

SPECIFIČNE KARAKTERISTIKE MIŠIĆA OPRUŽAČA NOGU KOD VRHUNSKIH ODBOJKAŠA OBA POLA U SRBIJI

^{1,2}Jelena Ivanović,

¹Aco Gajević,

³Milivoj Dopsaj,

⁴Nikola Aksović,

⁵Slavko Dragosavljević.

¹Fakultet za sport, Univerzitet Union Nikola Tesla, Beograd, Srbija,

²Republički institut sporta i sportske medicine, Beograd, Srbija,

³Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja, Univerzitet u Beogradu,

Beograd, Srbija,

⁴Fakultet za sport i fizičko vaspitanje, Univerzitet u Prištini,

Leposavić, Srbija,

⁵Fakultet fizičkog vaspitanja i sporta, Univerzitet u Istočnom

Sarajevu, BiH.

DOI10.7251/SIZ23010071

ISSN 1840-152X

UDK: 796.012.1.325

<http://sportizdravlje.rs.ba/>

<https://doisrpska.nub.rs/index.php/SIZ>

ORIGINALNI NAUČNI ČLANAK

Sažetak: Adekvatna priprema mišića opružača nogu je veoma važna, posebno u sportovima koji uključuju nekoliko različitih tehnika izvođenja skokova. Podaci o karakteristikama sila – vreme određene mišićne grupe su osnovni podaci o sposobnosti sportiste koji se prikupljaju u cilju kontrole fizičke pripremljenosti. Cilj ovog rada je bio da se utvrde deskriptivne i polne razlike različitih specifičnih izometrijskih karakteristika modela sila-vreme vezanih za mišiće opružače nogu kod elitnih igrača odbojke u Srbiji. Devetnaest muških (visina=199,21±4,94 cm, masa=91,05±6,95 kg, starost=22,58±2,97 godina) i dvadeset ženskih (visina=184,65±7,00 cm, masa=70,65±6,15 kg, starost=22,92±3.73 godine) igrača odbojke su radili standardizovani izometrijski “leg press test” kako bi se procenile karakteristike izometrijske sile mišića opružača nogu. Opseg merenja je bio definisan sa 8 (osam) varijabli prema 4 (četiri) različite dimenzije: 1) nivo postignute sile, 2) brzina razvoja sile, 3) vreme potrebno za dostizanje određenog nivoa sile, 4) različiti parametri indeksa; prostor osnovnih, specifičnih i specijalnih karakteristika mišićne sile mišića opružača nogu. Analizom MANOVA je utvrđeno da postoji značajna razlika od $p < 0,05$ u svim kontraktilnim karakteristikama među posmatranim subzorcima na nivou Vilks’ Lambda 0,098, $F = 25,814$, $p = 0,000$. Rezultati su pokazali da odbojkaši ostvaruju veće vrednosti od odbojkašica u svim kontraktilnim karakteristikama u prostoru specifičnih i specijalnih karakteristika mišićne sile mišića opružača nogu. Velika je verovatnoća da se ove razlike ne mogu objasniti samo na osnovu polnih razlika, već na osnovu ukupnog intenziteta i obima i/ili vrste treninga snage i mišićne jačine tokom trenažnog procesa - faktora koji zaslužuju obraćanje posebne pažnje u trenažnom radu sa sportistima. Dobijeni podaci se mogu koristiti kao povratna informacija o karakteristikama kontraktilnih sposobnosti pojedinih mišića opružača nogu kod vrhunskih odbojkaša i odbojkašica u cilju praćenja njihove fizičke pripremljenosti, kao i kontrole i optimizacije samog trenažnog procesa.

Ključne reči: izometrijska sila, polne razlike, “leg press test”, odbojka

UVOD

Tehničko-taktički zahtevi u odbojci obuhvataju česte promene pravca u frontalnoj i bočnoj ravni, brojne skokove u vis i dalj, kao i skokove koji su karakteristični za odbojkašku igru (Ziv & Lidor, 2010). Takve karakteristike zahtevaju adekvatnu pripremu i visoke performanse u pogledu sportske tehnike, taktike i osnovne i specifične fizičke pripreme. Što se tiče tri grupe ekstenzora u zglobu kolena, najznačajniji uticaj na nivo odskoka imaju obe karakteristike sile mišića opružača u zglobu kolena - i maksimalna i eksplozivna izometrijska sila. Bez obzira na to kakav se skok izvodi tokom igre, angažovanost mišića ekstenzora nogu je 56% (Jarić, 1987). Prema mnogim autorima (Zatsiorski & Kraemer, 2006; Ivanović et al., 2011; Ivanović et al., 2019; Ivanović et al., 2020), dijagnostika fizičke pripremljenosti i selekcija sportista u okviru kontraktilnih sposobnosti, procenjena korišćenjem osnovnih parametara, odnosno korišćenjem nivoa realizacije maksimalne sile (F_{max}) ili indikatora eksplozivnosti (RDF_{max}), ne daju validne podatke za optimizaciju treninga u dovoljnoj meri. Samo vrednosti razvijene sile u funkciji vremena generisane tokom izometrijske (statičke) kontrakcije mišića, sa svojim karakteristikama (sila-vreme) mogu predstavljati realne parametre kontraktilne sposobnosti mišića opružača nogu. Dakle, informacije o karakteristikama sila-vreme određene mišićne grupe jednake su osnovnim informacijama o sposobnostima sportiste, koje se prikupljaju u cilju kontrole njegove fizičke pripremljenosti (Zatsiorski & Kraemer, 2006; Muminović et al., 2022). U ovom radu posmatrano je 8 (osam) varijabli koje pokrivaju sledeće prostore: 1) nivo sile na 50% njenog maksimuma, na 30% njenog maksimuma; 2) brzina razvoja sile – specifična i posebna eksplozivnost; 3) vremenski parametri – vreme potrebno za dostizanje 50% maksimalne sile, 30% maksimalne sile i 4) indeks sinergije – kao kriterijum odnosa eksplozivne (RFD) i maksimalne sile na nivou od 50% i 30% svog maksimuma.

METODE ISTRAŽIVANJA

Uzorak ispitanika

Ukupni uzorak je obuhvatao 39 ispitanika podeljenih u dve različite grupe na osnovu pola: vrhunski odbojkaši (EliteM, N = 19) i vrhunske odbojkašice (EliteF, N = 20). Prikupljene osnovne antropomorfološke karakteristike bile su sledeće: BHF = 184.65 ± 7.00 cm, BMF = 70.65 ± 6.15 kg, BMIF = 20.70 ± 0.92 , AGEF = 22.92 ± 3.73 godina, TrainingperiodF = 11.42 ± 3.70 godina; BHM = 199.21 ± 4.94 cm, BMM = 91.05 ± 6.95 kg, BMIM = 22.94 ± 1.56 , AGEF = 22.58 ± 2.97 godina, TrainingperiodM = 10.71 ± 2.80 godina. Sva testiranja su obavljena u Laboratoriji za motorička istraživanja Zavoda za sport i medicinu sporta Srbije, po istoj proceduri i na istoj standardizovanoj opremi. U cilju unifikacije testiranja i dobijanja što objektivnijih rezultata, svi sportisti su testirani u istom periodu, na početku glavnog predtakmičarskog treninga - mezociklusa. Svim ispitanicima je sugerisano da ne vežbaju najmanje 48h, niti da jedu najmanje 2h pre testiranja. Svaki ispitanik je

obavešten o potencijalnim rizicima povezanim sa istraživanjem, a merenja su vršena uz voljni pristanak ispitanika u skladu sa smernicama ACSM-a za testove (ACSM's, 2006) i nakon dozvole etičke komisije Fakulteta za sport u Beogradu, Srbija.

Procedure merenja

Maksimalna izometrijska sila je merena dinamometrom za mišiće opružače nogu (Zavod za sport i medicinu sporta Republike Srbije, Beograd). Ispitanici su sedeli na klupi, tako da im je ugao u zglobu kuka iznosio 110° , ugao zgloba kolena 120° , a ugao skočnog zgloba 90° . Nakon individualnog 5-minutnog zagrevanja i upoznavanja sa postupkom merenja, svaki ispitanik je imao četiri pokušaja, uz jedan minut odmora između pokušaja. Svim ispitanicima je naloženo da ispolje svoju maksimalnu silu što je brže moguće. Za procenu kontraktilnih karakteristika izometrijske mišićne sile (bilateralne) mišića opružača nogu korišćena je standardizovana oprema, odnosno uređaj za merenje. Korišćena je platforma za silu pričvršćena na ram pomoću transduktora za realizaciju standardizovanog testa „izometrijski leg press”, prema ranije opisanim procedurama (Ivanović, 2010, 2010a; Ivanović et al., 2010; Ivanović et al., 2011; Ivanović et al., 2019; Ivanović et al., 2020) (Slika 1). Podaci su prikupljeni na 2000 Hz korišćenjem interfejsa sa analogno-digitalnom karticom (National Instruments, NI PCI-4461, Ostin, Teksas, SAD). Svi podaci su snimljeni i analizirani korišćenjem posebno dizajniranog softverskog sistema (M_S_NI, Institut Nikola Tesla, Srbija, Beograd).

Nakon toga, podaci su obrađeni u odgovarajućem softveru na personalnom računaru. Maksimalna izometrijska sila (F_{max}) je definisana kao najveća vrednost sile (N) zabeležene tokom bilateralne izometrijske ekstenzije noge. Za analizu je izabran pokušaj sa najvišim osnovnim nivoom brzine razvoja sile mišića opružača nogu. U prethodnim istraživanjima (Dopsaj & Ivanović, 2011; Ivanović & Dopsaj, 2013), dobijeni rezultati su pokazali da su primenjeni merni postupak i korišćeni merni instrumenti, odnosno tenziometrijski uređaj sa sledećim hardverskim i softverskim sistemom, kao i merne varijable koje predstavljaju osnovne kontraktilne karakteristike izometrijske sile mišića opružača nogu u sedećem položaju, statistički veoma pouzdane u funkciji specijalizovane i sofisticirane merne opreme za testiranje visoko obučanih sportista.



Slika 1. „Leg press“ – sprava za procenu maksimalne izometrijske sile mišića opružača nogu

Varijable

Opseg merenja je definisan korišćenjem 8 (osam) varijabli koje se mogu sistematizovati u sledeće odnose kontraktilnih karakteristika koje pokrivaju prostor specifičnih (na 50% svog maksimuma) i specijalnih (na 30% svog maksimuma) karakteristika izometrijske mišićne sile mišića opružača nogu:

- Odnos za procenu stepena razvoja sile
 - Indikator specifičnih karakteristika postignute sile je definisan na 50% od maksimalne sile – $F_{50\%}$, izražen u N.
 - Indikator specijalnih karakteristika postignute sile je definisan na 30% od maksimalne sile – $F_{30\%}$, izražen u N.
- Maksimalna brzina razvoja sile je odnos za procenu postignute eksplozivnosti
 - Indikator specifičnih karakteristika maksimalne brzine razvoja sile mišića opružača nogu ili S gradijent sile ekstenzora nogu, je nivo razvoja sile postignut na 50% od F_{max} , izmeren primenom sledeće procedure (Zatsiorsky & Kraemer, 2006):

$$RFD_{50\%} = \frac{F_{50\%}}{tF_{50\%}}$$

- Indikator specijalnih karakteristika maksimalne brzine razvoja sile mišića opružača nogu je nivo razvoja sile postignut na 30% od F_{max} , izmeren primenom sledeće procedure:

$$RFD_{30\%} = \frac{F_{30\%}}{tF_{30\%}}$$

- Indeks sinergije – je odnos relacija između eksplozivne (RFD) i maksimalne postignute sile
 - Specifični indeks sinergije je indikator za evaluaciju specifičnog nivoa maksimalne brzine razvoja sile mišića opružača nogu postignutog na 50% of F_{max} , u rasponu S-gradijenta (Ivanović, 2010; Ivanović et al., 2011):

$$IndSNG_{SPEC} = \frac{RFD_{50\%}}{F_{50\%}}$$

- Specijalni indeks sinergije je indikator za evaluaciju specijalnog nivoa maksimalne brzine razvoja sile mišića opružača nogu postignutog na 30% od F_{max} (Ivanović, 2010; Ivanović et al., 2011):

$$\text{IndSNG}_{\text{SPECIJ}} = \frac{\text{RFD}_{30\%}}{\text{F}_{30\%}}$$

- Vremenski parametri
- vreme potrebno za dostizanje 50% maksimalne sile – $tF_{50\%}$ u s,
- vreme potrebno za dostizanje 30% maksimalne sile – $tF_{30\%}$ u s.

Statistička analiza

Svi dobijeni rezultati su statistički procenjeni metodom deskriptivne statistike, multivarijantnom statističkom procedurom General Linear Model multivariate procedure i post-hoc testom - Bonferonijev test (Hair et al., 1998). Sve statističke procedure su sprovedene primenom Microsoft® Office Excel 2003 i SPSS za Windows, verzija 17.0 (Autorska prava © SPSS Inc., 1989–2002).

REZULTATI

Rezultati deskriptivne statistike za ukupan uzorak u funkciji pola ispitanika prikazani su u Tabeli 1. Koeficijent varijacije posmatranih varijabli kod muških ispitanika kretao se od 16,32% za varijablu $F_{50\%}$ do 45,76% za varijablu $RFD_{30\%}$. U ženskom subuzorku koeficijent varijacije se kretao od 26,32% za varijablu $F_{50\%}$ do 98,88% za varijablu $tF_{30\%}$. Prosečne vrednosti posmatranih karakteristika izometrijske sile mišića opružača nogu za subuzorak elitnih odbojkašica kretale su se od 1315.9 ± 346.3 N za $RFD_{50\%}$ do $789,5 \pm 207,8$ N za $F_{30\%}$, na nivou eksplozivnosti od 13903.7 ± 9074.1 N^s za $RFD_{50\%}$ do $13086,9 \pm 9095.2$ N^s za $RFD_{30\%}$, na nivou odnosa između eksplozivnosti i razvoja maksimalne sile od $10,736 \pm 6,180$ za $\text{IndSNG}_{\text{SPEC}}$ do $17,032 \pm 10,944$ za $\text{IndSNG}_{\text{SPECIJ}}$ (vrednosti indeksa) (Tabela 1). Prosečne vrednosti posmatranih karakteristika izometrijske sile mišića opružača nogu kod odbojkaša izmerene su na nivou od 2040.2 ± 333.0 N za $F_{50\%}$ do 1224.1 ± 199.8 N za $F_{30\%}$, na nivou eksplozivnosti od 22130.8 ± 9759.6 N^s za $RFD_{50\%}$ do 23441.0 ± 10726.5 N^s za $RFD_{30\%}$, na nivou vremenskih parametara od 0.103 ± 0.032 s za $tF_{50\%}$ do 0.059 ± 0.022 s za $tF_{30\%}$ i na nivou odnosa između razvoja eksplozivne i maksimalne sile od $10,723 \pm 3,769$ za $\text{IndSNG}_{\text{SPEC}}$ do $18,858 \pm 7,114$ za $\text{IndSNG}_{\text{SPECIJ}}$ (vrednosti indeksa) (Tabela 1).

Tabela 1. Descriptivni statistički pokazatelji ukupnog uzorka ispitanika u funkciji pola

Sila - vreme karakteristike	Odbojkašice (N=20)			Odbojkaši (N=19)		
	Mean±SD	cV%	Min-Max	Mean±SD	cV%	Min-Max
F_{50%} (N)	1315.9±346.3	26.32	910.1-1955.1	2040.2±333.0	16.32	1131.0-2661.0
F_{30%} (N)	789.5±207.8	26.32	546.1-1173.1	1224.1±199.8	16.32	678.6-1596.6
RFD_{50%} (N^s)	13903.7±9074.1	65.26	2402.3-30882.6	22130.8±9759.6	44.10	9142.5-56388.0
RFD_{30%} (N^s)	13086.9±9095.2	69.50	1559.4-28223.8	23441.0±10726.5	45.76	8923.1-48990.0
tF_{50%} (s)	0.162±0.134	82.89	0.055-0.412	0.103±0.032	36.50	0.043-0.203
tF_{30%} (s)	0.131±0.129	98.88	0.028-0.377	0.059±0.022	32.34	0.028-0.113

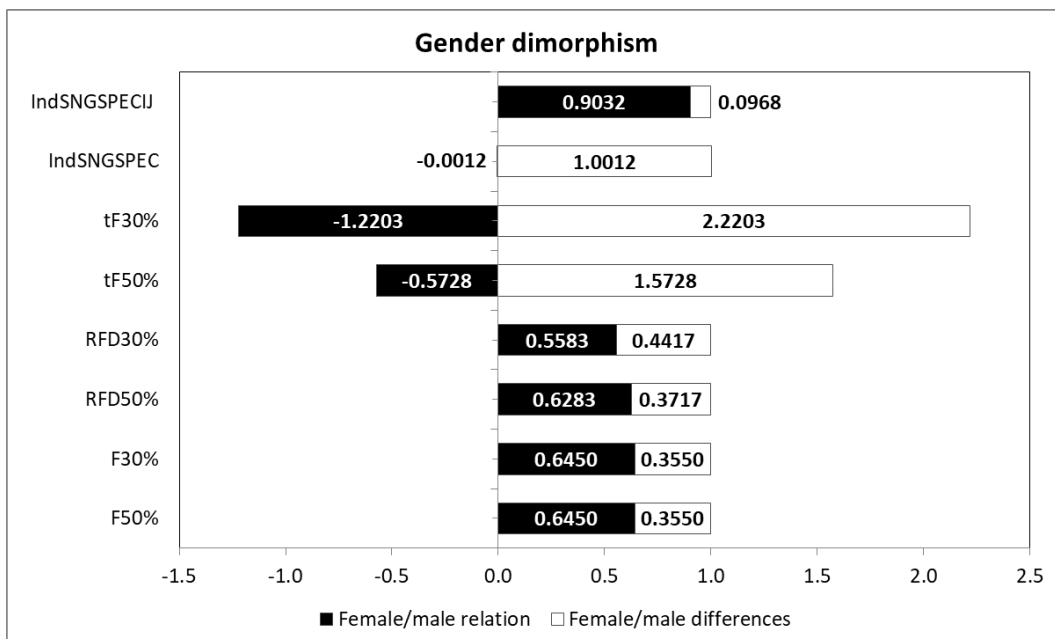
IndSNG_{SPEC} (indeks)	10.736±6.180	57.57	2.426-18.182	10.723±3.769	35.15	4.931-23.485
IndSNG_{SPECIJ} (indeks)	17.032±10.944	64.26	2.656-35.398	18.858±7.114	37.73	8.889-35.740

Multivarijantnom statističkom analizom utvrđena je generalno statistički značajna razlika u svim ispitivanim karakteristikama na nivou **Wilks` Lambda** 0,098, $F = 25,814$, $p = ,000$, među posmatranim subuzorcima. Parcijalne statistički značajne razlike utvrđene su za sledeće varijable: $F_{30\%}$ $F = 44.251$, $p = .000$; u $RFD_{30\%}$ $F = 10,610$, $p = 0,002$; u $tF_{30\%}$ $F = 5,536$, $p = 0,024$; u $RFD_{50\%}$ $F = 7,442$, $p = 0,010$; $F_{50\%}$ $F = 44.251$, $p = .000$. U varijablama $tF_{50\%}$, $IndSNG_{SPECIJ}$ statistički značajna razlika nije ustanovljena (Tabela 2). Tabela 2 prikazuje apsolutne i relativne razlike posmatranih karakteristika sila-vreme kod vrhunskih odbojkaša po polu.

Tabela 2. Parcijalne razlike posmatranih F-t karakteristika kod vrhunskih igrača odbojke u odnosu na pol

Sila - vreme karakteristike	Apsolutne razlike	Relativne razlike %	Značajnost
F_{50%} (N)	724.4*	55.05	0.000
F_{30%} (N)	434.5*	55.05	0.000
RFD_{50%} (N·s)	8227.1*	59.17	0.010
RFD_{30%} (N·s)	10354.1*	79.12	0.002
tF_{50%} (s)	-0.059	-36.42	0.066
tF_{30%} (s)	-0.072*	-54.96	0.024
IndSNG_{SPEC} (index)	-0.013	-0.12	0.994
IndSNG_{SPECIJ} (index)	1.826	10.72	0.543

Rezultati su pokazali da ispitanici muškog pola imaju veće prosečne vrednosti posmatranih karakteristika u sledećim varijablama: u varijabli $F_{50\%}$ razlika je bila na apsolutnom nivou od 724,4 N, odnosno na relativnom nivou od 55,05%; u varijabli $F_{30\%}$ razlika je bila na apsolutnom nivou od 434,5 N, odnosno na relativnom nivou od 55,05%; u promenljivoj $RFD_{50\%}$ razlika je bila na apsolutnom nivou od 8227,1 N·s, odnosno na relativnom nivou od 59,17%; u varijabilnoj $RFD_{30\%}$ razlika je bila na apsolutnom nivou od 10354,1 N·s, odnosno na relativnom nivou od 79,12%; u $IndSNG_{SPECIJ}$ apsolutna vrednost na nivou indeksa iznosila je 1,826, odnosno na relativnom nivou od 10,72%, respektivno. Rezultati su pokazali da odbojkašice imaju više prosečne vrednosti posmatranih karakteristika u sledećim varijablama: $IndSNG_{SPEC}$, razlika u vrednostima indeksa je 0,013, 0,12%; u $tF_{50\%}$ razlika je bila 0,059 s, 36,42%; u $tF_{30\%}$ razlika je bila 0,072 s, 54,96%.



Grafikon 1. Polne razlike posmatranih karakteristika izometrijske sile mišića opružača nogu vrhunskih igrača odbojke

Polni dimorfizam je na nivou od -1,2203 za $tF_{30\%}$ do 0,4417 za $RFD_{30\%}$. Na nivou postignute sile, razlike dimorfizma su bile 0,3550 na apsolutnom nivou. Na nivou eksplozivnosti, razlike dimorfizma su bile na nivou od 0,3717 za $RFD_{50\%}$ do 0,5583 za $RFD_{30\%}$. Na nivou vremenskih parametara od -1,2203 za $tF_{30\%}$ do -0,5728 za $tF_{50\%}$. Na nivou odnosa između razvoja eksplozivne i maksimalne sile od 0,0968 za $IndSNG_{SPECIJ}$ do -0,0012 za $IndSNG_{SPEC}$ (vrednost indeksa) (Grafikon 1).

DISKUSIJA

U funkciji pola, rezultati svih ispitivanih indikatora za procenu izometrijske sile mišića opružača nogu, osim varijable $IndexSNG_{SPEC}$, pokazali su veće vrednosti kod odbojkaša. Najveće razlike izmerene su u opštem pokazatelju eksplozivnosti mišića opružača nogu $RFD_{30\%}$ (79,12%), dok su manje razlike izmerene u varijabli $IndSNG_{SPECIJ}$ (10,72%) (Tabela 2). Rezultati apsolutnih kontraktibilnih karakteristika izometrijske sile ekstenzora nogu kod odbojkašica su pokazali 62,09% deficita u odnosu na prosečne vrednosti kod odbojkaša. U relativnim (indeksnim) vrednostima, kao kriterijumu za ocenjivanje odnosa između razvoja eksplozivne i maksimalne sile, prosečne vrednosti su još niže - 5,30%.

U dosadašnjim istraživanjima, polni dimorfizam je uglavnom praćen na nivou maksimalne izometrijske sile. Prosečne vrednosti procentualnih razlika maksimalne sile u pogledu pola, u dostupnoj literaturi, bile su na nivou od oko 30% u korist ispitanika muškog pola (Komi & Karlson, 1978; Hakkinen, 1991; Demura et al., 2003;

Dopsaj et al., 2009; Schmitz & Shulz, 2010). U cilju utvrđivanja razlike maksimalne izometrijske sile mišića opružača nogu u funkciji pola, Komi & Karlsson (1978) su ustanovili da su prosečne vrednosti maksimalne izometrijske sile ekstenzora nogu kod odbojkašica bile na nivou od 80,3% izmerenih prosečnih vrednosti kod odbojkaša. ($171,9 \pm 30,0$ kp vs $214,2 \pm 54,5$ kp), dok su prosečne vrednosti vremena koje je potrebno da se postigne 70% maksimalne sile kod odbojkašica na nivou od 198,9% izmerenih vrednosti kod odbojkaša (da se postigne isti nivo sile odbojkašicama je bilo potrebno 2 puta više vremena, $748,1 \pm 344,2$ ms naspram $376,3 \pm 255,7$ ms). Slični rezultati su utvrđeni i u cilju definisanja polnog dimorfizma različitih mišićnih grupa kod elitnih košarkaša (Hakkinen, 1991). Koeficijent polnog dimorfizma maksimalne izometrijske sile za mišiće opružače nogu je bio na nivou 0,6955, za maksimalnu silu pregibanja trupa bila je na nivou 0,5240, a za maksimalnu silu opružanja trupa bio je na nivou od 0,5860. Takođe je utvrđeno da je ispitanicima muškog pola potrebno manje vremena da postignu isti nivo maksimalne sile, posebno kod njenih viših vrednosti (za postizanje sile od 2000 N odbojkašicama je potrebno 331 ± 19 ms, a odbojkašima 93 ± 24 ms). Da bi se definisao polni dimorfizam maksimalne sile stiska šake, utvrđeni koeficijent je bio na približno istom nivou kao i maksimalna sila u različitim mišićnim grupama, za desnu ruku 0,5922 i za levu 0,5829 (Dopsaj et al., 2009). Važnost procene stope maksimalnog razvoja sile leži u činjenici da je vreme potrebno za dostizanje specifičnog nivoa razvoja sile ponekad veoma značajno u pogledu pola. Posmatrajući rezultate navedenih istraživanja, razlike u varijabilnom vremenu potrebnom da se dostigne određeni nivo sile bile su veće od razlika u promenljivoj maksimalnoj sili s obzirom na pol. Može se zaključiti da su, u pogledu pola, razlike postignute eksplozivne sile u određenim vremenskim intervalima veće od razlika postignute maksimalne sile. Kod elitnih odbojkašica koje su testirane u ovom istraživanju, razlike vremenskih parametara za procenu izometrijske sile mišića opružača nogu na različitim nivoima postignute sile bile su u rasponu od 54,96% za promenljivo vreme potrebno da se dostigne 30% maksimalne sile do 36,42% za vreme potrebno da dostigne 50% maksimalne sile (Tabela 2).

Dobijene razlike polnog dimorfizma u izmerenim pokazateljima za procenu eksplozivnosti veće su od razlika polnog dimorfizma u izmerenim vrednostima maksimalne izometrijske sile mišića opružača nogu. Izmerene prosečne razlike pokazatelja maksimalne izometrijske sile mišića opružača nogu su na nivou od 55,05%, dok su u varijabli koja karakteriše eksplozivnost na nivou od 69,15%.

Treba naglasiti da u varijablama IndSNGSPEC, IndSNGSPECIJ i tF50% nisu utvrđene statistički značajne razlike u funkciji pola (Tabela 2). Iako su izmerene prosečne vrednosti RFD_{30%} i RFD_{50%} kod odbojkaša bile znatno veće od prosečnih vrednosti kod odbojkašica, u varijablama IndSNGSPEC, IndSNGSPECIJ kao kriterijum za ocenjivanje odnosa stepena razvijenosti eksplozivne i maksimalne sile na 30 % i 50% F_{max} u vremenskim intervalima koji su tipični za odbojku i za realizaciju odbojkaških elemenata, nije utvrđen polni dimorfizam.

U raznim sportskim disciplinama potrebno je određeno vreme da se razvije određeni nivo mišićne sile. Za izvođenje brzih, eksplozivnih pokreta – 50 do 250 ms i

potrebno je više vremena da se postigne apsolutna mišićna sila u različitim mišićnim grupama (300 ms u fleksorima lakta i ekstenzorima kolena). Stoga, u pojedinim sportskim disciplinama visok nivo eksplozivne sile u početnoj (ranoj) fazi mišićne kontrakcije može biti značajan za izvođenje eksplozivnih pokreta. Veliki broj fizioloških faktora može uticati na razvoj RFD sile: tip mišićnog vlakna i sastav teškog lanca miozina (MHC) (Harridge et al., 1996), površina poprečnog preseka mišića (Miller et al., 1993), F_{max} , elastične osobine mišićno – tetivnih kompleksa i inervacija mišića (Aagaard et al., 2002).

Polni dimorfizam u površini poprečnog preseka mišića (ekstenzori nogu – 25% manje nego kod žena), u strukturi mišića, arhitekturi mišića, odnosu dužine vlakana i površine fiziološkog poprečnog preseka (površina vlakana tipa II, 7700 do 4040 μm^2), faktori su razlika u brzini nervne aktivacije mišića, razlika u masi skeletnih mišića (33,0 do 21,0 kg, 38,4 do 30,6%) i statistički značajna korelacija mišićne sile i poprečnog preseka mišićne površine ekstenzora nogu su faktori koji utiču na niži nivo mišićne sile u ženskom subuzorku u odnosu na muški (Miller et al., 1993; Aagaard et al., 2002). Međutim, veliki broj autora (Komi & Karlsson, 1978; Hakkinen, 1991; Dopsaj et al., 2009; Janssen et al., 2000) sugeriše da su razlike dobijene u izmerenim vrednostima maksimalne izometrijske sile različitih mišićnih grupa i kod dr. fizičke sposobnosti – maksimalna snaga, izdržljivost itd., ne mogu se objasniti samo na osnovu polnih razlika, već na osnovu ukupnog intenziteta i obima i/ili vrste treninga za razvoj sile i snage u toku trenažnog procesa, i kako takvi su faktori koji zaslužuju posebnu pažnju u radu sa sportistima. Autori su zaključili da se dobijene razlike u izmerenim vrednostima mišićne sile i u površini poprečnog preseka mišića ekstenzora nogu između testirane obučene i neobučene populacije mogu objasniti razlikama u mišićnom tkivu i maksimalnoj nervnoj aktivaciji mišića tokom specifičnog treninga, odnosno adaptaciji na specifičan trening. obuka (Komi & Karlsson, 1978; Hakkinen, 1991; Aagaard et al., 2002; Andersen & Aagaard; 2006; Andersen et al., 2010).

Na osnovu rezultata različitih istraživanja, očigledan je porast eksplozivne mišićne sile (kontraktilni RFD i impuls) nakon treninga snage sa velikim otporom. Prosečna vrednost RFD pod uticajem treninga snage sa teškim opterećenjem je povećana za 23–26% u ranoj fazi (0–50 ms) i u kasnoj fazi mišićne kontrakcije (100–200 ms) za 17–20%. Relativna vrednost RFD (RFD/F_{max}) se povećava za 15% pod uticajem treninga i odgovara samoj početnoj fazi mišićne kontrakcije jer podrazumeva vremenski interval od 30 ms u odnosu na početak kontrakcije (34 ms pre treninga, 28,5 ms nakon treninga). Prema Aagaardu et al., (2002), ova promena relativnih RFD svojstava ukazuje na to da su se kvalitativne promene mogle desiti u treningu, tj. potencijalno uključuju promene u regrutovanju motoneurona i učestalosti aktiviranja, povećanu aktivnost dubleta pražnjenja i promene u sastavu MHC izoforme i kinetika sarkoplazmatskog retikuluma Ca^{2+} . Veliki broj istraživanja o uticaju treninga sa otporom visokog intenziteta na kontraktilnu brzinu razvoja sile (RFD) u ranoj (<100 ms) i kasnoj fazi (>200 ms) porasta mišićne sile pokazalo je da ovaj vid treninga nije najbolji izbor ako je cilj povećanje proizvodnje eksplozivnih pokreta (Andersen et al., 2010). U nameri da testira uticaj kvalitativne i kvantitetne

adaptacije mišića, kao odgovora na trening otpora visokog intenziteta na kontraktilne karakteristike brzine razvoja sile (RFD) u ranoj (<100 ms) i kasnoj fazi (>200 ms), Andersen et al., (2010) zaključuju da u različitim vremenskim intervalima RFD različito reaguju na trening visokog intenziteta otpora tokom različitih uticaja na kvalitet i kvantitet adaptacije mišića u ranoj i kasnijoj fazi RFD. Rezultati su pokazali da je RFD veći u kasnijoj fazi generisanja mišićne sile pod uticajem treninga visokog intenziteta otpora, dok u ranoj fazi nisu primećene promene. Relativna vrednost RFD (RFD/F_{max}) u ranoj fazi je niža. Kvantitativno, površina poprečnog preseka mišićnih vlakana i F_{max} su se povećali, dok se kvalitativno smanjio relativni udeo mišićnih vlakana tipa IIX. Analiza višestruke regresije je pokazala da dok je povećani F_{max} pozitivno uticao i na rani i na kasni RFD, smanjeni tip IIX negativno utiče samo na rani RFD.

Rezultati prethodnog istraživanja (Ivanović, 2010), pokazali su značajno veće vrednosti testiranih osnovnih i specifičnih karakteristika eksplozivnosti mišića opružaća nogu kod elitnih odbojkašica, u odnosu na nespecifičnu i netreniranu populaciju. Vrednosti standardizovanih razlika između posmatranih varijabli različite trenirane populacije bile su između 10731,65 N-s, odnosno 338,32% (nespecifično obučene sportistkinje) za varijablu $RFD_{50\%LEGEXTISO}$ i 0,2472 (vrednost indeksa), odnosno 31,61% (neobučene grupe) deficita za promenljivi IndeksSNG u odnosu na vrhunske odbojkašice. Postojanje interakcije između sportske discipline i proizvodnje sile mišića opružaća nogu u odnosu na nespecifično obučenu i neobučenu populaciju ne iznenađuje, posebno kod sportista, kod kojih je adaptacija najintenzivnija na nivou sile (Ivanović, 2009; Ivanović et al., 2019; Schiltz et al., 2009). Učešće mišića opružaća nogu u sportovima koje karakteriše velika raznovrsnost skokova je veoma značajno. Različite metode treninga i značaj ekstenzora nogu kod odbojkašica poboljšavaju eksplozivnost – odnos RFD i maksimalne sile na različitim nivoima ispoljavanja sile ekstenzora nogu kod vrhunskih odbojkašica u odnosu na nespecifično obučenu populaciju. Definišući osnovne i specifične karakteristike eksplozivne sile mišića opružaća nogu kod dobro obučanih odbojkašica, takmičarki u Drugoj ligi, testiranih u stojećem stavu, Rajić et al., Abela (2008) su dobili prosečne vrednosti indeksa sinergije osnovne eksplozivne sile i maksimalne izometrijske sile mišića opružaća nogu IndeksSNG = 0,7598. Upoređujući rezultate iz tog i istraživanja Ivanović (2010), vrednosti razlike su na nivou od 35,45% ili 0,2694 deficita kod vrhunskih odbojkašica. Rezultati su takođe pokazali da vrednosti eksplozivne sile mišića opružaća nogu na nivoima od 100 ms, 180 ms, 250 ms, kao i na nivou od 50% maksimalne sile značajno prevazilaze dobijene vrednosti osnovne eksplozivnosti (približno četiri puta veće). Rezultati ovog istraživanja su potvrdili ove rezultate – vrednosti specifične izometrijske sile mišića opružaća nogu veće su od dobijenih vrednosti osnovne eksplozivne sile za 5,59 puta.

ZAKLJUČAK

U ovom radu su definisane razlike osnovnih i specifičnih vremenskih karakteristika izometrijske sile mišića opružača nogu kod vrhunskih srpskih odbojkaša u funkciji pola. Multivarijantnom statističkom analizom utvrđene su generalno statistički značajne razlike između posmatranih subzoraka u funkciji pola na nivou Wilks` Lambda 0,098, $F = 25,814$, $P = ,000$, u korist muških ispitanika. Što se tiče posmatranih kontraktilnih karakteristika, polni dimorfizam je bio na nivou od 0,3550 u parametru postignute sile, na nivou od 0,4417 u $RFD_{30\%}$ do 0,3717 u $RFD_{50\%}$, dok je u vremenu potrebnom da se postigne određeni nivo sile, dimorfizam je bio na nivou od -1,2203 u $tF_{30\%}$ do -0,5728 $tF_{50\%}$, a u sinergijskom indeksu bio je na nivou od 0,0968 za $IndSNG_{SPECIJ}$ do -0,0012 za $IndSNG_{SPEC}$. Kod varijabli $tF_{50\%}$, $IndSNG_{SPEC}$ i $IndSNG_{SPECIJ}$ nije ustanovljena statistički značajna razlika. Uopšteno govoreći, vrlo je verovatno da se ove razlike mogu objasniti ne samo polnim razlikama u faktorima kao što su: površina poprečnog preseka, karakteristike mišićnih vlakana, razlike u masi skeletnih mišića i raspodela mišićne mase u gornjim udovima, već i drugim zajedničkim anatomske razlikama, kao i na osnovu ukupnog intenziteta i obima i/ili vrste treninga sile i snage tokom trenažnog procesa.

LITERATURA

Aagaard, P., Simonsen, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, P., & Poulsen, P. D. (2002). Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *Journal of Applied Physiology*, 93, 1318–1326.

American College of Sports Medicine (2006). *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription* (7th Ed.). USA: Lippincott Williams & Wilkins.

Andersen, L. L., & Aagaard, P. (2006). Influence of maximal muscle strength and intrinsic muscle contractile properties on contractile rate of force development. *European Journal of Applied Physiology*, 96, 46–52.

Andersen, L. L., Andersen, J. L., Zebis, M. K., & Aagaard, P. (2010). Early and late rate of force development: differential adaptive responses to resistance training? *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20(1), 162–169.

Demura, S., Yamaji, S., Nagasawa, Y., Sato, S., Minami, M., & Yoshimura, Y. (2003). Reliability and gender differences of static explosive grip parameters based on force – time curves. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 43, 38–35.

Dopsaj, M., Ivanović, J., Blagojević, M., & Vučković, G. (2009). Descriptive, functional and sexual dimorphism of explosive isometric hand grip force in healthy university students in Serbia. *FACTA UNIVERSITATIS Series: Physical Education and Sport*, 7(2), 125–139.

Dopsaj, M., & Ivanović, J. (2011). The Analysis of the Reliability and Factorial Validity in the Basic Characteristics of Isometric F-t curve of the Leg Extensors in Well Trained Serbian Males and Females. *Measurement Science Review*, 11(5), 165–172.

Hair, J., Anderson, R., Tatham, R., & Black, W. (1998). *Multivariate Data Analysis* (Fifth Ed.). New Jersey, USA: Prentice - Hall, Inc.

Hakkinen, K. (1991). Force production characteristics of leg extensor, trunk flexor and extensor muscles in male and female basketball players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 31, 325–331.

Harridge, S. D., Bottinelli, R., Canepari, M., Pellegrino, M. A., Reggiani, C., Esbjornsson, M., & Saltin, B. (1996). Whole-muscle and single- fibre contractile properties and myosin heavy chain isoforms in humans. *Pflugers Archiv European Journal of Physiology*, 432, 913–920.

Ivanović J. (2010). *Isometric F-t characteristics of leg extensors in top level volleyball players in regard to different trained and untrained persons* (Unpublished MSci thesis). Belgrade: Faculty of Sport and Physical Education. (In Serbian).

Ivanović, J. (2010a). Characteristics of indicators for evaluating leg extensors explosiveness in the elite volleyball players in Serbia of both genders. *Faculty of sport and physical education Yearbook*, 16, 159–185.

Ivanović, J., Dopsaj, M., Nešić, G., & Stanković, R. (2010). Sexual dimorphism in different indicators for evaluating isometric leg extensors explosive force. *Physical Culture, Journal of sport Science & Physical Education*, 64(1), 46–62.

Ivanović, J., Dopsaj, M., & Nešić, G. (2011). Factor structure differences of indicators for evaluating isometric leg extensors explosive force in female volleyball athletes and different trained female population. *British Journal of Sports Medicine*, 45, 542.

Ivanović, J., & Dopsaj, M. (2013). Reliability of force-time curve characteristics

during maximal isometric leg press in differently trained high-level athletes. *Measurement*, 46 (7), 2146–2154.

Ivanović, J., Dopsaj, M., Jakovljević, S., & Karalejić, M. (2019). Relationship between isometric neuromuscular function of the leg extensors with performance tests in basketball. *Russian open medical journal*, 8, e0101.

Ivanović, J., Dopsaj, M., & Gajević, A. (2020). Early and Late Rate of Force Development of the Leg Extensors According to Playing Position in Basketball. In: K. Dupuis (Ed.), *Essential Topics in Basketball* (pp. 85-111). New York, USA: NOVA Publishers.

Janssen, I., Heymsfield, S. B., Wang, Z., & Ross, R. (2000). Skeletal muscle mass and distribution in 468 men and women aged 18-88 yr. *Journal of Applied Physiology*, 89, 81–88.

Jarić, S. (1987). Biomechanical studies of maximal counter movement jump and their implication in practice. *Physical Culture*, 41(1), 30–37.

Komi, P. V., & Karlsson, J. (1978). Skeletal muscle fibre types, enzyme activities and physical performance in young males and females. *Acta Physiologica Scandinavica*, 103(2), 210–219.

Miller, A. E. J., MacDougall, J. D., Tarnopolsky, M. A., & Sale, D. G. (1993). Gender differences in strength and muscle fiber characteristics. *European Journal of Applied Physiology*, 66, 254–262.

Muminović, J., Pržulj, R., & Jovanović, R. (2022). Uticaj visokointezivnog intervalnog treninga kod učenika. *Sport i Zdravlje*, 17(1), 31-42.

Rajić, B., Dopsaj, M., & Abela, C. P. (2008). Basic and specific parameters of the explosive force of leg extensors in high trained serbian female volleyball players: characteristics of the isometric force- time curve model. *Serbian Journal of Sports Sciences*, 2(4), 131–139.

Schiltz, M., Lehance, C., Maquet, D., Bury, T., Crielaard, J.M., & Croisier, J.L. (2009). Explosive Strength Imbalances in Professional Basketball Players. *Journal of Athletic Training*, 44(1), 39–47.

Schmitz, R. J., & Shultz, S. J. (2010). Contribution of knee flexor and extensor strength on sex-specific energy absorption and torsional joint stiffness during drop jumping. *Journal of Athletic Training*, 45(5), 445-452.

Zatsiorsky, V. M., & Kraemer, W. J. (2006). *Science and practice of strength training* (Sec. Ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.

Ziv, G., & Lidor, R. (2010). Vertical jump in female and male volleyball players: a review of observational and experimental studies. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 20(4), 556–567.

SPECIFIC FORCE-TIME CHARACTERISTICS OF LEG EXTENSORS IN ELITE VOLLEYBALL PLAYERS BOTH GENDER IN SERBIA

ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLE

Summary: Adequate preparation of the leg extensors is highly important especially in sports which involve several jumping techniques. Information on force-time characteristics of the certain muscle group is the basic information on athlete ability which are gathered with intention to control the athlete's physical preparation. The aim of this paper was to determine descriptive and sexual dimorphism of different specific isometric characteristics of force-time model related to leg extensors in elite volleyball Serbian players. Nineteen male (height=199.21±4.94 cm, mass=91.05±6.95 kg, age=22.58±2.97 years) and twenty female (height=184.65±7.00 cm, mass=70.65±6.15 kg, age=22.92±3.73 years) elite volleyball players performed a standardized "isometric leg press" test in order to assess the characteristics of isometric force from their leg extensors. The measurement range was defined by 8 variables according to 4 different dimensions - 1) the level of achieved force, 2) rate of force development, 3) the time necessary for reaching the certain level of force, 4) different index parameters; covering the space of basic, specific and special characteristics of leg extensors muscle force. MANOVA established that there is a significant difference of $p < 0.05$ in all contractile characteristics among observed sub-samples at the level of Wilks' Lambda 0.098, $F = 25.814$, $p = 0.000$. The present findings demonstrated that the male volleyball players produce higher values than the female players in all contractile characteristics of covering the space of specific and special characteristics of leg extensors muscle force. It is highly likely that these differences cannot be explained only on the basis of sexual differences, but on the basis of overall intensity and volume and/or type of power and strength training during the training process as well, factors which deserves attention in work with athletes. The obtained data can be used as a reverse information on characteristics of a certain leg extensors contractile ability in elite volleyball players in order to follow fitness profile of athletes, to control and optimize training process.

Key words: isometric force, sexual dimorphism, leg press, volleyball

Primljeno:30.11.2022.

Odobreno:12.01.2023.

Korespondencija:

Aco Gajević,

Univerzitet "Union Nikola Tesla", Fakultet za sport, Beograd, Srbija

e-mail: aco.gajevic@fzs.edu.rs