IG, Buckenmeyer PJ, Kryiazis GA (2000). Effects of Plyometric Exercise on Muscle Soreness and Plasma Creatine Kinase Levels and Its Comparison with Eccentric and Concentric Exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2000, 14(1), 68–74.
31. Jezdimirović M, Joksimović A, Stanković R, Bubanj S. (2013). Differences in the vertical jump in soccer players according to their position on the team. *Physical Education and Sport* Vol. 11, No 3, 2013: 221 – 226.
32. Komi P., Gollhofer A. (1997). Stretch Reflexes Can Have an Important Role in Force Enhancement during SSC Exercise. *Journal of Applied Biomechanics* Vol. 13, Issue 4, November 1997: 451-460.
33. Komi PV, Bosco C. (1978). Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. *Med Sci Sports exerc* 10:261–265.
34. Kraemer, WJ, Newton, RU. (1994). Training for improved vertical jump. *Sports Science Exchange*, 7(6), 1-12.
35. Kubo, K, Morimoto M, Komuro T, Yata H, Tsunoda N, Kanehisa H, Fukunaga T. (2007). Influences of tendon stiffness, joint stiffness, and electromyographic activity on jump performances using single joint. *European Journal of Applied Physiology*. 99(3): 2007. pp:23543.
36. Linthorne, NP. (2001). Analysis of standing vertical jumps using a force platform. *American Journal of Physics*, 69 (11), 1198-1204.
37. Lloyd RS, Oliver JL, Hughes MG, Williams CA. (2011). The influence of chronological age on periods of accelerated adaptation of stretch-shortening cycle performance in pre and postpubescent boys. *J Strength Cond Res*. 2011 Jul;25(7):1889-97.

38. Macaluso F, Isaacs AW, and Myburgh KH. (2012). Preferential Type II Muscle Fiber Damage From Plyometric Exercise. *J Athl Train.* 2012 Aug; 47(4): 414–420.
39. Malina R, Bouchard C, Bar-Or O. (2004). *Growth, Maturation, and Physical Activity-2nd Edition.* Human Kinetics.
40. Markovic G, Dizdar D, Jukic I, Cardinale M. (2004). Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. *J Strength Cond Res.* 2004 Aug;18(3):551-5.
41. Markovic, G, Mikulic P. (2010). Neuro-musculoskeletal and performance adaptations to lower-extremity plyometric training. *Sports Med.* 2010 Oct 1;40(10):859-95.
42. Markovic, G. (2007). Does plyometric training improve vertical jump height? A meta-analytical review. *Br J Sports Med.* 2007 Jun;41(6):349-55;
43. McGuigan et al. (2006). Eccentric utilization ratio: effect of sport and phase of training. *Journal of Strength and Conditioning Research.* 20(4): 2006. pp:992-5.
44. McNeely, E. (2005). Introduction to plyometrics, Converting strength to power. *NSCA's Performance Training Journal,* 6 (5), 19–22.
45. Nikolaidis, PT. (2014). Age-related Differences in Countermovement Vertical Jump in Soccer Players 8-31 Years Old: the Role of Fat-free Mass. *American Journal of Sports Science and Medicine* 2.2 (2014): 60-64
46. Padulo J, Laffaye G, Ardigò LP, Chamari K. (2013). Concentric and Eccentric: Muscle Contraction or Exercise? *J Hum Kinet.* 2013 Jul; 37: 5 – 6.
47. Philippaerts RM, Vaeyens R, Janssens M, Van Renterghem B, Matthys D, Craen R, Bourgois J, Vrijens J, Beunen G & Malina RM. (2006). The relationship between peak height velocity and physical performance in youth soccer players. *Journal of Sports Sciences* Volume 24, 2006 - Issue 3.
48. Pudja, D. (2015). Utjecaj maksimalnih izometričkih naprezanja na manifestaciju eksplozivne jakosti tipa skoka u mladim nogometaša. (Diplomski rad). Zagreb: Kineziološki fakultet.
49. Riggs, MP, Sheppard JM. (2009). The relative importance of strength and power qualities to vertical jump height of elite beach volleyball players during the counter-movement and squat jump. *Journal of human sport and exercise.* 4(3).2009.
50. Sahrom SB (2013). Understanding Stretch shorten Cycle Capability in Adolescence Across the Different Maturational Stages. *Journal of Strength and Conditioning Research* – in first review.

51. Sahrom SB, Cronin J., Harris NK. (2013). Understanding Stretch-Shorten Cycle Ability in Youths. *Strength and Conditioning Journal*, 35(3): 77-88.
52. Scammon, RE. (1930). The ponderal growth of the extremities of the human fetus. Volume 15, Issue 1. October–December, 1930; Pages 111–121.
53. Schwane, JA, Armstrong, EB. (1983). Effect of training and skeletal muscle injury from downhill running in rats. *J. Appl.Physiol.* 55:969–975. 1983.
54. Siff, MC i Verkhoshansky, YV. (1999). *Supertraining*. Denver: Supertraining International.
55. Suchomel TJ, Sole CJ, Stone MH. (2016). Comparison of Methods That Assess Lower-body Stretch-Shortening Cycle Utilization. *J Strength Cond Res.* 2016 Feb;30(2):547-54.
56. Temfemo A, Hugues J, Chardon K, Mandengue SH, Ahmaidi S. (2009). Relationship between vertical jumping performance and anthropometric characteristics during growth in boys and girls. *European journal of pediatrics.* 2009 Apr;168(4): 457-64.
57. Tufano J., Walker S., Seitz L., Blazevich A. (2013). Reliability of the reactive strength index, eccentric utilisation ratio, and pre-stretch augmentation in untrained, novice jumpers. *J. Aust. Strength Cond.* 21(S2)31-33.
58. Twist C, Eston R. (2005). The effects of exercise-induced muscle damage on maximal intensity intermittent exercise performance. *Eur J Appl Physiol.* 2005;94(5–6):652–658.
59. Van Hooren B, Bosch F (2016). Influence of muscle slack on high-intensity sport performance: a review. *Strength and Conditioning Journal*, 38 (5), 75-87.
60. Walshe AD, Wilson GJ. (1997). The influence of musculotendinous stiffness on drop jump performance. *Can J Appl Physiol.* 1997 Apr;22(2):117-32.
61. Walshe, A.D., G.J. Wilson, and A.J. Murphy (1996). The validity and reliability of a test of lower body musculotendinous stiffness. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology.* 73(3-4): 1996. pp:332-9.
62. Wilson JM1, Flanagan EP. (2008). The role of elastic energy in activities with high force and power requirements: a brief review. *J Strength Cond Res.* 2008 Sep;22(5):1705-15.
63. Wilson, G.J., B.C. Elliott, and G.A. Wood. (1991). The effect on performance of imposing a delay during a stretch-shorten cycle movement. *Med Sci Sports Exerc.* 23:364-370.
64. Winkelman, N. (2011). The Difference between the Countermovement and Non-Countermovement Jump: Implications on Performance. *UK Strength and Conditioning Association*, Issue 20, 2011: 4-8.
65. Young, W. (1995). *Laboratory Strength Assessment of Athletes*. *New Studies in Athletics.* 10: 1995. pp:89-96.