

UNIVERZITET U BEOGRADU
FAKULTET SPORTA I FIZIČKOG VASPITANJA

Milena Z. Živković

**Mehanička svojstva različitih mišićnih grupa
procenjena motoričkim testovima**

doktorska disertacija

Beograd, 2017.

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF SPORT AND PHYSICAL EDUCATION

Milena Z. Zivkovic

**Mechanical properties of different muscle
groups assessed with functional tests**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2017.

Informacije o mentoru i članovima komisije:

Mentor:

Dr Slobodan Jarić, redovni profesor; gostujući profesor

Department of Kinesiology and Applied Physiology

University of Delaware

541 S. College Ave

Newark

DE 19716

SAD;

Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja

Univerzitet u Beogradu

Blagoja Parovića 156

11 000

Srbija

Članovi komisije:

Dr Miloš Kukolj, redovni profesor

Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja

Univerzitet u Beogradu

Blagoja Parovića 156

11 000

Srbija

Dr Dejan Suzović, vanredni profesor

Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja

Univerzitet u Beogradu

Blagoja Parovića 156

11 000

Srbija

Dr Nenad Stojiljković, docent

Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja

Univerzitet u Nišu

Čarnojevića 10a

18 000

Srbija

Datum odbrane: _____

Zahvalnica

Pisanje doktorske disertacije, svakako predstavlja izazov koji se ne može savladati samostalno, iz tog razloga želela bih da se zahvalim sjajnom timu ljudi bez kojih ne bi bilo moguće ovako efikasno završiti.

Pre svega, posebno bih se zahvalila svom mentoru, prof. dr Slobodanu Jariću koji mi je ukazao veliku čast samim tim što me je odabrao kao svog kandidata i omogućio priliku da sa njim saradujem. Uz njegovu pomoć i neiscrpnu motivaciju bilo je lako prošetati se ovim putem. Hvala profesore, načili ste me daleko više od okvira predmeta i metodologije istraživanja. Slušati Vas u prepodnevnom časovima u laboratoriji, o istoriji, piscima, životnim iskustvima bilo je pravo zadovoljstvo.

Specijalnu zahvalnost dugujem prof. dr Milošu Kukolju bez čijeg doprinosa ova disertacija ne bi bila kompletna. Takođe, njegova filozofija razmišljanja i pisanja biće mi od velikog značaja u daljem istraživačkom radu.

Zahvalila bih se prof. dr Dejanu Suzoviću koji je uvek imao vremena za konsultacije, a pored svega tu su uvek bili i pozitivni, dobronamerni saveti koji su me motivisali. Prof. dr Draganu Mirkovu na ukazanom poverenju i saradnji na master i doktorskim studijama.

Posebnu zahvalnost dugujem prof. dr Aleksandru Nedeljkoviću koji mi je ukazao poverenje i angažovao na projektu i tako pružio šansu da budem deo ovog velikog i sjajnog tima. Deo ovog tima, neizostavno je i kolega Saša Đurić, koji je omogućio da sve ovo protekne kako on kaže, opušteno. Zahvaljujući njemu bilo je lako ući svaki dan u haotičnu laboratoriju i sprovesti sva istraživanja.

Veliko hvala svim ispitanicima koji su izdvojili vreme i bez obzira na ispitne rokove redovno dolazili na sva testiranja, kao i ostalim profesorima i kolegama koji su svojim mišljenjem i savetima bili deo ove velike priče. Takođe, zahvalila bih se mojim najdražim prijateljima koji su bili uz mene i slušali moje nedoumice.

Na kraju zahvalila bih se svojim roditeljima Zoranu i Marini i bratu Nikoli, koji su mi omogućili da budem ovde danas, sa još jednom diplomom, i sa još jednim iskustvom više.

Predgovor

Doktorska disertacija je urađena u okviru projekta pod nazivom: „Mišićni i neuralni faktori humane lokomocije i njihove adaptivne promene“ (ev. broj 175037; rukovodilac projekta prof. dr Aleksandar Nedeljković) finansiran od Ministarstva nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

Materijal prikazan u doktorskoj disertaciji zasnovan je na rezultatima koji su objavljeni u naučnim časopisima od međunarodnog značaja.

Originalni naučni članci:

Zivkovic Z. M., Djuric, S., Suzovic, D., Jaric, S. (2016). A simple method for assessment of muscle force, velocity, and power producing capacities from functional movement tasks.

Journal of Sports Sciences, 35 (13), 1287 – 1293.

Zivkovic Z. M., Djuric, S., Suzovic, D., Jaric, S. (2017). Muscle force-velocity relationships observed in four different functional tests. *Journal of Human Kinetics*, 56 (1), 39 – 49.

Rezime

Mehanička svojstva različitih mišićnih grupa procenjena motoričkim testovima

Poznavanjem mehaničkih svojstava mišića može se bolje razumeti funkcionisanje lokomotornog aparata i proceniti uspeh u sportu i ishod rehabilitacije. Svakodnevna ljudska kretanja, odnosno prirodni oblici kretanja zasnivaju se na višezglobnim pokretima. Odnos između sile i brzine (F-V relacija) pri izvođenju višezglobnih pokreta je jedna od često proučavanih mehaničkih osobina mišića. Jedan od glavnih razloga za to je mogućnost da se F-V relacijom istovremeno procenjuje sila (F), brzina (V) i snaga (P) mišićnih kapaciteta, što nije slučaj kod jednozglobnih pokreta koji se često primenjuju u rutinskim testiranjima.

Cilj ove disertacije je bio da istraži (1) oblik i jačinu F-V relacije kod različitih mišićnih grupa koji se zasnivaju na višezglobnim pokretima, pri tom da (2) uporedi vrednosti dobijene iz srednjih (SV) i maksimalnih (MAX) varijabli F i V, a zatim da (3) ispita parametre sile, brzine i snage koji predstavljaju mehanička svojstva testiranih mišića, kao i da (4) proceni nivo slaganja između standardnog regresionog modela baziranog na više različitih opterećenja i modela dva opterećenja, koji se zasniva na direktnoj proceni F-V relacije na osnovu samo dva opterećenja.

U ovoj disertaciji uzorak je činilo 12 ispitanika koji su izvodili četiri motorička testa sa različitim veličinama opterećenja: Skok uvis sa počučnjem (SKOK), Kratki Vingejt test u trajanju 6 s (BICIKL), Izbačaj tega sa grudi (IZBAČAJ) i Vučenje tega (VUČENJE). Zatim je primenjena linearna regresija na SV i MAX vrednostima varijabli F i V kako bi se odredila linearna F-V relacija i regresioni parametri.

Dobijene individualne F-V relacije su bile veoma visoke (medijane koeficijenta korelacije imale su vrednosti od 0.930 do 0.995) i približno linearne nezavisno od testa i tipa varijabli. Parametri relacije dobijeni iz SV i MAX vrednosti varijabli F i V su bili visoko povezani kod svih testova (0.789-0.991), osim delom kod testa SKOK (0.485-0.930). Ipak, generalizacija parametara dobijenih iz F-V relacije bila je nekonzistentna i u proseku umerena. Kad su upoređivana dva modela, kod sva četiri testa dobijena je jaka veza između njihovih parametara (medijana $r = 0.98$), i nije bilo zabeleženih razlika između opsega (fiksno

odsutapanje ispod 3.4 %). Apsolutne vrednosti, korelacije i odstupanje između parametara regresionog modela i modela dva opterećenja pokazali su visoki nivo slaganja.

Na osnovu dobijenih rezultata konstatovano je da je odnos između F i V kod višezglobnih pokreta visoko linearan nezavisno od primenjenog motoričkog testa i tipa varijabli. Zbog jednostavnosti, u budućim testiranjima preporučuje se pre primena maksimalnih vrednosti F i V, nego li njihovih srednjih vrednosti. Iako je dobijena generalizacija parametara ograničena u zavisnosti od motoričkog zadatka, parametri omogućuju da saznamo mehanička svojstva testiranih mišića. Takođe, dobijeni konzistenti podaci kod sva četiri motorička testa podržavaju konkurentnu validnost evaluiranog modela dva opterećenja u odnosu na standardni regresioni model koji se koristi za procenjivanje mišićne F-V relacije. Zbog toga, dodavanjem samo jednog opterećenja većeg intenziteta standardnim procedurama testiranja mišićnih svojstava u različitim uslovima (npr. maksimalan skok, trčanje, vožnja bicikle, veslanje, dizanje, bacanje) može se odrediti F, V i P testiranih mišića. Kao rezultat navedenog, model dva opterećenja može poboljšati proceduru testiranja i rešiti brojne nekonzistentnosti i probleme u literaturi u vezi sa interpretacijom nalaza rutinskih motoričkih testova.

Ključne reči: *snaga, opterećenje, generalizacija, regresija, mehanika.*

Naučna oblast: Fizičko vaspitanje i sport

Uža naučna oblast: Nauke fizičkog vaspitanja, sporta i rekreacije

UDK broj: 796.012.11:612.766 (043.3)

Summary

Mechanical properties of different muscle groups assessed with functional tests

By knowing the mechanical properties of muscles we can better understand the function of the locomotor system and also be able to evaluate the outcomes of various athletic training and rehabilitation procedures. Everyday human motor activity is inevitably based on the multi-joint movements. The force-velocity (F-V) relationship of the muscles performing multi-joint maximum performance tasks has been often used to evaluate the mechanical properties of the tested muscles. An important reason for that is the possibility to selectively assess the force (F), velocity (V) and power (P) generating capacities of muscles performing functional movements that cannot be assessed from a single mechanical condition typically applied in routine testing procedures.

The aims of the present study were to (1) *investigate the pattern and strength of the F-V relationships observed in different muscle group based on multi-joint movements*, (2) *compare the outcomes observed from averaged (AVG) and maximum (MAX) F and V variables*, (3) *explore the parameters depicting F, V and P producing capacities of the tested muscles*, and (4) *evaluate the level of agreement between the routinely used “multiple-load model” based on a number of loading conditions and a simple “two-load model” based on direct assessment of the F-V relationship from only 2 external loads applied*.

Twelve subjects were tested on the maximum performance countermovement vertical jumps without arm swing (JUMP), short Wingate test (CYCLING), bench press throws (BPRESS), and bench pulls (BPULL) performed against different external resistances. Thereafter, a linear regression obtained from both the AVG and MAX F and V variables was used for calculating the F-V relationship and its regression parameters.

The observed individual force-velocity relationships were exceptionally strong (median correlation coefficients ranged from $r = 0.930$ to $r = 0.995$) and approximately linear independently of the test and variable type. Most of the relationship parameters observed from the averaged and maximum force and velocity variable types were strongly related in all tests ($r = 0.789-0.991$), except partly for those in JUMP ($r = 0.485-0.930$). However, the generalizability of the force-velocity relationship parameters depicting maximum force,

velocity and power of the tested muscles across different tests was inconsistent and on average moderate. All 4 tested tasks revealed both exceptionally strong relationships between the parameters of the 2 models (median $r = 0.98$) and a lack of meaningful differences between their magnitudes (fixed bias below 3.4 %). Namely, all absolute values, the relationships, and the bias observed between the models' parameters revealed a high level of agreement between the multiple-load and the two-load model.

To conclude, the F-V relationship of the muscles performing multi-joint movements proved to be exceptionally strong and linear independently of the test and variable type. Nevertheless, due to their relative simplicity, one could recommend using maximum values of F and V, rather than their averaged values. Although generalizability of parameters could be limited across different tasks, the obtained relationship parameters discern among important mechanical capacities of the tested muscles. A rather consistent set of findings observed from 4 distinctive functional movement tests support the concurrent validity of the evaluated two-load model with respect to the standard multiple-load models applied to assess the muscle F-V relationships. Therefore, an addition of just another external load to a standard tests of muscle capacities based on the functional movements typically conducted under a single set of external conditions (e.g., maximum jumping, running, cycling, rowing, lifting, throwing) could discern among the F, V, and P producing capacities of the tested muscles. As a result, the use of the two-load model could both improve routine testing methods and resolve a number of debated issues in literature regarding the interpretation of the outcomes of various functional movement tests.

Key Words: *power, load, generalizability, regression, mechanics.*

Scientific field: Physical education and sport

Narrow scientific field: Science of physical education, sports and recreation

UDC number: 796.012.11:612.766 (043.3)

Sadržaj:

1. UVOD	1
2. TEORIJSKI OKVIR RADA	2
2.1. MOTORIČKE SPOSOBNOSTI	2
2.2. SILA, BRZINA I SNAGA KAO MOTORIČKE SPOSOBNOSTI.....	5
2.2.1. <i>SILA</i>	5
2.2.2. <i>BRZINA</i>	7
2.2.3. <i>SNAGA</i>	8
2.3. MEHANIČKA SVOJSTVA MIŠIĆA	10
2.4. TESTIRANJE SILE, BRZINE I SNAGE	11
2.4.1. <i>Karakteristike standardnih testova za procenu sile</i>	13
2.4.2. <i>Karakteristike standardnih testova za procenu brzine</i>	14
2.4.3. <i>Karakteristike standardnih testova za procenu snage</i>	14
2.5. NEDOSTACI STANDARDNIH TESTOVA	16
2.6. RELACIJA SILA-BRZINA	17
3. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA	19
3.1. RELACIJA SILA-BRZINA IZOLOVANIH MIŠIĆA I JEDNOZGLOBNIH POKRETA.....	20
3.2. RELACIJA SILA-BRZINA MIŠIĆA VIŠEZGLOBNIH POKRETA	23
3.2.1. <i>Parametri linearne regresije dobijeni iz relacije sila-brzina</i>	27
3.2.2. <i>Primena parametara linearne regresije u testiranju</i>	29
4. PROBLEM ISTRAŽIVANJA	32
5. PREDMET, CILJ I ZADACI ISTRAŽIVANJA	34
6. HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA	35
7. MIŠIĆNA RELACIJA SILA-BRZINA KOD ČETIRI RAZLIČITA MOTORIČKA TESTA	37
7.1. UVOD	37
7.2. METODE.....	39
7.2.1. <i>Uzorak ispitanika</i>	39
7.2.2. <i>Procedure istraživanja</i>	39
7.2.3. <i>Analiza podataka</i>	42

7.3.	REZULTATI ISTRAŽIVANJA I	44
7.4.	DISKUSIJA	50
7.5.	ZAKLJUČAK ISTRAŽIVANJA I	52
8.	JEDNOSTAVNA METODA ZA PROCENU MIŠIĆNE SILE, BRZINE I SNAGE PRIMENOM MOTORIČKIH TESTOVA	54
8.1.	UVOD	54
8.2.	METODE	56
8.2.1.	<i>Ispitanici</i>	56
8.2.2.	<i>Motorički testovi</i>	56
8.2.3.	<i>Spoljašnje opterećenje</i>	57
8.2.4.	<i>Protokol istraživanja</i>	58
8.2.5.	<i>Analiza podataka</i>	58
8.2.6.	<i>Statistička analiza</i>	59
8.3.	REZULTATI ISTRAŽIVANJA II	60
8.4.	DISKUSIJA	64
8.5.	ZAKLJUČAK ISTRAŽIVANJA II	65
9.	GENERALNI ZAKLJUČAK	66
10.	POTENCIJALNI ZNAČAJ ISTRAŽIVANJA	67
11.	LITERATURA	69
	PRILOZI	79
	BIOGRAFIJA	93
	PUBLIKACIJE	95

Sadržaj tabela i slika:

Tabela 1. Individualne F-V relacije kod četiri motorička testa i dva tipa varijabli.	46
Tabela 2. Pirsonov koeficijent korelacije između istih parametara F-V relacije kod četiri motorička testa, prikazan posebno za srednje i maksimalne vrednosti sile i brzine.	49
Slika 1. Prikaz Hilove krive, F-V relacija (puna linija) i P-V relacija (isprekidana linija). F_{opt} odgovara mišićnoj sili koja je potrebna da bi se savladalo optimalno spoljnje opterećenje za šta je potrebna V_{opt} (optimalna brzina skraćanja) kako bi se razvila maksimalna snaga mišića.	21
Slika 2. Linearna F-V relacija između kočione sile točka i brzine okretanja pedala prikazana za tri ispitanika (Dickinson, 1928).	24
Slika 3. F-V relacija (puna linija) i P-V relacija (isprekidana linija) kod višezglobnih pokreta. F_{opt} predstavlja optimalnu silu, a V_{opt} optimalnu brzinu za razvoj maksimalne snage.	28
Slika 4. Prikaz motoričkih testova za mišiće nogu (SKOK i BICIKL) i mišiće ruku (IZBAČAJ i VUČENJE).	40
Slika 5. Linearna (puna linija) i polinomijalna regresija (isprekidana linija) urađene na usrednjenim podacima F i V ispitanika kod četiri motorička testa, prikazane posebno na srednjim (pun kvadratić) i maksimalnim (prazan kvadratić) vrednostima sile i brzine.	44
Slika 6. Koeficijenti korelacije između istih parametara F-V relacije srednjih i maksimalnih vrednosti sile i brzine kod četiri motorička testa ($*p < 0.05$, $**p < 0.01$).	47
Slika 7. (A.) Linearna regresija primenjena na usrednjenim vrednostima ispitanika prikazana za četiri motorička testa. Strelicama su prikazani koeficijenti korelacije. (B.) Poređenje standardnog regresionog modela (isprekidana linija) sa modelom dva opterećenja (puna linija, zaokruženo najmanje i najveće opterećenje). Prikazani grafik je urađen na reprezentativnim podacima jednog ispitanika za test IZBAČAJ.	60
Slika 8. Prikaz parametra F_{max} (gornji panel), V_{max} (srednji panel), i P_{max} (donji panel) na usrednjenim podacima dobijenim iz standardnog regresionog modela (beli stubići) i modela dva opterećenja (crni stubići) kod četiri motorička testa (srednja vrednost i standardna devijacija). Značajne razlike ($*p < 0.05$) između dva modela prikazane su zvezdicom, a ispod nje u zagradi se nalazi odgovarajuća veličina efekta.	61
Slika 9. Koeficijenti korelacije između istih parametara dobijenih iz standardnog regresionog modela i modela dva opterećenja (odgovaraju 95 % intervalu pouzdanosti (CI).	62
Slika 10. Bland Altman analiza koja prikazuje nivo slaganja tri parametra (F_{max} , V_{max} i P_{max}) dobijenih iz standardnog regresionog modela i modela dva opterećenja prikazanih kod četiri motorička testa. Isprekidane linije prikazuju fiksno odstupanje, dok tačkaste linije predstavljaju 95 % nivo slaganja.	63

Skraćenice:

BICIKL, kratki Vingejt test

CV, koeficijent varijacija

CI, interval pouzdanosti

F, sila

F_{\max} , parametar maksimalne sile

F-V relacija, relacija sila-brzina

ICC, interklas korelacioni koeficijent

IZBAČAJ, test izbačaj tega sa grudi

MAX, maksimalne vrednosti sile i brzine

P, snaga

P_{\max} , parametar maksimalne snage

P-V relacija, relacija snaga-brzina

r, koeficijent korelacije

R^2 , koeficijent determinacije

SKOK, test skok uvis sa počučnjem

SV, srednje vrednosti sile i brzine

V, brzina

V_{\max} , parametar maksimalne brzine

VUČENJE, test vučenje tega

1. Uvod

Svakodnevne aktivnosti čoveka sastoje se iz prirodnih oblika kretanja, odnosno hodanja, trčanja, penjanja, provlačenja, guranja, dodavanja, hvatanja i dr. Sva nabrojana kretanja omogućavaju uspešno savladavanje prostora, prepreka, otpora i uspešnu manipulaciju sa različitim objektima. Ove aktivnosti čine osnovne kretne aktivnosti čoveka, a njihovom kombinacijom se mogu izgraditi kompleksna i zahtevna kretanja, kao što je izvođenje tehničkih elemenata nekog sporta. Bilo da su prirodni oblici kretanja ili njihove kombinacije, pokreti koje čovek najčešće vrši zahtevaju uključ enje većeg broja mišića i više zglobova (više zglobni pokreti). Ekonomičnijim, a samim tim i efikasnim funkcionisanjem lokomotornog aparata postiže se određeni uspeh kako u svakodnevnim aktivnostima koja zahtevaju mišićna naprezanja tako i sportu, fizičkom vaspitanju, rekreaciji i rehabilitaciji. Iz tog razloga veoma je bitno poznavati mehanička svojstva mišića i načine njihove procene, jer se bez povratne informacije ne može sistematično uticati na njihove promene. Testiranje je sastavni deo svih pomenutih oblasti, i od velike je važnosti da procedura testiranja bude jednostavna, a da se pri tom odrede najznačajnija mehanička svojstva mišića. Pod osnovnim mehaničkim svojstvima mišića podrazumevaju se maksimalna sila, brzina i snaga. U praksi postoje različite vrste standardizovanih testova. Međutim, ove testove često karakterišu kretanja koja ne predstavljaju svakodnevne i sportske aktivnosti, već jednozglobni pokreti, koji često zahtevaju velika naprezanja. Takođe, procena osnovnih mehaničkih svojstava vrši se u nejednakim uslovima, jer je potrebno više različitih motoričkih testova da bi se spoznale mišićna F, V i P. Kako bi se izbegli pomenuti nedostaci standardizovanih testova i procenila najvažnija mehanička svojstva mišića može se primeniti relacija sila-brzina (F-V relacija). Osnovna karakteristika ove metode je da zahteva primenu više različitih intenziteta opterećenja ili brzina testiranog kretanja. U cilju pojednostavljenja testiranja, skrać enja protokola budućih testiranja, ovo istraživanje bavi se novom metodom za procenu F-V relacije, zasnovanoj na tzv. modelu dva opterećenja.

2. Teorijski okvir rada

2.1. Motoričke sposobnosti

Postizanje uspeha u različitim fizičkim, radnim aktivnostima i sportskim disciplinama zavisi u znatnoj meri od motoričkih sposobnosti. Pod ovim pojmom podrazumeva se ukupnost čoveka (biološka, psihološka, socijalna i kulturna) koja se posmatra sa aspekta mišićnog naprežanja u određenim aktivnostima (Kukolj, 2006).

”Motoričke sposobnosti predstavljaju kompleksne mogućnosti čoveka za manifestaciju kretnih struktura koje objedinjuju psihološke karakteristike, biohemijske i funkcionalne procese. U koordinativnom smislu, ovi procesi su limitirani karakteristikama nervnog i nervno-mišićnog sistema. Pri tome se motorička svojstva odnose na bitno različite kvalitete ispoljene u definisanim karakteristikama kretanja, zatim na kvalitete koji su uslovljeni istim fiziološkim i biomehaničkim mehanizmima, kao i sličnim psihološkim svojstvima i, konačno, koji su iskazani u istim jedinicama mere” (Zatsiorsky, 1969).

Motoričke sposobnosti su genetski determinisane karakteristike koje utiču na izvođenje pokreta (Haibach, Reid, & Collier, 2011), odnosno, one su tzv. “bazična oprema” koju čovek poseduje od rođenja (Edwards, 2010). Svaki pojedinac se rađa sa celokupnim spektrom motoričkih sposobnosti, koje su iste za sve ljude, ali se međusobno razlikuju po intezitetu razvijenosti, pa mogu biti slabo, prosečno ili veoma razvijene. Nivo razvoja motoričkih sposobnosti varira u zavisnosti od uzrasta, na šta utiču rast i promene nastale sazrevanjem (Edwards, 2010; Haibach et al., 2011).

Određeni autori definišu motoričke sposobnosti kao stalne i trajne osobine (Edwards, 2010), dok drugi smatraju da ih oblikuju biološki i fiziološki faktori (Fleishman, 1964). Haibach i saradnici (2011) ističu da struktura mišićnog tkiva utiče na motoričke sposobnosti kao što su sila, izdržljivost i gipkost. U saglasnosti sa tim je i tvrdnja Edwardsa (2010) da osobe koje imaju više sporih mišićnih vlakana imaju prednost u aktivnostima koje zahtevaju izdržljivost, od osoba sa prosečnim ili većim brojem brzih mišićnih vlakana. Međutim, iako smatra da su sila i izdržljivost u vezi sa strukturom mišićnog tkiva, on naglašava da na strukturne utiču i spoljašnji faktori. Još jedan od faktora koji se izdvaja i može uticati na motoričke sposobnosti je sistematsko vežbanje. Određena vežba i način izvođenja (početni položaj, pravac, amplituda, intenzitet opterećenja, broj ponavljanja i odmor) mogu dovesti do

značajnih promena motoričkih sposobnosti (Kukolj, 2006). Uticaj nasleđa i okoline na ljudsko ponašanje je još uvek predmet diskusije. Kada je reč o motoričkim sposobnostima, smatra se da okolina ne igra značajnu ulogu, već da su one genetske determinante koje postavljaju granice unutar kojih spoljašnji faktori mogu delovati (Edwards, 2010).

Motoričke sposobnosti se smatraju svojstvom koje podržava izvođenje motornih veština (Edwards, 2010). Motorne veštine se stiču i razvijaju učenjem (Fleishman, 1964). One predstavljaju nivo uspešnosti kojim se izvodi određeni motorni zadatak, dok su motoričke sposobnosti deo individualnih karakteristika koje utiču na izvođenje datog zadatka (Haibach et al., 2011). Prema ovoj definiciji ističe se uska povezanost između motornih veština i motoričkih sposobnosti. Za motoričke sposobnosti se kaže da su trans-situacione, što znači da se one mogu manifestovati u različitim veštinama i situacijama (Edwards, 2010). Takođe, treba napraviti razliku između latentnih motoričkih dimenzija (koje se još nazivaju i latentnim sposobnostima, osobinama ili funkcijama) i manifestnih karakteristika. Latentne motoričke dimenzije su u funkciji ispoljavanja motoričkih sposobnosti (Kurelić, 1967). One čine spolja nevidljive, strukture motoričkih svojstava, koje objašnjavaju kvantitativne, spolja vidljive manifestacije različitih aktivnosti (Kukolj, 2006).

Na početku proučavanja motoričkih sposobnosti pošlo se od pretpostavke da postoji jedna generalna motorička sposobnost (Brace, 1927). Ova pretpostavka proizišla je nakon posmatranja veštih ljudi, uspešno uključenih u raznovrsne sportske aktivnosti, koji su brzo sticali motorne veštine, učili i savladavali nepoznate motorne zadatke. Međutim, kada su proučavane motoričke sposobnosti pojedinca različitih sportskih disciplina, nastalo je uverenje da svaka motorna veština zahteva određenu, specifičnu sposobnost. Na osnovu pretpostavki formirana je hipoteza specifičnosti (Henry, 1958). Prema ovoj hipotezi, svaka osoba ima veći broj, odvojenih i nezavisnih sposobnosti. Na osnovu hipoteze specifičnosti razvijena je taksonomija, koja je imala za cilj da identifikuje motoričke sposobnosti (Fleishman, 1964). Izdvojene motoričke sposobnosti (ukupno 21), podeljene su u dve glavne kategorije: perceptualno-motoričke sposobnosti i sposobnosti izvođenja. Prvu kategoriju činile su sposobnosti koje direktno zavise od centralnog nervnog sistema (manuelna spretnost, vreme reakcije i koordinacija), a drugu one koje su pod uticajem neuroloških i fizioloških faktora. U kategoriji sposobnosti izvođenja razlikovale su se sledeće podkategorije: sila, gipkost i brzina, ravnoteža, koordinacija i izdržljivost.

Smatrajući da motoričke sposobnosti predstavljaju multidimenzionalni konstrukt, koji ne može biti, na odgovarajući način, određen samo jednom merom (Safrit, 1981), struktura motoričkog prostora je organizovana i podeljena različito u zavisnosti od autora. U istraživanjima strukture motoričkog prostora, polazi se od pretpostavke da su pojedini motorički testovi specifični za ispoljavanje određenih motoričkih sposobnosti (Henry, 1958). Na osnovu velikog broja motoričkih testova i primenom složenih postupaka statistike, ukazuje se na postojanje većeg broja bazičnih motoričkih sposobnosti (Bompa, 1999; Kurelić, 1967; Opavsky, 1983; Zatsiorsky, 1969). Najveći broj stručnih razmatranja o motoričkim sposobnostima, ističe da strukturu čine: sila, brzina, snaga, izdržljivost, gipkost, okretnost.

Posmatrano sa aspekta motoričkih sposobnosti, funkcije mišića objašnjavaju mogućnost ispoljavanja intenziteta i trajanja naprezanja u različitim uslovima složenosti. *Maksimalna naprezanja, maksimalni tonus, u jednostavnim i sporim pokretima rezultiraju silom (jačinom). Relativno velika naprezanja, u maksimalno brzim pokretima za date uslove, rezultiraju snagom, a maksimalna naprezanja u uslovima malog spoljašnjeg otpora, rezultiraju brzinom* (Kukulj, 2006). Izdržljivost se odnosi na mišićna naprezanja koja se kreću od malih do maksimalnih, ali koja karakteriše i dužina trajanja. Maksimalna amplituda pokreta u zglobovima predstavlja gipkost, dok se pod okretnošću podrazumeva naprezanje različitog intenziteta u kompleksnim uslovima koji su podložni promenama.

Iako su motoričke sposobnosti dobrim delom genetski determinisane, pravilnom vežbom se može uticati na njihov nivo razvijenosti, a time se može direktno poboljšati uspešnost izvođenja određenih motoričkih zadataka. S obzirom da motoričke sposobnosti karakteriše multidimenzionalnost i kompleksna struktura motoričkog prostora, neizostavno je da pri različitim fizičkim aktivnostima, određene motoričke sposobnosti više ili manje dominiraju. Motoričke sposobnosti kao što su sila, brzina i snaga u velikoj meri određuju motoričke sposobnosti čoveka, a samim tim i uspešnost izvođenja fizičkih aktivnosti, pa se mogu nazvati i dominantama uspeha. Iz tog razloga veoma je značajno poznavanje njihovih osnovnih karakteristika, povezanosti sa mehaničkim svojstvima mišićnog sistema, kao i njihove međusobne relacije.

2.2. Sila, brzina i snaga kao motoričke sposobnosti

U daljem tekstu biće razmatrane motoričke sposobnosti za razvijanje velike: F, V, P. Svaka od pomenutih sposobnosti je od velikog značaja prilikom izvođenja brzih pokreta, naročito u vrhunskom sportu. Pojedinačno, a u nekim sportskim aktivnostima i zajedno F, V i P, neizostavno su mera uspeha. Takođe, ove motoričke sposobnosti su od velike važnosti u kineziterapiji, rehabilitaciji i fizikalnoj medicini, gde se putem vežbe utiče direktno na njihov razvoj. Nakon povrede ili operacije, maksimalna F, V i P opadaju, a povratak svakodnevnim aktivnostima nije moguć bez njihovog vraćanja na početni, funkcionalni nivo. Na osnovu navedenog, može se reći da je poznavanje ovih motoričkih sposobnosti od podjednakog značaja fizioterapeutima i trenerima kako bi se postigao zadovoljavajući rezultat.

2.2.1. SILA

Pod pojmom **sila** podrazumeva se sposobnost savladavanja otpora, ili suprotstavljanje opterećenju, prvenstveno pomoću mišićnog naprezanja (Zatsiorsky, 1969). Pošto je F mehanička veličina, ona se u literaturi naziva i jačinom (Jaric & Kukulj, 1996).

Enoka (1988) silu smatra merom ljudskog izvođenja kretanja, ona predstavlja proizvod celokupnog kapaciteta motornog sistema. Sila kao takva predstavlja kompleksnu interakciju svih neuromišićnih elemenata - neuralnih, mišićnih i mehaničkih faktora (Enoka, 1988). Osnovna funkcija skeletnih mišića, koji čine najveći deo mase ljudskog tela je da tokom kontrakcije generišu F pretvarajući hemijsku energiju u mehanički rad (Frontera & Ochala, 2015). Skeletni mišići se sastoje od mišićnog i vezivnog tkiva. Mišićno tkivo grade mišićna vlakna koja su obavijena tankim slojem vezivnog tkiva. Sila koja se tokom kontrakcije generiše u mišićnim vlaknima preko tetiva deluje na kost, što može dovesti do rotacije u odgovarajućem zglobu. Zglobna rotacija dovodi do pokretanja segmenta tela, a istovremeno pokretanje više različitih segmenata tela dovodi do kretanja. Generisanje F u mišićnim vlaknima zavisi od niza faktora:

- poprečnog preseka mišića,
- dužine mišića,
- brzine promene dužine mišića,
- dužine poluge na koju mišić deluje,

- dejstva centralnog ili perifernog pripoja mišića,
- veličine spoljašnjeg opterećenja,
- režima rada mišića i dr. (Kukolj, 2006).

Povezanost poprečnog preseka mišića sa ispoljenom F je u direktnoj vezi, pa se sa većim fiziološkim presekom mišića, razvija veća F i obrnuto. Sila se menja i sa promenom dužine mišića, tako što sa povećanjem dužine mišića raste i F. U uslovima koje karakteriše maksimalno izduženje ili maksimalno skraćanje mišića F je manja. Ispoljena F koju mišić razvija menja se proporcionalo i sa promenom kraka na koji deluje. Pri kretanju dolazi do promene položaja segmenta tela u zglobu, pa se samim tim menja krak (poluga) na koji mišić deluje, a sa tim i ispoljena F mišića. U zavisnosti da li mišić deluje centralnim ili perifernim pripojem postoje razlike u ispoljenoj F. Veća F se ispoljava kad je centralni pripoj fiksiran, a mišić deluje perifernim pripojem. Spoljašnje opterećenje je još jedan od faktora koji utiče na ispoljavanje F tako što sa porastom opterećenja raste i F mišića. Međutim, F mišića se ne menja nakon maksimalnog naprezanja, bez obzira na dalje povećanje opterećenja. Ispoljavanje mišićne F zavisi i od režima mišićnog rada. Suprostavljanje opterećenju može se realizovati u uslovima statičkog i dinamičkog režima mišićnog rada. Pod režimom rada podrazumevaju se mišićna naprezanja bez promene dužine mišića (izometrijska kontrakcija, statički režim rada) i mišićna naprezanja u uslovima promene dužine (izotonusna kontrakcija, dinamički režim rada). U statičkom i kvazistatičkom režimu rada mišićna F je veća u odnosu na ispoljenu F u dinamičkom režimu (Kukolj, 2006).

Naprezanje mišića u statičkom režimu rada podrazumeva ispoljavanje F u izometrijskim uslovima, gde ispoljena F može biti u opsegu od minimalne do maksimalne u zavisnosti od stepena mišićne aktivacije. Sila se može meriti i tokom vremena, a njena najbrža promena je u literaturi poznata kao brzina generisanja F (Kukolj, 2006). Ukoliko se maksimalna F ispolji za najkraće moguće vreme ona se često naziva i *eksplozivnom silom*. Ispoljavanje F u statičkom režimu rada može biti u uslovima što dužeg održavanja F (maksimalne ili zadate sile), što se naziva *izdržljivost u sili*. Sila prema određenim autorima predstavlja sposobnost koja se razvija protiv nepromenljivog otpora u jednoj kontrakciji neograničenog trajanja (Atha, 1981), tzv. *maksimalna voljna izometrijska sila* (Enoka, 1988). Ovakvo definisanje F odnosi se samo na uslove statičkog naprezanja mišića, koje ne podrazumeva kompleksnu interakciju F i V. Jednostavna forma ove definicije ne obuhvata *dinamičku silu*, koja karakteriše svakodnevne aktivnosti.

Prema drugom Njutnovom zakonu F je jednaka proizvodu mase tela i njegovog ubrzanja. Svaku sportsku disciplinu pored ostalog karakteriše i određeno ubrzanje (promena V u jedinici vremena) tela, segmenta tela ili rekvizita. Procenjivanje F može se izvršiti testovima koje karakteriše mala V i savladavanje velikog opterećenja, pri čemu se ograničava predviđanje performansi kod sportova kao što su tenis, rukomet, čije aktivnosti zahtevaju velike brzine pokreta. Iz tih razloga jačina se definiše i kao maksimalna F koju mišić ili mišićna grupa razvije pri specifičnim brzinama (Knuttgen & Kraemer, 1987). Testovi koji procenjuju F i V izvođenja pokreta su složeniji za izvođenje, zahtevaju sofisticiraniju opremu, ali daju preciznije i validnije podatke (Baechle & Earle, 2008).

Naprežanje mišića u dinamičkom režimu podrazumeva savladavanje određenog otpora pri čemu dolazi do promene u dužini mišića, različitih promena u V promene dužine mišića i promena u F . Kod naprežanja u dinamičkom režimu rada razlikuje se F koja deluje u uslovima male i velike brzine kretanja i eksplozivna sila (Kukulj, 2006). Ova podela nastala je na osnovu savladanog otpora i ubrzanja pri kome se otpor savladava. Prema tome, F pri sporom pokretu karakteriše savladavanje maksimalnog otpora pri čemu je ubrzanje blisko nuli. Silu pri brzom pokretu karakteriše savladavanje submaksimalnog opterećenja, sa submaksimalnim ubrzanjem, a eksplozivnu savladavanje submaksimalnog opterećenja maksimalnim ubrzanjem pokreta.

Sila se može prikazati kao apsolutna i kao relativna u odnosu na dimenzije tela. Ova podela značajna je sa aspekta odnosa F između različitih ispitanika. *Apsolutna sila* je mera maksimalnog naprežanja mišića, a njen pokazatelj je maksimalni teret koji se može savladati ili podići ili maksimalna spoljna F koja se može razviti. Za razliku od nje, *relativna sila* ukazuje na F ostvarenu po kilogramu mase ispitanika (Kurelić, 1967; Zatsiorsky, 1969) ili, prema složenijim alometrijskim modelima (McMahon, 1984) po masi na stepen $2/3$. Apsolutna sila se sa razvojem čoveka uvećava sve do 20-30 godine, a zatim postepeno opada, dok se najviši nivo relativne sile ranije dostiže, u periodu od 13-14 do 16-17 godine (Kukulj, 2006).

2.2.2. BRZINA

Brzina podrazumeva sposobnost izvođenja pokreta ili kretanja maksimalno mogućom brzinom, pri čemu spoljašnji otpor nije veliki, a aktivnost ne traje dugo kako ne bi došlo do pojave zamora (Zaciorski, 1969). Prema Kukulju (2006) definicija V treba da obuhvati kretanja čija složenost nije velika, kako bi se izvođenje pokreta realizovalo maksimalnom brzinom.

Brzina izvođenja pokreta predstavlja ujedno i manifestaciju jačine sportista (Baechle & Earle, 2008). Ova motorička sposobnost zahteva visoki nivo nenuromišićne aktivacije i dobru koordinaciju pokreta (Mayr & Zaffagnini, 2015). Za razliku od drugih motoričkih sposobnosti, brzina je u velikoj meri određena genetskim faktorom.

Brzina se može podeliti na *brzinu reagovanja*, *brzinu pojedinačnog pokreta* i *frekvenciju pokreta*. Brzina reagovanja odnosi se na vreme koje protekne od nekog stimulusa do početka izvođenja pokreta. Brzina pojedinačnog pokreta podrazumeva najkraće vreme koje je potrebno da se određeni pokret izvrši. Frekvencija pokreta je učestalost pokreta u jedinici vremena, koju karakteriše brzo uključivanje i isključivanje antagonističkih mišićnih grupa.

Kada je reč o brzini, agilnost se često koristi u kontekstu promene brzine izvođenja (Baechle & Earle, 2008; Mayr & Zaffagnini, 2015). S obzirom da je brzina vektor kojeg karakterišu pravac, smer i intenzitet, agilnost je sastavni deo svih motoričkih zadataka gde ima promena ovih parametara. Kada je potrebno održavati brzinu i agilnost tokom dužeg vremenskog perioda (preko 6 s), ili kad se od ispitanika zahteva maksimalno ubrzanje ili brzina tokom ponavljajućih sprinteva onda se govori o izdržljivosti u brzini (Baechle & Earle, 2008).

2.2.3. SNAGA

Snaga predstavlja sposobnost mišića da deluje relativno velikim silama, pri umerenom spoljašnjem otporu, ali pri velikim brzinama skraćanja mišića (Kukolj, 2006). Sa mehaničkog aspekta P se definiše kao vreme potrebno da se savlada određeni rad, gde je rad proizvod F koja deluje na predmet i distance (dužine) koju taj predmet pređe u pravcu u kom deluje F. To se može prikazati formulama:

$$\text{Rad} = \text{Sila} \times \text{Dužina}$$

$$\text{Snaga} = \text{Rad} / \text{Vreme} = \text{Sila} \times \text{Brzina}$$

Snaga se može izračunati i kao proizvod F koja deluje na određeni predmet i V tog predmeta u pravcu u kome F deluje. Prema internacionalnom sistemu jedinica (SI), jedinica za F je njutn (N), jedinica za dužinu ili pređenu distancu je metar (m), jedinica za rad je džul (J), jedinica za vreme je sekunda (s), a P se iskazuje u vatima (W).

Sila i snaga se koriste za opisivanje sposobnosti koje značajno doprinose maksimalnim ljudskim postignućima kako u sportu tako i pri ostalim fizičkim aktivnostima (Baechle & Earle,

2008). Faktori koji uslovljavaju maksimalno ispoljavanje P mogu se podeliti u zavisnosti od karakteristika mišića na morfološke, neuralne i mehaničke (Pazin, 2013). Na ispoljavanje P mogu uticati i uslovi rada u kojima se vrši aktivnost mišića (Cormie, McGuigan, & Newton, 2011).

Generisanje maksimalne P uslovljeno je kontraktilnim kapacitetima mišića. Ove mišićne kapacitete određuju *morfološki faktori*, pri čemu se izdvajaju tip i arhitektura mišićnih vlakana.

Na osnovu biohemijskih, morfoloških i fizioloških karakteristika u literaturi se razlikuju sledeći tipovi mišićnog vlakna: spora oksidativna (Tip I), brza oksidativna (Tip IIa), brza glikolitička mišićna vlakna (Tip IIb). Pored navedenih tipova, može se izdvojiti i Tip IIc, koji predstavlja mišićna vlakna sa karakteristikama između Tipova IIa i IIb. Osnovna podela mišićnih vlakana na brza i spora, bazirana je na razlikama u brzini skraćenja mišića. Spora mišićna vlakna karakteriše crvena boja, dok su brza bele boje. Spora, crvena mišićna vlakna su bolje prokrvljena, pa je njihov oksidativni kapacitet viši, što dovodi do veće otpornosti na zamor. Sa druge strane, brza mišićna vlakna imaju veći sadržaj glikogena, što omogućava vršenja rada visokog intenziteta, odnosno bržeg razvoja F. Maksimalne vrednosti F se ne razlikuju značajno između brzih i sporih mišićnih vlakana, ali brži razvoj F dovodi do većeg razvoja P kod brzih mišićnih vlakana (Nedeljković, 2016).

Pod arhitekturom mišićnih vlakna podrazumeva se ugao pružanja mišićnih vlakana u odnosu na njegovu uzdužnu osu i dužinu samih vlakana (Cormie et al., 2011). Ovaj morfološki faktor u znatnoj meri utiče na funkciju skeletnih mišića (Gans, 1982). Prema tome, skeletni mišići se mogu na osnovu kriterijuma njihove arhitekture i razvrstati u četiri osnovne grupe: vretenasti, perasti, lepezasti i četvrtasti mišići. U zavisnosti od toga kojoj grupi skeletni mišić pripada, zavisice i intenzitet njegove F i V njegovog skraćenja.

Razvoj maksimalne P zavisi i od *neuralnih faktora*, odnosno od sposobnosti nervnog sistema da na odgovarajući način aktivira motorne jedinice. U jednom mišiću postoji veći broj motornih jedinica. Motorna jedinica je skup mišićnih vlakana koji su inervisani jednim nervnim završetkom. Aktivacija mišića kontrolisana je od strane nervnog sistema, i u zavisnosti je od unutar i među-mišićne koordinacije (McMahon, 1984).

Na unutar-mišićnu koordinaciju utiče broj aktivnih motornih jedinica, frekvencija njihove aktivacije (nivo prenošenja nervnih impulsa od alfa motoneurona do mišićnih vlakana),

i njihova sinhronizacija rada. U zavisnosti od opterećenja, motorne jedinice jednog mišića se u toku rada mogu naizmenično uključivati i isključivati. Prilikom rada sa manjim opterećenjima uključuju se uglavnom spore motorne jedinice, dok se pri većem opterećenju uključuju brze. Uključenje svih motornih jedinica prisutno je samo ukoliko je opterećenje maksimalno. U neuralne faktore ubraja se i među-mišićna koordinacija, odnosno međusobna koordinacija između aktiviranih agonista, antagonista i sinergista.

Na razvoj maksimalne P utiču i faktori koji dovode do promene *uslova rada*. Naime, prilikom mišićne kontrakcije vremenom dolazi do pojave zamora. Zamor je jedan od faktora koji dovodi do narušavanja generisanja F i V skraćanja mišića. Pored njega, na razvoj maksimalne P mogu uticati hormonski status i temperatura mišića.

Na ispoljavanje maksimalne P utiču i *mehanički faktori* u koje ubrajamo tip mišićne kontrakcije i mehanička svojstva mišića.

Postoje dva osnovna tipa mišićne kontrakcije – koncentrična i ekscentrična kontrakcija. Koncentrična kontrakcija predstavlja skraćenje mišićnog vlakna, dok je ekscentrična izduženje mišićnog vlakna. Istraživanja su utvrdila da se veća maksimalna P razvije pri pokretima koja uključuju ekscentrično-koncentričnu kontrakciju (Cormie et al., 2011; Fenn & Marsh, 1935; Hill, 1938).

Poznavanje osnova motoričkih sposobnosti sile, brzine i snage, odnosno njihovo definisanje, klasifikovanje i upoznatost sa faktorima od kojih zavisi njihovo maksimalno ispoljavanje je od velikog značaja za dalje razumevanje mehaničkih svojstava mišića, koji su predmet izučavanja ove doktorske disertacije. S obzirom da je ispoljavanje F, V i P prisutno pri svakodnevnim aktivnostima, kao i u vrhunskom sportu, njihovo poznavanje je neizostavno za praćenje i poboljšanje rezultata, a samim tim i uspeha. Pomenute motoričke sposobnosti su usko povezane sa najznačajnijim mehaničkim svojstvima mišića, o kojima će u daljem tekstu biti reči.

2.3. Mehanička svojstva mišića

Mehanička svojstva mišića su one osobine mišića koje se mogu proceniti mehaničkim veličinama, npr. silom, brzinom, snagom, radom (Zatsiorsky, 2008). Od navedenih mehaničkih

svojstva mišića može da zavisi uspeh kako u sportu, tako i u rehabilitaciji. Sportske discipline postavljaju različite zahteve za uspeh, pa tako na primer u rvanju najviše dominira ispoljavanje mišićne F (jačine), dok je u nekim atletskim disciplinama (trčanje 100 m) brzina determinanta uspeha. U tenisu, je potrebno brzo sustići lopticu, ali i ispoljiti visok nivo mišićne F, i time razviti veliku P. Sila, brzina i snaga predstavljaju mehaničke osobine mišića koje u velikoj meri određuju motoričke sposobnosti čoveka.

Mehanička svojstva mišića mogu se opisati relacijom sile i brzine, sile i dužine i sile i vremena (McMahon, 1984). Relacija između sile i brzine objašnjava kako se mišićna F razvija u odnosu na V kontrahovanja mišića. Relacija između sile i dužine prikazuje kako mišićna F varira u odnosu na promenu mišićne dužine. Relacija sila i vreme pokazuje koliko vremena mišiću treba da razvije ili maksimalnu silu ili zadati relativni ili apsolutni nivo sile.

Poznavanjem mehaničkih svojstva mišića omogućava se bolje razumevanje dizajna i funkcije čovekovog lokomotornog sistema (McMahon, 1984). U praksi je od velike važnosti da stručnjaci koji su uključeni u direktni rad sa sportistima ili pacijentima (nakon povrede ili u procesu oporavka) budu upoznati sa osnovnim mehaničkim svojstvima mišića. Procena mehaničkih svojstava je neizostavni deo jer se samo na taj način može saznati njihovo trenutno stanje, pratiti njihov napredak i uporediti sa drugim rezultatima. Mehanička svojstva mišića se procenjuju testiranjem.

2.4. Testiranje sile, brzine i snage

Testiranje je sastavni deo sporta, rehabilitacije, terapije i fizičkog vaspitanja. Na osnovu testiranja može se steći slika o motoričkim sposobnostima sportiste, ali i pratiti određeni efekti treninga. U rehabilitaciji se testiranjem procenjuje stanje povređenog nakon povrede, a mogu se pratiti efekti različitih terapija i intervencija. Na osnovu napretka, koji se potvrđuje testiranjem pacijenti se vraćaju svojim svakodnevnim aktivnostima. Testiranje se primenjuje i preventivno, pa se tako na osnovu rezultata koji pokazuju mišićni disbalans može sprečiti nastanak povrede. Na času fizičkog vaspitanja testiranjem se prati razvoj motoričkih sposobnosti dece i utvrđuju eventualni motorički nedostaci. Određenim testovima može se izvršiti i selekcija talentovane dece. Ovo su samo neke od mogućnosti koje testiranje pruža. Uloga testiranja se upravo ogleda u povratnoj informaciji koja se dobija. Treneri, fizioterapeuti i nastavnici dobijenu informaciju mogu iskoristiti u planiranju i formiranju programa fizičkih aktivnosti, u cilju napretka i dostizanja maksimalnih rezultata.

Postoje raznovrsni testovi, a njihova primena zavisi od cilja testiranja. Najznačajniji testovi su svakako oni koji su jednostavni i ekonomični za izvođenje, koji su približniji prirodnim načinima kretanja i sportskim aktivnostima i koji kao takvi mogu da se sprovedu u laboratorijskim i terenskim uslovima.

Primena bilo kog motoričkog testa zahteva pre svega eksperimentalnu proveru metrijskih karakteristika datog testa. Osnovne metrijske karakteristike motoričkih testova su validnost, pouzdanost i osetljivost (Currell & Jeukendrup, 2008). Njihovim određivanjem vrši se ujedno i standardizacija primenjenog protokola testiranja.

Validnost podrazumeva stepen u kome test zaista meri ono za šta je namenjen, što je najvažnija karakteristika testiranja (Baechle & Earle, 2008). Ona se može podeliti na očiglednu, konkurentnu i spoljašnju validnost. Za test kažemo da ima očiglednu validnost kada nedvosmisleno pokazuje da on zaista meri ono za šta je namenjen. Kada se potvrdi očigledna validnost nekog testa, onda se može odrediti i njegova konkurentna validnost. Pod konkurentnom validnošću podrazumeva se stepen povezanosti datog testa sa nekim od testova koji imaju očiglednu validnost. Ukoliko je povezanost visoka, to nam ukazuje da dva testa mere isto motoričko svojstvo. Spoljašnja validnost se odnosi na stepen povezanosti rezultata nekog laboratorijskog testa sa terenskim testovima pri proceni istog motoričkog svojstva. Pored svega navedenog, validan test mora odgovarati zahtevima i pokretima karakterističnim za sportiste u pojedinim sportskim disciplinama čije se sposobnosti testiraju (Baechle & Earle, 2008).

Druga metrijska karakteristika koja je od važnosti pri standardizaciji protokola testiranja je pouzdanost. Pouzdanost predstavlja doslednost u merenju, odnosno kada se nakon ponovljenog merenja dobiju približno isti rezultati. Ona se može odrediti na osnovu saglasnosti rezultata između različitih pokušaja unutar istog merenja ili između merenja ponovljenog u različitim danima.

Pored validnosti i pouzdanosti potrebno je da test bude i osetljiv. Osetljivost metode ili varijable se definiše kao verovatnoća registrovanja efekta koji zaista postoji. Ova metrijska karakteristika nam omogućava da utvrdimo razlike između pojedinih populacija ispitanika, kao i da procenimo efekte nekog treninga ili rehabilitacione procedure. Osetljivost testa može se odnositi i na detektovanje određenih motoričkih nedostataka neke osobe (Reiman & Manske, 2009). Dakle, osetljiv test je onaj koji omogućuje registrovanje malih ali bitnih promena ostvarenih rezultata (Currell & Jeukendrup, 2008).

Pored evaluacije metrijskih karakteristika, od presudnog značaja za selekciju testova su i specifičnosti datog sporta (npr. metabolički energetska sistem i biomehanički obrazac), iskustvo sportista, nivo utreniranosti, uzrast, pol, kao i spoljašnji faktori (Baechle & Earle, 2008).

U daljem tekstu biće prikazane karakteristike najčešće primenjenih testova za procenu F, V i P, čiji su protokoli standarizovani.

2.4.1. Karakteristike standardnih testova za procenu sile

Za procenu F mišića koriste se testovi koji se najčešće zasnivaju na primeni dinamometrije. Dinamometrija predstavlja metodu u kojoj izmerena spoljašnja F predstavlja meru ispoljene mišićne F. Razlikuju se dve vrste dinamometrije - izometrijska i izoinercijalna (Abernethy, Wilson, & Logan, 1995).

Izometrijska dinamometrija podrazumeva merenje maksimalne F u toku produžene maksimalne voljne kontrakcije u statičkom režimu rada određene mišićne grupe. Najčešće korišćeni test u okviru izometrijske dinamometrije je tzv. Standardni test jačine. Ovaj test karakteriše standardizovani položaj, pri kome nije moguća promena ugla ni u jednom zglobu. Sonda dinamometra se nalazi na kraju kinetičkog lanca i sa njom se beleži promena F u vremenu. Ovim testom se pored procenjivanja maksimalne F može proceniti i maksimalna brzina razvoja sile. Standardni test jačine ima visoku pouzdanost (Mirkov, Nedeljkovic, Milanovic, & Jaric, 2004; Wilson, Newton, Murphy, & Humphries, 1993), a osetljiv je i na efekte treninga jačine (Mirkov & Nedeljkovic, 2003).

Izoinercijalnu dinamometriju karakteriše konstantno spoljašnje opterećenje, koje je sa jedne strane određeno konstantnom masom tegova, a sa druge gravitacionom silom koja deluje na tu masu. Najčešće korišćeni test u okviru izoinercijalne dinamometrije je Test maksimalne sile - 1RM (Pereira & Gomes, 2003). Izvođenje ovog testa je relativno jednostavno, a samim tim što jači ispitanici imaju bolje rezultate od slabijih, smatra se da ovaj test ima očiglednu validnost. Pouzdanost ovog testa potvrđena je u brojnim istraživanjima (Levinger et al., 2009; Ribeiro et al., 2014; Seo et al., 2012). Test maksimalne sile je osetljiv na trening jačine, što je očekivano s obzirom da se kod treninga savladavaju maksimalna opterećenja (Abernethy et al., 1995). Test karakteriše dinamički režim rada mišića (koncentrični i ekscentrični), što se smatra njegovom glavnom prednošću u odnosu na Standardni test jačine (izometrijski režim rada).

Dinamički režim rada mišića je prisutan u svakodnevnom kretanju čoveka, a isto tako i u većini sportskih aktivnosti (pr. trčanje, bacanje, šutiranje). Zbog tog razloga smatra se da Test maksimalne sile ima veću spoljašnju validnost od Standardnog testa jačine. Međutim i Test maksimalne sile ima svoje nedostatke. Prilikom izvođenja ovog testa, brzina izvođenja pokreta je veoma mala. Zbog male brzine izvođenja pokreta Test maksimalne sile se još naziva i kvazi-izometrijskim testom (Siff, 1993). Takođe, iskustvo koje ispitanik ima u radu sa maksimalnim opterećenjem može uticati na izvođenje testa (Mastropaolo, 1992).

2.4.2. Karakteristike standardnih testova za procenu brzine

Testove za procenu brzine karakteriše korišćenje minimalnog opterećenja i minimalna kordinaciona složenost. Prema tome za procenu V se koriste testovi koji zahtevaju izvođenje jednostavnih motoričkih zadataka. Jedan od često korišćenih testova koji zadovoljava gore pomenute kriterijume je Test trčanja maksimalnom brzinom. Test se izvodi na ravnoj podlozi i iz različitih početnih pozicija, a od cilja testiranja zavisi dužina staza na kojima se trči (Young et al., 2008). Poznato je da se maksimalna brzina prilikom trčanja razvija nakon 30 - 60 m (Schwellnus & Commission, 2009). Shodno tome, u praksi se za procenu maksimalne brzine koriste testovi u kojima ispitanici treba da se istrče distancu 30, 35, 40 m (Mackenzie, 2005).

Kod pomenutih testova za procenu maksimalne V ključnu ulogu ima metodologija merenja. Pouzdanost merenja u velikoj meri zavisi od primenjene tehnologije. Ukoliko se koristi nedovoljno precizna tehnologija razlike u izmerenom vremenu mogu biti velike. Savremena tehnologija omogućava bolju preciznost, ali zahteva i veće materijalne troškove. Pri testiranju brzine najčešće se koriste: foto-čelijske, ručni radar i GPS uređaji (eng. Global Positioning System-GPS).

2.4.3. Karakteristike standardnih testova za procenu snage

Za procenu P mišića koriste se različiti protokoli testiranja koji najčešće podrazumevaju korišćenje izokinetičkog dinamometra, platforme sile i bicikl ergometra (Nedeljković, 2016).

Izokinetička testiranja se koriste u istraživanjima, sportu i kliničkim testiranjima još od 1960 godine (Maud & Foster, 2006). Ova testiranja zasnivaju se na upotrebi dinamometra. Izokinetičku dinamometriju karakteriše konstantna ugaona brzina koju segment ostvaruje za vreme jednozglobnog pokreta. Takođe, izokinetički dinamometar se može koristiti bez

striktnog kontrolisanja brzine izvođenja pokreta, pri čemu se promena u V prati zajedno sa promenom F i P.

Prednost izokinetičke dinamometrije u odnosu na izoinercijalnu je u većoj kontroli uslova merenja, a to podrazumeva kontrolu brzine izvođenja pokreta. Pored toga, u okviru izokinetičke dinamometrije mogu se meriti F i P mišića ispoljene u koncentričnoj i ekscentričnoj kontrakciji. Procena maksimalne izometrijske sile je još jedna mogućnost koju pruža izokinetički dinamometar. Međutim, svakodnevene čovekove aktivnosti karakteriše povratni režim rada mišića (povezivanje koncentrične i ekscentrične kontrakcije), a on se ne može registrovati u izokinetičkoj dinamometriji.

Prilikom izokinetičkog testiranja veoma je bitno zabeležiti opseg izvođenja pokreta, jer je direktno povezan sa momentom sile, pa samim tim može uticati na preciznost rezultata (Maud & Foster, 2006). Takođe, prilikom testiranja početna pozicija mora biti standardizovana. Izokinetičkim dinamometrom vrše se testiranja u jednom zglobu u tzv. „otvorenom kinetičkom lancu“, pa je od značaja izvršiti stabilizaciju preostalih delova tela koji mogu uticati na rezultate. Kod testiranja mišića ruku i ramenog pojasa koriste se određeni nastavci za izvođenje pokreta. Ukoliko je ispitanik snažan, može doći do znatnog pomeranja aparature, promene ugla u zglobu, a samim tim i promene rezultata testiranja. Sve navedene stavke dodatno usložnjavaju protokol testiranja.

Test Skok uvis je jedan od najčešće korišćenih za procenu snage mišića nogu (Nedeljković, 2016). Izvođenjem ovog testa na platformi sile može se direktno proceniti ispoljena P (Davies, 1971; Offenbacher, 1970). Postoje različiti protokoli ovog testa (Cuk et al., 2014; Jimenez-Reyes et al., 2014). Test Skok uvis može se izvesti iz pozicije polučučnja (koncentrični rad mišića), ili može biti izveden sa počučnjem što predstavlja prirodniju formu izvođenja (koncentričnoj kontrakciji prethodi brza ekscentrična). Takođe, ovaj test se može izvesti sa zamahom ili bez zamaha rukama (ruke na boku). Prilikom izvođenja skoka uvis sa zamahom rukama usložnjava se izvođenje, pa to može imati negativan uticaj naročito kod nedovoljno obučених ispitanika (Nedeljković, 2016). Različiti protokoli testiranja mogu uticati različito na ispoljavanje snage, što treba uzeti u obzir prilikom odabira testa. Osnovna prednost testa Skok uvis je što njegovo izvođenje obuhvata pokrete u više zglobova, a može se izvoditi i u povratnom režimu rada mišića, što po šemi pokreta u velikoj meri odgovara hodanju i trčanju. Zbog svih navedenih karakteristika, ovaj test ima veću spoljašnju, a i ekološku validnost.

Testovi na bicikl ergometru se mogu koristiti za procenu maksimalne anaerobne snage, ali i maksimalnog anaerobnog kapaciteta (Vandewalle, Peres, Heller, Panel, & Monod, 1987). Standardni protokoli testa zasnivaju se na maksimalnoj brzini okretanja pedala. Oni se međusobno razlikuju u odnosu na primenjeno opterećenje i na osnovu trajanja testa. Opterećenje tokom testiranja može biti konstantno, a može se određivati i u odnosu na masu tela ispitanika. Što se tiče trajanja samog testa, ono zavisi od njegove namene. Jedan od najčešće korišćenih testova na bicikl ergometru za procenu maksimalne anaerobne snage je Test maksimalnog okretanja pedala u trajanju 6 sekundi ("Kratki Vingejt test"). Pokazano je da se pouzdani podaci iz ovog testa dobijaju odmah nakon upoznavanja i familijarizacije sa procedurom testiranja (Mendez-Villanueva, Bishop, & Hamer, 2007), što ukazuje da je ovaj test jednostavan za izvođenje. Međutim, kada je reč o validnosti ovog testa, potrebno je razmotriti primenjeno opterećenje. Poznato je da ispoljavanje maksimalne snage zahteva primenu optimalnog opterećenja (optimalni odnos između brzine okretanja pedala i veličine kočione sile). Rečeno je već da se kod ovog testa opterećenje određuje u odnosu na masu tela, a to ne može predstavljati optimalno opterećenje (Pazin et al., 2011). Samim tim, dobijena maksimalna anaerobna snaga na ovaj način neće biti validna.

2.5. Nedostaci standardnih testova

U prethodnom tekstu navedeni su neki od najčešće korišćenih testova za procenu F, V i P. Iako su pobrojani testovi opravdali potrebne metrijske karakteristike smatra se da imaju i određene nedostatke.

Kada je reč o testiranju osnovnih mehaničkih svojstva mišića, može se primetiti da se u praksi ona najčešće izvode sa različitim opterećenjima (npr. skokovi) i pri različitim zadatim brzinama (npr. testiranje na izokinetičkom dinamometru). Odabir opterećenja pre svega zavisi od sposobnosti koja se testira, pa se tako pri proceni mišićne F koristi maksimalno opterećenje, pri proceni V minimalno, dok se kod testiranja P koristi umereno opterećenje. Kod određenih testova ispitanik savladava samo sopstvenu masu tela (npr. test Skok uvis). Međutim, poznato je da sa smanjenjem V skraćenja mišića dolazi do povećanja mišićne F (Hill, 1938), pa se tako na osnovu testiranja sa jednim opterećenjem koje daje jedan rezultat istovremeno ne može saznati maksimalna F, maksimalna V, kao ni maksimalna P testiranih mišića.

U praksi se često odvojeno testiraju različita mehanička svojstva mišića, pa se tako jednim testom procenjuje maksimalna F mišića, a drugim maksimalna V. Ovakvim pristupom

se procena mehaničkih svojstava mišića ne realizuje u jednakim uslovima. Takvo testiranje karakteriše složeni protokol, koji ujedno zahteva i duže vreme za realizaciju svih predviđenih testova, što može da predstavlja ograničavajući faktor i u vrhunskom sportu i u testiranju pacijenata.

Sa razvojem tehnologije došlo je i do modernizacije metodologije testiranja, pa je primena moderne opreme omogućila direktnu procenu nekih mehaničkih svojstva mišića. Testiranje u izometrijskim i izodinamičkim uslovima mišićne kontrakcije pri jednozglobnim pokretima postalo je sastavni deo protokola testiranja u skoro svim bolje opremljenim sportskim i rehabilitacionim centrima. Međutim, treba napomenuti da ovakav vid testiranja pre svega zahteva velika naprezanja, što ne pogoduje rekoalescentima, deci i slabije utreniranim osobama. Takođe, jednozglobni pokreti nisu tipični za svakodnevno kretanje i sportske aktivnosti, čime se dovodi u pitanje spoljašnja validnost ovih testova.

Na osnovu navedenog kao generalni nedostaci standardnih testova mogu se izdvojiti: (1) procena osnovnih mehaničkih svojstva mišića vrši se na osnovu primene samo jednog opterećenja, (2) procena osnovnih mehaničkih svojstva vrši se u nejednakim uslovima, (3) koriste se testovi koji ne reprezentuju svakodnevno kretanje i sportske aktivnosti, i (4) koriste se testovi koji zahtevaju velika naprezanja.

Nova tendencija u testiranju koja bi mogla da izbegne pomenute nedostatke i time omogući procenu najvažnijih mehaničkih svojstava mišića je F-V relacija. Osnovna karakteristika ove metode je da se primenom više različitih opterećenja vrši procena F, V i P u prirodnim pokretima i pri jednakim uslovima. Detaljnije o ovoj metodi biće reči u daljem tekstu.

2.6. Relacija sila-brzina

Iz svakodnevnog životnog iskustva poznato je da se lakši predmeti mogu podići brže, nego teži. Sa povećanjem težine predmeta, V podizanja tog predmeta je sve manja i manja tako da na kraju čak i onemogućuje izvođenje pokreta.

Mišić ima mehaničku karakteristiku da pri istom stepenu aktivacije, sa povećanjem V skraćanja ispoljava sve manju F. Sistemi koji konvertuju energiju imaju ograničenu P, pa se iz tog razloga veća F ispoljava sa pojavom manje V i obrnuto. Najveće ograničenje svih sistema koji konvertuju nemehaničku energiju u mehanički rad i P (elektromotori, motori sa

unutrašnjim sagorevanjem, atomske i termo centrale, mišici itd.) je V konverzije, odnosno maksimalna snaga, pa F mora da opada sa povećanjem V . Takođe tome doprinose i viskozitet vezivnog tkiva i kontraktilni mehanizmi mišića (McMahon, 1984). Zbog viskoziteta vezivnog tkiva dolazi do povećanja pasivne sile usled povećanja brzine promene dužine mišića. Pasivna F uvek ima suprotan smer od smera promene dužine mišića. Prilikom skraćanja mišića (koncentrična kontrakcija) pasivna F ima suprotan smer dejstva u odnosu na aktivnu F , pa se sa povećanjem V sve više poništavaju aktivne F . Kod kontraktilnog mehanizma mišića nivo generisane F se pre svega zasniva na broju nastalih poprečnih mostića. Pošto stvaranje poprečnih mostića zahteva određeno vreme, pri većim brzinama njihov broj biće manji, pa samim tim i manji nivo generisane F (Hong & Bartlett, 2008).

Relacija sila-brzina opisuje odnos između F koju skeletni mišić ispoljava i V njegovog skraćanja koju pri tome ostvaruje. Odnos između F i V u literaturi se još naziva i indeksom mišićnog izvođenja (Limonta & Sacchi, 2010). Pomenuta relacija određuje mehaničko ponašanje mišića koji je izložen različitim intenzitetima opterećenja (Wilkie, 1949). Ovu relaciju objašnjava dinamički kapacitet neuromišićnog sistema koji funkcioniše pod različitim intenzitetima opterećenja i zbog toga je ona značajana prilikom izvođenja pokreta (Fitts & Widrick, 1995). Potpunijim poznavanjem F - V relacije bolje će se razumeti veza između neuromišićnog sistema, mehaničkih karakteristika i motoričkog izvođenja zadatka i sportskog treninga (Samozino, Rejc, Di Prampero, Belli, & Morin, 2012).

3. Pregled dosadašnjih istraživanja

Relacija sila-brzina pobudila je interesovanje naučne javnosti još u prvoj polovini prošlog veka (Fenn & Marsh, 1935; Gasser & Hill, 1924; Hill, 1922; Katz, 1939; Levin & Wyman, 1927). Iako je prošlo mnogo godina od početka proučavanja F-V relacije, njena aktuelnost se nije smanjila. Istraživanja koja su se bavila ispitivanjem F-V relacije mogu se podeliti u tri grupe:

- (1) istraživanja koja su posmatrala F-V relaciju u izolovanim mišićima;
- (2) istraživanja F-V relacije u jednozglobnim pokretima i
- (3) istraživanja F-V relacije u višezglobnim pokretima.

Istraživanja rađena na izolovanom mišiću podrazumevala su merenje F i V *in vitro*, na pojedinačnom mišićnom vlaknu, grupi mišićnih vlakana ili celom mišiću koji je bio hiruški uzet iz životinjskog tkiva i naknadno kinetički i kinematički analiziran van njegovog biloškog okruženja (Fenn & Marsh, 1935; Hill, 1938; Katz, 1939; Levin & Wyman, 1927). Za potrebe analize korišćeni su uređaji koji su fiksirali mišić ili mišićno vlakno za njihove krajeve, a mernim instrumentom su merene jedna od dve varijable (F ili V). Tokom analize strogo su bile kontrolisane jedna varijabla i dužina mišića, odnosno mišićnog vlakna. Merenje je obuhvatalo maksimalnu stimulaciju mišića ili mišićnog vlakna putem hemijskih (Bottinelli & Reggiani, 1995; Lou & Sun, 1993) ili električnih nadražaja (Curtin & Edman, 1994; Sobol & Nasledov, 1994).

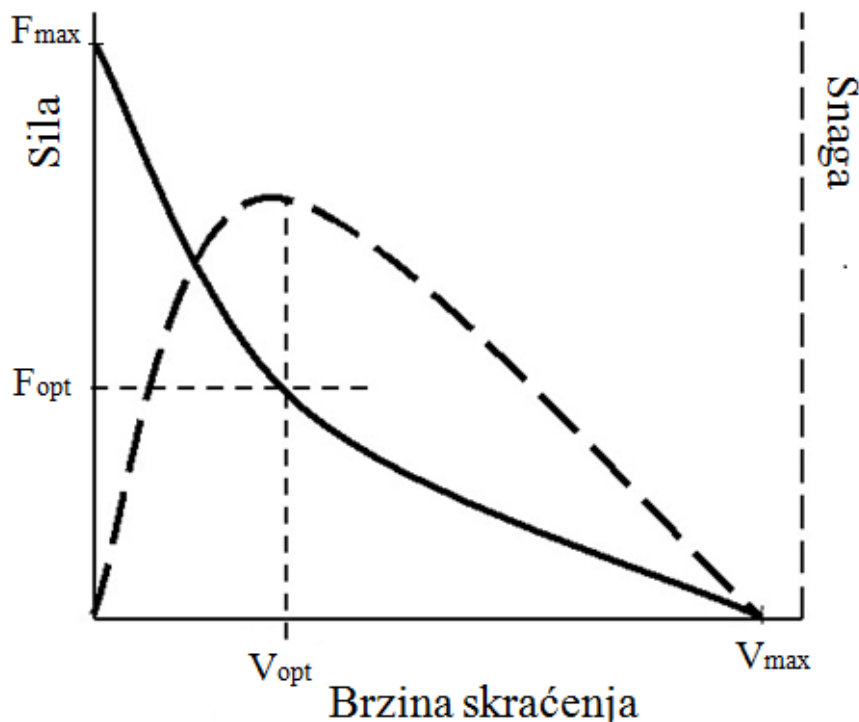
Istraživanja koja su ispitivala F-V relaciju na jednozglobnim (Wilkie 1950; Komi 1973; DeKoning et al. 1985) i višezglobnim pokretima (Cronin, McNair, & Marshall, 2003; Hintzy, Tordi, Predine, Rouillon, & Belli, 2003; Nikolaidis, 2012) podrazumevala su merenje F i V *in vivo*. Ovakva merenja podrazumevala su određivanje F i V na živim organizmima u netaknutom biološkom okruženju. Za razliku od istraživanja na izolovanom mišiću kod kojih je merena generisana F (u samom mišiću), kod istraživanja *in vivo* merena je ispoljena F. Kod istraživanja koji su ispitivali F-V relaciju kod jednozglobnih i višezglobnih pokreta određivan je najčešće moment mišićne sile, a ne sama mišićna F. Kada je reč o V kod izolovanih mišića ona je direktno merena kao brzina njegovog skraćanja. Kod jednozglobnih pokreta V je predstavljala ugaonu brzinu u odgovarajućem zglobu, dok je kod višezglobnih pokreta najčešće merena brzina centra mase datog sistema ili brzina kraja kinetičkog lanca (Hardyk, 2000).

Istraživanja na jednozglobnim i višezglobnim pokretima razlikuju se u tome što su u prvom slučaju F i V merene pri pokretima u samo jednom zglobu (prosti pokreti), dok se u drugom slučaju merenje F i V vrši istovremeno u više zglobova (složeni pokreti).

3.1. Relacija sila-brzina izolovanih mišića i jednozglobnih pokreta

Jedan od pionira u izučavanju mehaničkih osobina mišića je dr Archibald Vivian Hill koji je dobio Nobelovu nagradu za radove na temu stvaranja toplote u mišiću i njegovom mehaničkom radu 1922. godine. Hill je među prvima predstavio inverznu vezu između F koju razvija mišić i V njegovog skraćanja. On je pokazao da na izolovanom mišiću žabe (*m. Sartorius*) sa povećanjem mišićne F dolazi do smanjenja V skraćanja mišića, pri čemu je dobijena hiperbolična F - V relacija (Hill, 1938). Prikaz hiperbolične F - V relacije, tzv. Hilove krive (puna linija) može se videti na Slici 1. Tačka preseka Hilove krive sa vertikalnom osom F predstavlja maksimalnu silu (F_{\max}), a tačka preseka sa horizontalnom osom brzine predstavlja maksimalnu brzinu (V_{\max}). Ukoliko bi ove dve tačke imale fiziološko značenje onda bi F_{\max} predstavljalo maksimalnu izometrijsku silu koju mišić razvije u uslovima kada je brzina skraćanja jednaka nuli ($V = 0$), dok bi V_{\max} bila maksimalna brzina skraćanja neopterećenog mišića, kada je vrednost sile koju mišić razvija jednaka nuli ($F = 0$).

Proizvod F i V predstavlja P , pa je logičan očekivani sled da F - V relacija direktno određuje oblik relacije između snage i brzine (P - V relacija). Kao što se može videti na Slici 1, P - V relacija (isprekidana linija) ima kompleksan oblik, sa maksimumom pomerenom ka manjim brzinama. On predstavlja maksimalnu snagu mišića koja se ostvaruje pri vrednostima F i V koje su manje od polovine njihovih maksimalnih vrednosti. Optimalna sila (F_{opt}) i optimalna brzina (V_{opt}) za ispoljavanje maksimalne snage su na oko 1/3 od njihovih maksimuma.



Slika 1. Prikaz Hilove krive, F - V relacija (puna linija) i P - V relacija (isprekidana linija). F_{opt} odgovara mišićnoj sili koja je potrebna da bi se savladalo optimalno spoljnje opterećenje za šta je potrebna V_{opt} (optimalna brzina skraćenja) kako bi se razvila maksimalna snaga mišića.

F - V relacija je prvobitno ispitivana na mišićima životinja (Fenn & Marsh, 1935; Gasser & Hill, 1924; Katz, 1939; Levin & Wyman, 1927, Hill, 1938). Dobijeni nalazi u ovim istraživanjima su opisali relaciju između F i V i tako potvrdili postojanje Hilove krive. Kasnija istraživanja sprovedena na izolovanim mišićima ispitivala su uticaj različitih faktora na zakrivljenost F - V relacije. Istraživanja su pokazala da sa povećanjem temperature mišića dolazi do smanjenja zakrivljenosti krive (Bottinelli, Canepari, Pellegrino, & Reggiani, 1996). Takođe, na zakrivljenost krive uticao je i tip mišićnog vlakna, pa je zakrivljenost manja kod brzih mišićnih vlakana nego kod sporih (Bottinelli et al., 1996; Marechal & Beckers-Bleukx, 1993). Za razliku od ovih faktora, povećanje zamora mišića, uticalo je na povećanje zakrivljenosti krive (Ameredes, Brechue, Andrew, & Stainsby, 1992).

Dobijeni nalazi na izolovanim mišićima, odnosno hiperbolična F - V relacija potvrđena je i kod jednozglobnih pokreta čoveka (Hawkins & Smeulders, 1999; Komi, 1973; Wilkie, 1949). Testiranje F - V relacije kod ovih istraživanja sastojalo se iz pokreta u jednom zglobu, pri čemu je ostatak tela bio stacionaran, odnosno fiksiran. Ova relacija je najčešće ispitivana na mišićima koji vrše pokrete u zglobu lakta (Cavagna, Dusman, & Margaria, 1968; Dorn,

Levene, & Blair, 1947; Martin, Martin, & Morion, 1995; Wilkie, 1949) i zglobu kolena (Johansson, Lorentzon, Sjöström, Fagerlund, & Fugl-Meyer, 1987; Marshall, Mazur, & Taylor, 1990; Seger & Thorstensson, 2000; Thorstensson, Grimby, & Karlsson, 1976). U ovim istraživanjima testiranja su uglavnom vršena na izokinetičkom dinamometru.

Istraživanja u kojim je ispitivana F-V relaciju kod jednozglobnih pokreta, bavila su se i uticajem različitih faktora na zakrivljenost krive. Pokazalo se da raznovrsni faktori mogu uticati na zakrivljenost krive, a među njima i tip mišićnog vlakna, arhitektura mišića, trening, a uočeno je da se ona razlikuje i kod agonista i antagonista.

Kada je reč o tipu mišićnog vlakna utvrđeno je da mišići sa procentualno većim brojem brzih mišićnih vlakana dovode do manje zakrivljenosti krive (Froese & Houston, 1985; Gregor, Edgerton, Perrine, Campion, & DeBus, 1979). Uticaj arhitekture mišića (perasti, vretenasti) na F-V relaciju prikazan je u klasičnim knjigama biomehanike i fiziologije (Edgerton, Roy, Gregor, & Rugg, 1986; McMahon, 1984). Perasti mišići (kratka mišićna vlakna postavljena pod većim uglom u odnosu na pravac pružanja mišića) ispoljavaju veću F pri manjim V skraćnja, u odnosu na vretenaste mišiće (duga mišićna vlakna sa paralelnim smerom pružanja u odnosu na osu mišića). Međutim, obrnut je slučaj pri većim brzinama skraćnja, pa tako tada vretenasti mišići ostvaruju veće F od perastih mišića. Na F-V relaciju kod jednozglobnih pokreta različito utiču i različite vrste treninga (Nedeljković, 2016). Ukoliko je u pitanju trening jačine (velike sile, a male brzine) kriva će se pomeriti ka većim vrednostima F, dok će maksimalna V ostati ista. Kod treninga brzine (velika brzina, a male sile) kriva će se pomeriti ka većim vrednostima V, dok će maksimalna F ostati nepromenjena. Takođe, kriva će se razlikovati i kada se upoređuju dve antagonističke grupe mišića (pregibači i opružači). Oblik krive između pregibača i opružača je sličan, ali kriva pregibača je pomerena u desno ka većim vrednostima F i P (Baechle & Earle, 2008).

Iako se Hilova kriva i danas, nakon toliko godina koristi u svom izvornom obliku za opisivanje F-V relacije, postoje istraživanja koja sugerišu da ona ne opisuje najtačnije nivo generisanja mišićne F, kao ni V njegovog skraćnja. Pojedini autori su čak sugerisali da bifazični oblik hiperbolične krive više odgovara opisivanju F-V relacije (Edman, 1987; Lou & Sun, 1993). Takođe, istraživači su pokazali da deo Hilove krive koji se odnosi na ekscentričnu kontrakciju ne oslikava stvarno stanje odnosa između F i V izduženja mišića (Jorgensen, 1976; Katz, 1939). Precizno matematičko opisivanje F-V relacije pri ekscentričnoj kontrakciji nije moguće, za razliku od koncentrične kontrakcije (Zatsiorsky, 2008). Takođe, složenost

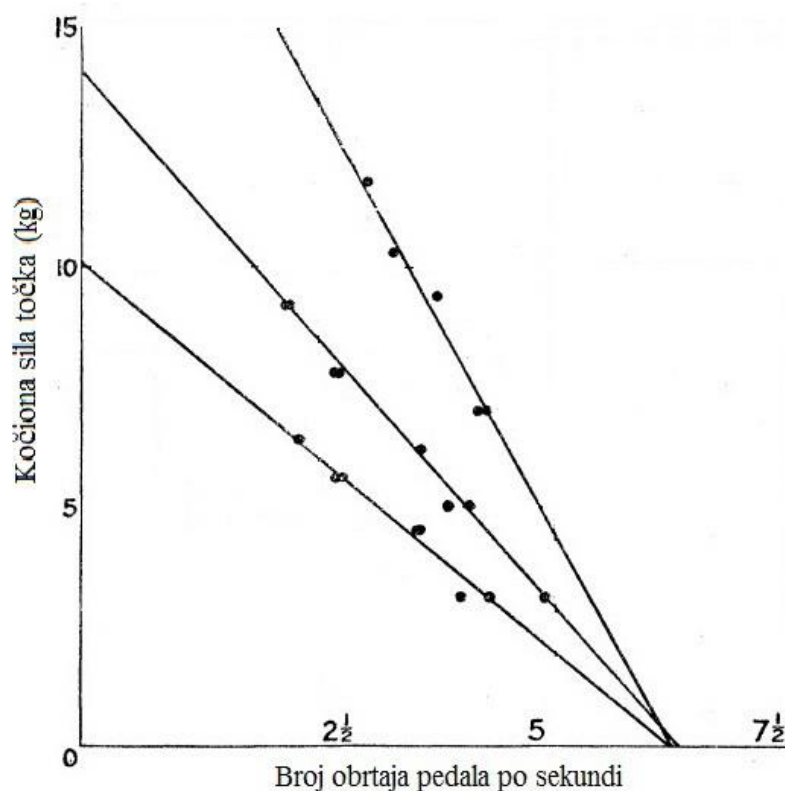
pomenute hiperbolične F-V relacije i njene P-V relacije ograničava ne samo njihovu preciznost i procenu kod različitih motoričkih testova, već i njihovu primenu kod različitih modelovanja i optimizacije procedura kako treninga tako i rehabilitacionih intervencija (Jaric, 2015).

Wilkie (1949) je još na početku izučavanja ove relacije istakao da sa određivanjem karakteristika F-V relacije, možemo osnovnom mehanikom predvideti vrednosti V na osnovu F koju mišić ispoljava savladavajući različita opterećenja. Istraživanja novijeg datuma težila su upravo opisivanju i utvrđivanju odnosa između F i V, ali je pored jednozglobnih pokreta, ispitivana i relacija kod višezglobnih pokreta. Činjenica je da čovekovo svakodnevno kretanje, sportske aktivnosti i fizičko vežbanje zahtevaju pokrete koji se vrše u više zglobova pa je od velikog značaja posmatrati F-V relaciju i mehaničke osobine mišića koje ih opisuju.

Kako bi se detaljnije ispitala F-V relacija, istraživači su posmatrali ovaj odnos kod rezultata različitih motoričkih testova, uključujući tako i raznovrsne mišićne grupe ruku i nogu. Za razliku od pokazane hiperbolične F-V relacije koja je dobijena na izolovanim mišićima i kod jednozglobnih pokreta, relacija dobijena kod višezglobnih pokreta bila je drugačija. Veliki broj istraživanja koja su ispitivala F-V relaciju kod višezglobnih pokreta pokazala su da je ona linearna (Jaric, 2015).

3.2. Relacija sila-brzina mišića višezglobnih pokreta

Na linearnost F-V relacije kod višezglobnih pokreta ukazano je još pre čuvenog Hilovog eksperimenta iz 1938. godine. Naime, još 1928. godine sprovedeno je istraživanje u kojem je dobijena linearna povezanost između kočione sile i brzine okretanja pedala na bicikl ergometru (Dickinson, 1928). Prikaz linearne F-V relacije kod višezglobnih pokreta dat je na Slici 2.



Slika 81. Linearna F-V relacija između kočione sile točka i brzine okretanja pedala prikazana za tri ispitanika (Dickinson, 1928).

Cilj ovog istraživanja nije bila procena mehaničkih osobina mišića, već provera Hilove hipoteze (1922) koja je glasila: “Prosečna spoljašnja sila, koja se ispoljava tokom pokreta maksimalnim angažovanjem, može se smatrati jednakom kao i konstantna teorijska sila koja je proporcionalno umanjena u odnosu na brzinu”. Dobijena linearna F-V relacija kod višezglobnih pokreta nije privukla značajnu pažnju tadašnje naučne javnosti, tako da tokom dužeg vremenskog perioda nije bila predmet istraživanja. Međutim, krajem prošlog i početkom ovog veka istraživači uočavaju značaj ove relacije, pa je danas sve veći broj naučnih radova koji opisuju relaciju između F i V kod različitih motoričkih testova.

Dosadašnja istraživanja pokazala su da postoji linearna relacija između F i V mišića ruku i ramenog pojasa (Cronin, McNair, & Marshall, 2003; Hintzy, Tordi, Predine, Rouillon, & Belli, 2003; Nikolaidis, 2012; Sprague, Martin, Davidson, & Farrar, 2007; Sreckovic et al., 2015; Van Den Tillaar & Ettema, 2004). F-V relacija mišića ruku i ramenog pojasa ispitivana je različitim motoričkim testovima: Izbačaj tega sa grudi (Cronin et al., 2003; Sreckovic et al., 2015), Okretanje točkova sedeći u invalidskim kolicima (Hintzy et al., 2003), Bacanje lopte jednom rukom (Van Den Tillaar & Ettema, 2004), Veslanje na ergometru (Sprague et al.,

2007), Okretanje pedala na ergometru za ruke (Nikolaidis, 2012; Vandewalle, Peres, Sourabie, Stouvenel, & Monod, 1989).

Linearna F-V relacija dobijena je i kod različitih motoričkih testova mišića nogu (Cuk et al., 2014; Driss, Vandewalle, Chevalier, & Monod, 2002; Jaskolska, Goossens, Veenstra, Jaskolski, & Skinner, 1999; Sheppard, Cormack, Taylor, McGuigan, & Newton, 2008).

Skokovi predstavljaju jedan od osnovnih, prirodnih oblika kretanja i sastavni su deo sportskih aktivnosti. Već je pomenuto da se test Skok uvis često upotrebljava u praksi, takođe on je primenjivan i od strane istraživača za ispitivanje F-V relacije mišića nogu. Dobijena linearna F-V relacija pokazana je kod skoka sa počučnjem (Sheppard et al., 2008; Vandewalle et al., 1987) i skoka iz polučučnja (Cuk et al., 2014; Jimenez-Reyes et al., 2014; Samozino, Edouard, et al., 2014). Autori Cuk i sar. (2014) posmatrali su F-V relaciju kod tri različita protokola izvođenja testa Skoka uvis (skok sa počučnjem bez zamaha ruku; skok sa počučnjem sa zamahom rukama; skok iz počučnja). Specifičnost ove studije ogleda se u korišćenju različitog negativnog i pozitivnog intenziteta opterećenja koje se kretalo od – 30 % do + 30 % ispitaničeve mase tela. Na osnovu dobijenih nalaza i linearne F-V relacije, autori su preporučili da je za rutinsko testiranje opružaća nogu bolje koristiti prirodniji i jednostavniji za izvođenje test Skok uvis sa počučnjem.

Čučnjevi sa tegovima koriste se za razvoj snage opružaća nogu u treningu i rehabilitaciji. Intenzitet opterećenja se prilagođava svakom sportisti ili pacijentu na osnovu maksimalno podignutog opterećenja (1 RM). Međutim, pored opterećenja važna je i V izvođenja čučnja. Čučnjevi sa tegovima mogu predstavljati i test kojim se može odrediti odnos između F i V, kao i između P i V, iz čega se mogu proceniti osnovne mehaničke osobine opružaća nogu. U dosadašnjim istraživanjima kod čučnjeva sa različitim intenzitetima opterećenja (tegovi) dobijena je linearna F-V relacija (Rahmani, Locatelli, & Lacour, 2004; Rahmani, Viale, Dalleau, & Lacour, 2001).

Odnos sila-brzina praćen je i kod motoričkog testa potisak nogama. Linearna F-V relacija dobijena je u izometrijskim i dinamičkim uslovima kontrakcije (Allison, Brooke-Wavell, & Folland, 2013; Hahn, Herzog, & Schwirtz, 2014; Meylan et al., 2015; Samozino et al., 2012; Samozino, Rejc, di Prampero, Belli, & Morin, 2014; Yamauchi, Mishima, Fujiwara, Nakayama, & Ishii, 2007).

F-V relacija posmatrana je i kod cikličnih aktivnosti kao što su trčanje i vožnja bicikle. Linearna veza između F i V dobijena je pri primeni kratkog Vingejt testa na bicikl ergometru (Driss & Vandewalle, 2013; Driss et al., 2002; Nikolaidis, 2012; Ravier, Grappe, & Rouillon, 2004; Vandewalle et al., 1987). F-V relacija ispitivana je i kod motoričkog testa Trčanje na tredmilu sa povećavanjem intenziteta, pri čemu je takođe dobijena linearna veza (Jaskolska et al., 1999; Morin, Samozino, Bonnefoy, Edouard, & Belli, 2010; Rabita et al., 2015).

Na osnovu pregleda dosadašnjih istraživanja u kojima je praćena F-V relacija kod višezglobnih pokreta može se konstatovati da je većina ispitivala relaciju odvojeno za mišiće ruku i nogu. Malo je istraživanja koja su posmatrala istovremeno F-V relaciju mišića ruku i nogu, ali do sada dobijeni nalazi su takođe pokazali linearnu vezu (Chelly, Hermassi, & Shephard, 2010; Nikolaidis, 2012).

Linearna F-V relacija kod višezglobnih pokreta je utvrđena kod različitih motoričkih testova. Ovakvi nalazi razlikovali su od nalaza dobijenih kod izolovanih mišića i jednozglobnih pokreta, pa su se pored istraživanja odnosa između F i V istraživači bavili i glavnim uzrocima ove razlike. Yamauchi i saradnici (2007, 2009) su zaključili da mogući uzrok linearne F-V relacije leži u neuralnim mehanizmima. Oni su pokušali da preslikaju izotonične uslove iz ranijih eksperimenata (Fenn & Marsh, 1935; Hill, 1938) kod izvođenja višezglobnog pokreta nogu kako bi dobili hiperboličnu relaciju. Međutim, opet je dobijena linearna F-V relacija, pa je konstatovano da kod ovog fenomena važnu ulogu imaju neuralni mehanizmi koji su prisutni u okviru međumišićne koordinacije. Takođe, smatra se da linearnost F-V relacije kod višezglobnih pokreta nastaje zbog segmentalne dinamike (Bobbert, 2012). Naime, Bobbert (2012) je ponašanje svog mišićno-skeletnog modela noge uporedio sa realnom F merenom na dinamometru. Dobijenu linearnu F-V relaciju objasnio je dinamikom segmenata, pri kojoj se sa povećanjem V izvođenja pokreta sve više i više mišićne F poništavaju kako se spoljašnja F smanjuje. Opšte je poznato i prihvaćeno da bez obzira na kompleksnost mišićno-skeletnog sistema, kontrola i optimizacija pokreta ne predstavljaju poseban izazov za centralni nervni sistem (Latash, Scholz, & Schoner, 2007). U skladu sa tim, segmentalna dinamika se smatra prihvatljivijim objašnjenjem uzroka linearnosti F-V relacije (Jaric, 2015).

Pored toga što većina istraživanja ukazuje da je F-V relacija kod višezglobnih pokreta linearna, neki autori su sugerisali da ona nije linearna (Limonta & Sacchi, 2010; Sanchez-Medina, Gonzalez-Badillo, Perez, & Pallares, 2014). Autori Limonta i Sacchi (2010) nisu dobili linearnu F-V relaciju kod motoričkog testa Čučanj sa tegovima. U njihovoj studiji bili

su uključeni ispitanici oba pola, podeljeni po grupama na osnovu dominantne motoričke sposobnosti u sportu kojim se bave (snage i izdržljivosti). Kod manjih opterećenja, povećanje F pratilo je smanjenje V, dok kod većih opterećenja to nije bio slučaj. Dobijeni nalazi kod većih opterećenja pokazali su da je došlo do povećanja F i V, s tim što je povećanje V bilo u malom opsegu.

Generalno posmatrano, može se zaključiti da je veoma mali broj istraživanja u kojima je izučavana razlika između linearnog i nelinearnih modela (Cuk et al., 2014; Sreckovic et al., 2015). Cuk i saradnici (2014) su upoređivali linearni model F-V relacije sa polinomijalnim modelom kod testa Skok uvis. Dok su Srecković i saradnici (2015) upoređivali ova dva modela kod testa Izbačaj tega sa grudi. Dobijeni nalazi u obe studije pokazali su da iako polinomijalni model nešto bolje opisuje F-V relaciju, nije bilo značajnih razlika između linearnog i polinomijalnog modela. Ovi rezultati sugerisu da je F-V relacija kod višezglobnih pokreta približno linearna.

3.2.1. Parametri linearne regresije dobijeni iz relacije sila-brzina

Relacija F-V omogućava da se na osnovu više različitih intenziteta odrede parametri maksimalne sile, brzine i snage. Dobijena F i V pri različitim opterećenjima kod višezglobnih pokreta mogu se analizirati primenom linearnog regresionog modela. Ovaj model korišćenjem standardne jednačine linije regresije omogućava izračunavanje:

$$F(V) = F_{\max} - aV, \quad (3.1)$$

F_{\max} parametara maksimalne sile, gde je a nagib relacije, što dalje omogućava izračunavanje parametara maksimalne brzine

$$V_{\max} = F_{\max}/a, \quad (3.2)$$

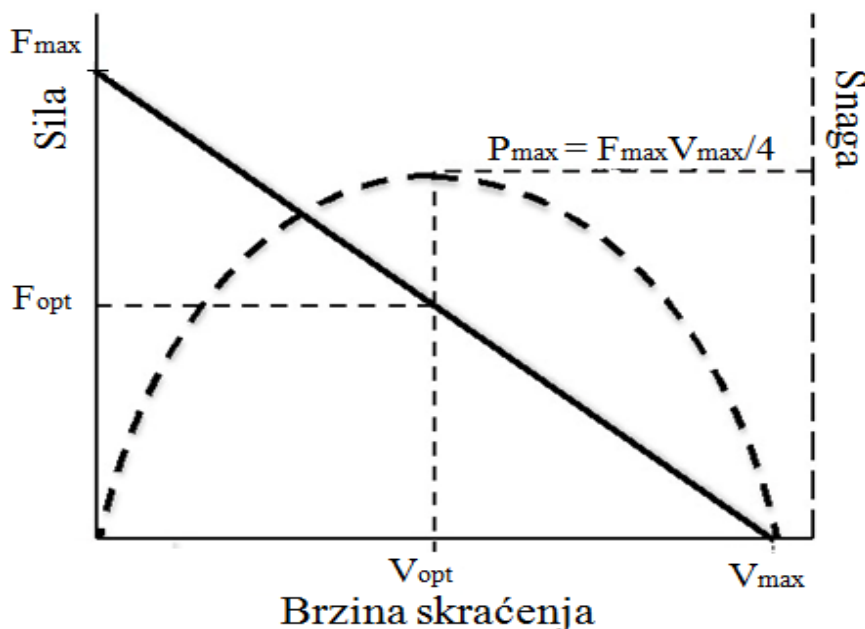
Na osnovu poznavanja pomenutih parametara F_{\max} i V_{\max} može se odrediti i parametar maksimalne snage (P_{\max}).

$$P_{\max} = F_{\max} V_{\max}/4. \quad (3.3)$$

Uz pomoć ovog linearnog modela dobijaju se četiri međusobno zavisna parametara F_{\max} , V_{\max} , a i P_{\max} koji opisuju oblik F-V i P-V relacije testiranog mišića. Nagib regresione

prave (a; jedn. 3.1) direktno ukazuje na odnos između F i V . Veći nagib ukazuje na veće vrednosti F_{\max} , dok manji nagib ukazuje na veće vrednosti V_{\max} .

Na Slici 3 dat je prikaz linearne F - V relacije kod višezglobnih pokreta (puna linija). Kada se izvrši serija testiranja sa različitim opterećenjima i kroz njih provuče regresiona prava može se odrediti parametar F_{\max} (predstavlja presek regresione prave i vertikalne ose F) i parametar V_{\max} (predstavlja presek regresione prave i horizontalne ose V). Ukoliko se ovi parametri dobiju iz relacije koju karakteriše visok stepen povezanosti, opravdano je pretpostaviti da oni imaju stvarno fiziološko značenje, odnosno da zaista predstavljaju maksimalnu F , V i P testiranih mišića. Ovakav linearni F - V model koji dobijen iz serije testiranja sa različitim opterećenjima čini *standardni regresioni model*. Isprekidanom linijom na Slici 3 prikazana je P - V relacija, koja ima oblik parabole. Kao što se može videti, maksimum snage ispoljava se na $1/2$ maksimalne F i maksimalne V . Ukoliko se posmatra procentualno u odnosu na maksimum, optimalno spoljašnje opterećenje za ispoljavanje maksimalne P kod višezglobnih pokreta ($F_{\text{opt}} = 50\% F_{\max}$) biće veće nego kod jednozglobnih pokreta ($F_{\text{opt}} \approx 33\% F_{\max}$). Ovo je od značaja, kako u sportu tako i u rehabilitaciji kako bi se pravilno upravljalo opterećenjima na treningu i dobio maksimalni efekat primenjenog programa. Pojedini istraživači ističu da je ovaj nalaz od značaja i u dijagnostici, jer je primena optimalnog opterećenja bitan preduslov za validnu procenu maksimalne P (Cormie et al., 2011).



Slika 149. F - V relacija (puna linija) i P - V relacija (isprekidana linija) kod višezglobnih pokreta. F_{opt} predstavlja optimalnu silu, a V_{opt} optimalnu brzinu za razvoj maksimalne snage.

3.2.2. Primena parametara linearne regresije u testiranju

Za razliku od testiranja sa jednim opterećenjem koja se često izvode u praksi, linearna F-V relacija upravo određivanjem parametara maksimalne sile, brzine i snage omogućava da se dobije potpunija slika o osnovnim mehaničkim osobinama mišića. Takođe, iz linearne F-V relacije može se odrediti i P-V relacija koja je za razliku od relacije kod jednozglobnih pokreta jednostavnija za korišćenje i izračunavanje.

Kako bi se F-V relacija koristila u rutinskom testiranju potrebno je da se izvrši i evaluacija parametara koji se dobijaju na osnovu nje, pa je tako potrebno pokazati njihovu pouzdanost, validnost i osetljivost. Pouzdanost parametara dobijenih iz F-V relacije kod testova za procenu mišića nogu (Skok uvis) i testa za procenu mišića ruku (Izbačaj tega sa grudi) pokazala se visoko pouzdanom (Cuk et al., 2014; Sreckovic et al., 2015). Konkurentna validnost koja se odnosi na upoređivanje vrednosti parametara dobijenih iz F-V relacije sa direktno procenjenom maksimalnom F, V i P imala je nešto nekonzistentnije nalaze. Povezanost parametra F_{\max} sa direktno merenom F bila je u rasponu od umerene do visoke (Cuk et al., 2014; Driss et al., 2002; Vandewalle et al., 1987), dok je u nekim istraživanjima bila niska ili je čak nije ni bilo (Rahmani et al., 2001; Yamauchi & Ishii, 2007). Konkurentna validnost parametra V_{\max} bila je niska, dok je kod parametra P_{\max} povezanost bila visoka (Cuk et al., 2014). Za razliku od ove studije Ravier i saradnici (2004) pokazali su da parametri V_{\max} i P_{\max} imaju veću konkurentnu validnost nego F_{\max} . Što se tiče osetljivosti parametara, dobijena je visoka osetljivost svih parametara linearne regresije i konstatovano je da se na osnovu njih mogu utvrditi razlike između osoba različitog nivoa i vrste treniranosti (Cuk et al., 2016). Takođe, istraživanja su utvrdila da je nagib regresione prave osetljiv na uticaj različitih faktora pa je pored nivoa treniranosti (Vandewalle et al., 1987) i ekspertskeg nivoa sportiste (Ravier et al., 2004), nagib bio osetljiv i na pol ispitanika (Yamauchi, Mishima, Nakayama, & Ishii, 2009). Alison i saradnici (2013) ukazali su da se F-V i P-V relacija razlikuju između mlađih i starijih osoba prilikom izvođenja motoričkog testa potiska nogama. Odnosno, u ovoj studiji je kod starijih osoba zabeležena manja P (došlo je do smanjenja F i V), a pokazano je da je smanjenje u F više doprinelo tome.

Na osnovu pomenutih dosadašnjih istraživanja kod višezglobnih pokreta može se videti da su parametri dobijeni iz linearne F-V relacije računati u različitim eksperimentalnim uslovima, a to može uticati na njihove vrednosti.

Većina studija je posmatrala F-V relaciju odvojeno u zavisnosti od mišićne grupe (mišići ruku ili mišići nogu), a samim tim i parametare koji se dobijaju iz nje. Iako je pokazana linearna F-V relacija, i kod ruku i kod nogu, može se uočiti da su apsolutne vrednosti parametara linearne regresije bile različite. Nikolaidis (2012) je uporedio odnos parametara dobijenih iz linearne F-V relacije između ruku i nogu kod motoričkog testa na bicikl ergometru. U ovom radu zabeležene su veće vrednosti parametara F_{\max} , V_{\max} i P_{\max} kod mišića nogu. Nalazi istraživanja Chelly i saradnika (2010) su takođe u saglasnosti sa ovim rezultatima. Nastale razlike između parametara se mogu objasniti razlikama u morfologiji mišića ruku i nogu, a to se pre svega odnosi na arhitekturu mišića i površinu fiziološkog preseka.

Pregledom dosadašnjih istraživanja uočeno je da se pri testiranju iste grupe mišića koriste različiti motorički testovi, različito opterećenje i različiti tipovi varijabli (srednje i maksimalne) što takođe utiče na vrednosti parametara. Za procenu mehaničkih osobina mišića opružača nogu najčešće koristi test na bicikl ergometru ili skok uvis. Takođe, na bicikl ergometru primenjuju se različite vrste opterećenja (trenje ili električni motor), dok se skok uvis izvodi na različite načine (sa ili bez zamaha rukama; sa ili bez počučnja). Što se tiče opterećenja, najčešće se koriste opterećenja u vidu šipki sa tegovima, pločica ili vreća koje se stavljaju u ojačani prsluk i pojas, guma koje se rastežu i dr. Može se primetiti da kada je reč o tipovima varijabli, autori koriste maksimalne vrednosti ili vrednosti F i V koje su usrednjene kroz ceo pokret ili samo njegov deo. Odabir tipa varijabli, srednjih vrednosti F i V (Feeney, Stanhope, Kaminski, Machi, & Jaric, 2015; Rahmani et al., 2001; Samozino et al., 2012), ili maksimalnih vrednosti (Sheppard et al., 2008; Vandewalle et al., 1987; Yamauchi et al., 2009) vršen je bez obrazloženja i preporuke za koje se pre treba opredeliti. Međutim, postoje i istraživanja koja su uključila obe vrednosti varijabli F i V (Cuk et al., 2014; Sreckovic et al., 2015). Dobijeni parametri u studijama koje su posmatrale obe vrednosti F i V pokazali su da F_{\max} i V_{\max} iz maksimalnih vrednosti imaju veće vrednosti nego parametri dobijeni iz srednjih vrednosti istih varijabli. Srednje i maksimalne vrednosti F i V posmatrane su kod testa Skok uvis i testa Izbačaj tega sa grudi. Međutim, potrebno je još istraživanja sa različitim testovima kako bi se potvrdili ovi nalazi.

Metoda određivanja parametra iz linearne F-V relacije (standardni regresioni model) može se razviti i primeniti u rutinskom testiranju mehaničkih svojstava mišića (Cuk et al., 2014; Jaric, 2015; Nikolaidis, 2012; Sreckovic et al., 2015). Da bi se F-V relacija primenila u testiranju, a samim tim i njeni parametri, potrebno je da sama procedura testiranja bude

jednostavna i ekonomična za izvođenje. Na osnovu F-V relacije može se steći potpunija slika o mehaničkim osobinama mišića i nadomestiti nedostaci standardnih procedura testiranja. Međutim, protokoli testiranja koji je potrebno sprovesti kako bi se dobili podaci i kasnije odredili parametri nije toliko jednostavan. Da bi se odredila linearna F-V relacija potrebno je sprovesti željeni test više puta pri različitim opterećenjima, a to zahteva duže vreme za realizaciju protokola. Minimalan broj različitih opterećenja (eksperimentalnih tačaka) koji je zabeležen u pomenutim istraživanjima za određivanje linearne F-V relacije bio je pet (Nikolaidis, 2012). Da bi se utvrdila linearnost relacije i pokrio što veći opseg opterećenja, neki autori su koristili čak osam do devet tačaka (Hintzy et al., 2003; Yamauchi et al., 2007). Nezavisno od broja eksperimentalnih tačaka, relacija između F i V bila je linearna. Dug protokol testiranja je jedan od ograničavajućih faktora za primenu F-V relacije u rutinskom testiranju, naročito kod vrhunskih sportista. Međutim, pored dužeg protokola testiranja, primena velikog broja različitih opterećenja odnosno, eksperimentalnih tačaka može dovesti i do pojave zamora kod ispitanika.

Jedan od načina koji bi omogućio da se F-V relacija primeni u svakodnevnom testiranju u sportu, rehabilitaciji i uopšte u dijagnostici predstavlja pojednostavljenije protokola testiranja kojim se ova relacija utvrđuje. Standardni regresioni model je osnova za određivanje F-V relacije koja podrazumeva testiranje sa većim brojem različitih opterećenja, zbog čega je protokol testiranja složen. Na osnovu dosadašnjih istraživanja može se primetiti da sa smanjenjem broja eksperimentalnih tačaka nije došlo do narušavanja linearosti F-V relacije. S obzirom da je većina istraživanja pokazala da je F-V relacija visoko linearna, broj eksperimentalnih tačaka ne bi trebao da utiče na konačan rezultat.

Moguće pojednostavljenije standardne procedure dobijanja parametara iz regresionog modela moglo bi se izvesti na osnovu primene manjeg broja eksperimentalnih tačaka. Provlačenjem linije kroz dva para podataka F i V dobijenih na osnovu dva različita opterećenja ili brzine znatno bi olakšalo proceduru testiranja i obradu podataka. Ovakav model tzv. *model dva opterećenja* mogao bi da zameni dobijanje parametara F-V relacije iz standardnog regresionog modela (Jaric, 2016). Kreiranjem novog, jednostavnijeg F-V modela skratila bi se procedura testiranja, a istovremeno omogućila procena osnovnih mehaničkih osobina mišića. Na ovaj način olakšalo bi se sprovođenje budućih testiranja i nadomestili nedostaci pomenutih standardizovanih testova.

4. Problem istraživanja

Na osnovu pregledane literature i uočenih nedostataka dosadašnjih studija formiran je problem istraživanja.

Problem ovog istraživanja odnosi se na relaciju između F i V kod višezglobnih pokreta različitih mišićnih grupa. Na osnovu dosadašnjih istraživanja može se konstatovati da je F-V relacija višezglobnih pokreta posmatrana kod različitih motoričkih testova, a samim tim i mišićnih grupa. Dobijena linearna F-V relacija kod različitih složenih pokreta rađena je posebno za mišiće ruku i mišiće nogu. Pored linearnog regresionog modela u literaturi su se, za opisivanje ove relacije, koristili i nelinearni modeli, a postoje i istraživanja koja tvrde da odnos između F i V nije linearan. Generalno, veoma mali broj istraživača se upravo bavio razlikom između linearnih i nelinearnih modela. Postojeće nekonzistentnosti u dosadašnjim istraživanjima o F-V relaciji višezglobnih pokreta mogu se objasniti različitim metodologijim, različitim testovima i mišićnim grupama. Kako bi se utvrdila relacija između F i V u ovom istraživanju posmatran je odnos kod različitih mišićnih grupa na istoj grupi ispitanika. Od motoričkih testova primenjena su dva motorička testa za mišiće ruku i dva testa za mišiće nogu.

U dosadašnjim istraživanjima korišćeni su različite tipovi varijabli (srednje i maksimalne vrednosti) za dobijanje parametara linearne regresije (F_{\max} , V_{\max} i P_{\max}). S obzirom da ne postoje podaci koji bi išli u prilog načina korišćenja varijabli, a ni preporuka da li da se koriste srednje ili maksimalne vrednosti varijabli F i V, ova studija će se baviti i tim problemom.

Nakon utvrđivanja odnosa između F i V različitih mišićnih grupa u ovom istraživanju utvrdiće se i povezanost parametara dobijenih iz F-V relacije. Kao što je pomenuto, većina istraživanja posmatrala je F-V relaciju odvojeno za ruke i noge, a samim tim i parametre koji se dobiju iz nje. Mali je broj istraživanja koja su se bavila upoređivanjem vrednosti parametara linearne regresije različitih mišićnih grupa aktivnih u primenjenom testu. U literaturi ne postoje istraživanja koja su ispitivala da li se i koliko mogu generalizovati pomenuti parametri dobijeni iz jednog testa na druge testova i u njima aktivne mišiće. U ovoj studiji utvrdiće se povezanost parametara dobijenih iz linearne F-V relacije i mogućnost njihove generalizacija u odnosu na mišićnu grupu i motorički test.

Primena F-V relacije u rutinskom testiranju je glavna veza između istraživanja i prakse. Objasnjeno je kako se određuju parametri F_{\max} , V_{\max} i P_{\max} iz F-V relacije (standardni

regresioni model). Činjenica je da testiranje koje zahteva veći broj različitih opterećenja zahteva više vremena za realizaciju i dovodi do zamora ispitanika. Postavlja se pitanje koliko je opterećenja potrebno da bi se F-V relacija primenjivala u rutinskom testiranju. Svakako najefikasniji i najjednostavniji način ogledao bi se u primeni najmanjeg i najvećeg opterećenja. Ova studija će se baviti i evaluacijom novog F-V modela nazvan model dva opterećenja.

5. Predmet, cilj i zadaci istraživanja

Na osnovu dosadašnjih istraživanja i predstavljenih problema formulisani su predmet i ciljevi istraživanja mehaničkih svojstava mišića.

Predmet istraživanja su mehanička svojstva različitih mišićnih grupa procenjena motoričkim testovima koji se zasnivaju na višezglobnim pokretima.

Generalni cilj ovog istraživanja je evaluacija relacije sila-brzina različitih mišićnih grupa i procena njihovih mehaničkih svojstva. U skladu sa generalnim ciljem postavljeni su *pojedinačni ciljevi*. Oni si realizovani u dva istraživanja.

Istraživanje I

- Cilj 1: ispitati linearnost F-V relacije različitih mišićnih grupa.
- Cilj 2: odrediti parametre F-V relacije dobijenih iz srednjih i maksimalnih vrednosti sile i brzine.
- Cilj 3: odrediti parametre F-V relacije i njihovu povezanost.

Istraživanje II

- Cilj 4: evaluacija novog F-V modela korišćenjem dva opterećenja.

Operativni zadaci koje treba realizovati kako bi se ostvarili postavljeni ciljevi istraživanja:

- Formirati grupe ispitanika na osnovu definisanih kriterijuma (IPAQ upitnik).
- Odrediti morfološke karakteristike ispitanika.
- Upoznati ispitanike sa motoričkim testovima koji će se primeniti.
- Testirati motorička svojstva mišića ruku i nogu kroz različite motoričke testove.
- Izračunati srednje i maksimalne vrednosti F, V i P.
- Proceniti oblik F-V relacije linearnim i polinomijalnim regresionim modelom.
- Izračunati parametre maksimalne sile, maksimalne brzine i snage iz dobijenih F-V relacija.
- Konstruisati standardni regresioni model i model dva opterećenja.
- Izvršiti statističku analizu dobijenih podataka.
- Prikazati i interpretirati nalaze.

6. Hipoteze istraživanja

Na osnovu dosadašnjih istraživanja i u skladu sa navedenim pojedinačnim ciljevima konstruisane su sledeće hipoteze:

H₁: Relacije sile i brzine različitih mišićnih grupa su linearne.

H₂: Parametri maksimalne sile, brzine i snage dobijeni iz maksimalnih vredosti F i V imaju veće vrednosti od parametara dobijenih iz srednjih vrednosti.

H₃: Isti parametri maksimalne sile, brzine i snage dobijeni na različitim mišićnim grupama međusobno su povezani.

H₄: Standardni regresioni model i model dva opterećenja imaju visok stepen slaganja vrednosti njihovih parametara.

ISTRAŽIVANJE I

*(Mišićna relacija sila-brzina kod četiri različita
motorička testa)*

7. MIŠIĆNA RELACIJA SILA-BRZINA KOD ČETIRI RAZLIČITA MOTORIČKA TESTA

U sklopu *Istraživanja I* realizovana su tri postavljena cilja doktorske disertacije. Sva testiranja bila su sprovedena u Metodičko-istraživačkoj laboratoriji (MIL) Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja u Beogradu, u trajanju mesec dana.

Poglavlje 7 napisano je na osnovu publikovanog rada u vrhunskom međunarodnom časopisu (M23) – *Journal of Human Kinetic* pod nazivom: „*Muscle force-velocity relationships observed in four different functional tests*”.

7.1. Uvod

Mišićna relacija sila-brzina (F-V) kod višezglobnih pokreta je u fokusu dosadašnjih istraživanja. Jedan od glavnih razloga za to je selektivno procenjivanje sile (F), brzine (V), i snage (P), odnosno kapaciteta mišića koji učestvuju u realizovanju višezglobnih pokreta. Štaviše, F-V relacija može biti približno linearnog oblika, umesto hiperboličnog koji je obično posmatran in vitro ili kod individualnih mišićnih grupa (Jaric, 2015). Linearni oblik F-V relacije ne samo da pojednostavljuje procenu kod različitih motoričkih testova, nego i dobijeni parametri iz relacije direktno predstavljaju svojstva testiranih mišića, odnosno maksimalnu F, V i P. Opseg vrednosti F i V dobijenih pri različitim opterećenjima može se prikazati linearnim modelom:

$$F(V) = F_{\max} - aV \quad (7.1.1)$$

gde parametar a predstavlja nagib relacije. F_{\max} (F-isečak) odgovara maksimalnoj sili testiranog mišića koja omogućava dalje izračunavanje V-isečka:

$$V_{\max} = F_{\max}/a \quad (7.1.2)$$

koji predstavlja maksimalnu brzinu testiranog mišića. Konačno, maksimalna snaga testiranog mišića je:

$$P_{\max} = F_{\max}V_{\max}/4 \quad (7.1.3)$$

Relativno visoka i približno linearna F-V relacija dobijena je kod različitih motoričkih testova koji zahtevaju maksimalno izvođenje nekog zadatka (vožnja bicikla, čučnjevi,

vertikalni skokovi, potisak nogama na različitim kliznim spravama i dinamometrima (Hahn et al., 2014; Samozino et al., 2012; 2014; Yamauchi et al., 2009), trčanja i različiti zadaci za ruke), a i parametri dobijeni iz relacije pokazali su se visoko pouzdanim i umereno validnim (Jaric, 2015). Sa druge strane, postoje istraživanja koja su pokazala slabu i nelinearnu F-V relaciju (Allison et al., 2013; Feeney et al., 2016; Hahn et al., 2014; Limonta and Sacchi, 2010). Zbog toga, direktno poređenje F-V relacija kod različitih motoričkih testova može otkriti da li razlike postoje zbog nejednakih uslova između različitih testova i uključenih mišića, ili zbog različitih metodologija koje su primenjene u studijama.

U skladu sa nejasnoćama koje se tiču F-V relacije dobijene kod višezglobnih pokreta, treba naglasiti da ne postoji generalna preporuka koji tip varijable F i V (srednje ili maksimalne) treba koristiti za modelovanje mišićne F-V relacije (pogledati Jaric, 2015). Relacija dobijena iz maksimalnih vrednosti F i V očekivano je pokazala veće vrednosti parametara F_{max} , V_{max} i P_{max} , nego relacija posmatrana iz srednjih vrednosti F i V (Cuk et al., 2014; Sreckovic et al., 2015). Međutim, određene prednosti jednog od ova dva tipa varijabli nisu do sada istražene. Konačno, treba imati na umu i implicitnu pretpostavku svake baterije testova: nalazi dobijeni iz svega nekoliko testiranih mišića i pokreta mogu da se delom generalizuju na druge mišiće i pokrete (Bohannon, 2008; Pojednic et al., 2012). Međutim, veza između mišićnih svojstava procenjenih putem parametara F_{max} , V_{max} i P_{max} , dobijenih kod različitih testova nije do sada ispitivana.

Kako bi se rešili navedeni problemi, urađena je studija sa ciljem da se istraži i uporedi F-V relaciju kod različitih motoričkih testova, kao i kod različitih tipova varijabli F i V. Prva hipoteza ove studije je da će ispitavane F-V relacije biti visoke i linearne. Druga hipoteza odnosi se na to da će parametri F_{max} , V_{max} i P_{max} dobijeni iz maksimalnih vrednosti F i V biti veći nego iz srednjih vrednosti. Poslednja, treća hipoteza polazi od toga da će parametri dobijeni iz F-V relacije moći da se generalizuju na različite motoričke testove. Očekuje se da će dobijeni rezultati proširiti saznanje o mehaničkim svojstvima mišića, i uopšte funkcionisanju čovekovog mišićnog sistema, kao i da će doprineti budućem razvoju rutinskih testova za procenu mišićne F, V i P i njihovoj primeni u raznim, srodnim poljima koje ispituju čovekovo kretanje.

7.2. Metode

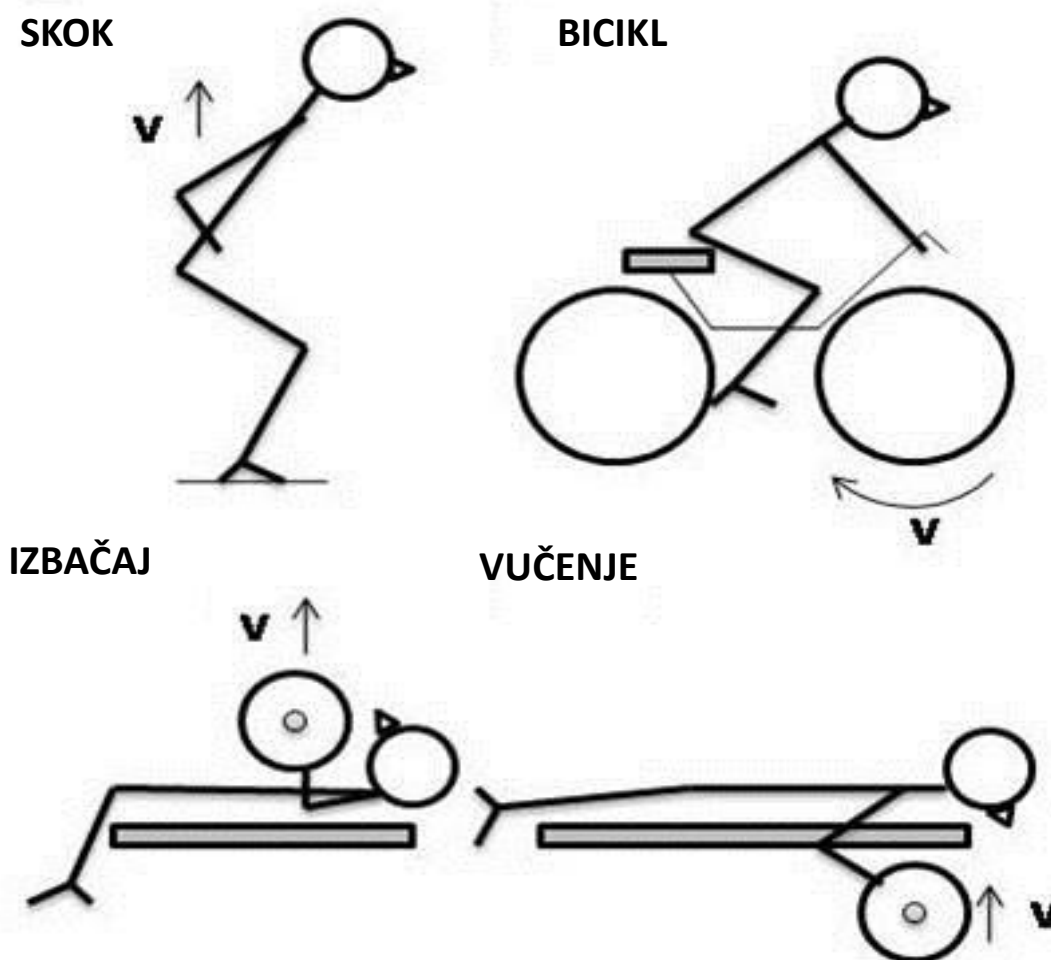
7.2.1. Uzorak ispitanika

Veličina uzorka ispitanika (Cohen, 1988) određena je za alfa nivo 0.05 i statističku snagu od 0.8 i u skladu sa prethodnim studijama koje su pratile efekat spoljašnjeg opterećenja (Cuk et al., 2014; Sreckovic et al., 2015) obuhvatila je od 3 do 12 ispitanika. Za potrebe ove studije angažovano je 12 ispitanika muškog pola (uzrasta 22.1 ± 3.4 godina; telesne visine 184.1 ± 7.1 cm; telesne mase 80.8 ± 8.2 kg; podaci su prikazani kao srednja vrednost \pm standardna devijacija). Telesno maseni indeks ispitanika iznosio je 24.5 ± 1.5 kg/m², dok je procenat masnog tkiva bio 11.2 ± 2.8 %. Fizička aktivnost ispitanika procenjena je uz pomoć IPAQ upitnika (Taylor-Piliae et al., 2006), na osnovu koga je određeno da 4 ispitanika imaju visoki, 5 srednji, a preostala 3 nizak nivo fizičkih aktivnosti. Kriterijum za odabir ispitanika podrazumevao je da ispitanici nemaju hronične bolesti i da u poslednjih godinu dana nisu imali povrede koje bi mogle da utiču na nalaze ove studije. Ispitanici su bili upoznati sa predmetom i ciljem istraživanja i informisani o potencijalnim rizicima koje nosi testiranje. Pre početka realizacije istraživanja ispitanici su svojim potpisom dali saglasnost za učestvovanje, koja je u skladu sa Helsinškom deklaracijom i odobrena od strane Etičke komisije Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja u Beogradu.

7.2.2. Procedure istraživanja

Za određivanje visine tela korišćen je standardizovan antropometar po Martinu, a za procenu mase i strukture sastava tela bioelektrična impedanca (In Body 720; SAD). Glavni deo istraživačkih procedura činila su četiri motorička testa izvedena pri različitim intenzitetima opterećenja: test Skok uvis sa počučnjem (SKOK), Kratki Vingejt test (BICIKL), Izbačaj tega sa grudi (IZBAČAJ), Vučenje tega (VUČENJE).

SKOK je izveden na tenziometrijskoj platformi, koja je bila kalibrisana prema specifikaciji proizvođača (AMTI, BP600400; SAD). Tokom izvođenja SKOK svi ispitanici su nosili prsluk i pojas u koji je dodavano opterećenje (MiR Vest Inc; SAD). Ispitanici su dobili instrukciju da izvedu maksimalni skok uvis bez zamaha rukama (ruke na boku), a nisu im bile date instrukcije o spuštanju tokom izvođenja skoka (Slika 4). Odmor između dva skoka sa istim opterećenjem trajao je 1 min, a odmor između različitih opterećenja bio je 2 do 3 min (Markovic, Mirkov, Knezevic, & Jaric, 2013).



Slika 202. Prikaz motoričkih testova za mišiće nogu (SKOK i BICIKL) i mišiće ruku (IZBAČAJ i VUČENJE).

BICIKL test je zahtevao maksimalno brzo okretanje pedala u toku 6 sek (Mendez-Villanueva et al., 2007; Pazin, Bozic, Bobana, Nedeljkovic, & Jaric, 2011). Testiranje je izvedeno na bicikl ergometru (Monark 834E, Varberg, Svedska). Ispitanici su dobili instrukciju da okreću pedale što je moguće brže, dok ne budu čuli komandu stop, kao i da ne smeju da ustaju sa sedišta tokom trajanja testa (Pazin et al., 2011). Optimalna visina sedišta podešavana je za svakog ispitanika posebno. Period odmora nakon svakog opterećenja bio je 4 min (Pazin et al., 2011).

IZBAČAJ je izveden na Smit mašini. Ova konstrukcija je imala mehanične graničnike koji su omogućavali fiksaciju početnog položaja šipke na 1 cm iznad nivoa grudi, a dva merioca dodatno su pridržavala šipku pri njenom zaustavljanju. Ispitanici su dobili instrukciju da izbace šipku najviše što mogu. Pauza između dva izbačaja trajala je 45 s, a pauza između dva različita opterećenja bila je 3 min (Sreckovic et al., 2015).

VUČENJE je izvedeno prema već utvrđenom protokolu (Sanchez-Medina et al., 2014). Ispitanici su imali zadatak da maksimalno (najjače i najbrže) povuku šipku ka grudima, dok šipka ne udari u donji deo klupe. Ispitanici su bili fiksirani u predelu nogu i grudi za konstrukciju klupe. Period odmora bio je kao i kod testa IZBAČAJ. Šematski prikaz motoričkih testova za mišiće ruku dat je na Slici 4.

U toku istraživanja izvršena su 4 merenja, sa odmorom od 5 do 7 dana između svakog (Cuk et al., 2014). Prvo merenje obuhvatilo je morfološke karakteristike ispitanika (visina tela, telesna masa i struktura sastava tela) i familijarizaciju sa dva testa (ruka + noga). Drugo merenje sastojalo se od familijarizacije sa preostala dva testa (noga + ruka). U toku trećeg i četvrtog merenja sprovedeno je testiranje i prikupljeni su podaci. Redosled testiranja bio je randomizovan za svakog ispitanika. Da bi se izbegla pojava zamora, familijarizacija i testiranje obuhvatili su po jedan test za mišiće ruku i ramenog pojasa i jedan test za mišiće nogu. Testiranje je trajalo u proseku 90 min. Za sve testove, osim za BICIKL izvedena su po dva pokušaja, od kojih je prvi bio probni pokušaj, a rezultati drugog su korišćeni za dalju analizu podataka. Na osnovu prethodnih istraživanja i subjektivnog osećaja ispitanika u toku testiranja nije dolazilo do pojave zamora. Pre testiranja sprovedeno je standardno zagrevanje u trajanju 10 min za mišiće nogu (Markovic et al., 2013; Cuk et al., 2014), kao i za mišiće ruku i ramenog pojasa (Sanchez-Medina et al., 2006; Sreckovic et al., 2015).

Početno opterećenje kod testa SKOK bila je masa tela ispitanika, prsluk i pojas (koji teže oko 1kg), a zatim je dodavano opterećenje od 8, 16, 24 i 32 kg. Ispitanici su ukupno izveli 10 skokova (5 opterećenja x 2 pokušaja). Kod testa BICIKL ispitanici su izvodili 5 maksimalnih sprinteva sa spoljašnjim opterećenjem, gde je početno opterećenje bilo 2 kg, a zatim je dodavano po 2 kg do maksimalnih 10 kg opterećenja (5 opterećenja x 1 pokušaj). Spoljašnje opterećenje je kod testova IZBAČAJ i VUČENJE bilo identično. Početno spoljašnje opterećenje činila je masa šipke i segmenata ruku i ramenog pojasa i iznosila je 20 kg (Sreckovic et al., 2015). Opterećenje je bilo povećavano za po 7.5 kg, tako da je poslednje

opterećenje iznosilo 57.5 kg. Ispitanici su ukupno izveli 12 izbačaja tega sa grudi i 12 vučenja tega (6 opterećenja x 2 pokušaja).

7.2.3. Analiza podataka

Analiza vertikalne komponente sile reakcije podloge kod testa SKOK obavljena je u programu koji je kreiran u *LabVIEW* softverskom paketu (National Instruments 2013; SAD). Frekvencija snimanja zapisa F iznosila je 1000 Hz, dok je signal bio filtriran niskopropusnim Batervortovim filterom od 10 Hz. Iz dobijene F, integracijom ubrzanja signala izračunata je V (Cuk et al., 2014). Analizirana je faza pokreta koja je obuhvatala interval od najniže pozicije centra mase do početka faze leta. Za dobijanje podataka kod testa BICIKL korišćen je već postojeći softver (*Monark anaerobic test software*) koji je automatski računao snagu koju ispitanik ostvaruje okretanjem pedala tokom svake sekunde. Brzina je izračunata na osnovu frekvencije i dužine poluge preko koje je vršeno okretanje pedala, dok je F dobijena kada se P podeli sa V.

Za analizu podataka dobijenih kod testova IZBAČAJ i VUČENJE korišćen je program napisan u *LabVIEW* softverskom paketu. Kamere za 3D kinematičku analizu kretanja (Qualisys AB, Gothenburg, Švedska) sa frekvencom snimanja 240 Hz i 10 Hz niskopropusnim Batervortovim filterom upotrebljene su za snimanje vertikalnog kretanja šipke kod oba testa za mišiće ruku i ramenog pojasa. Brzina i ubrzanje šipke izračunato je iz prvog i drugog izvoda signala pomeraja šipke. Sila je izračunata uz pomoć težine i inercije ukupno podignutog tereta. U skladu sa prethodnim studijama (Sanchez-Medina et al., 2014; Sreckovic et al., 2015) analizirana je koncentrična faza koja je obuhvatila interval od početka pokreta do momenta izbačaja šipke iz ruku (IZBAČAJ), odnosno do udara šipke u klupu (VUČENJE). Kada ispitanik pri najvećem opterećenju nije uspeo da izvede ceo pokret do kraja, za završetak koncentrične faze određen je momenat kada je V pala na 5 % od maksimuma.

Srednje (SV) i maksimalne (MAX) vrednosti F i V su odvojeno izračunate za sva četiri motorička testa. Kod testa BICIKL, postojeći program je računao odvojeno P i frekvencu za svaku sekundu, što je omogućilo izračunavanje srednjih i maksimalnih F i V vrednosti.

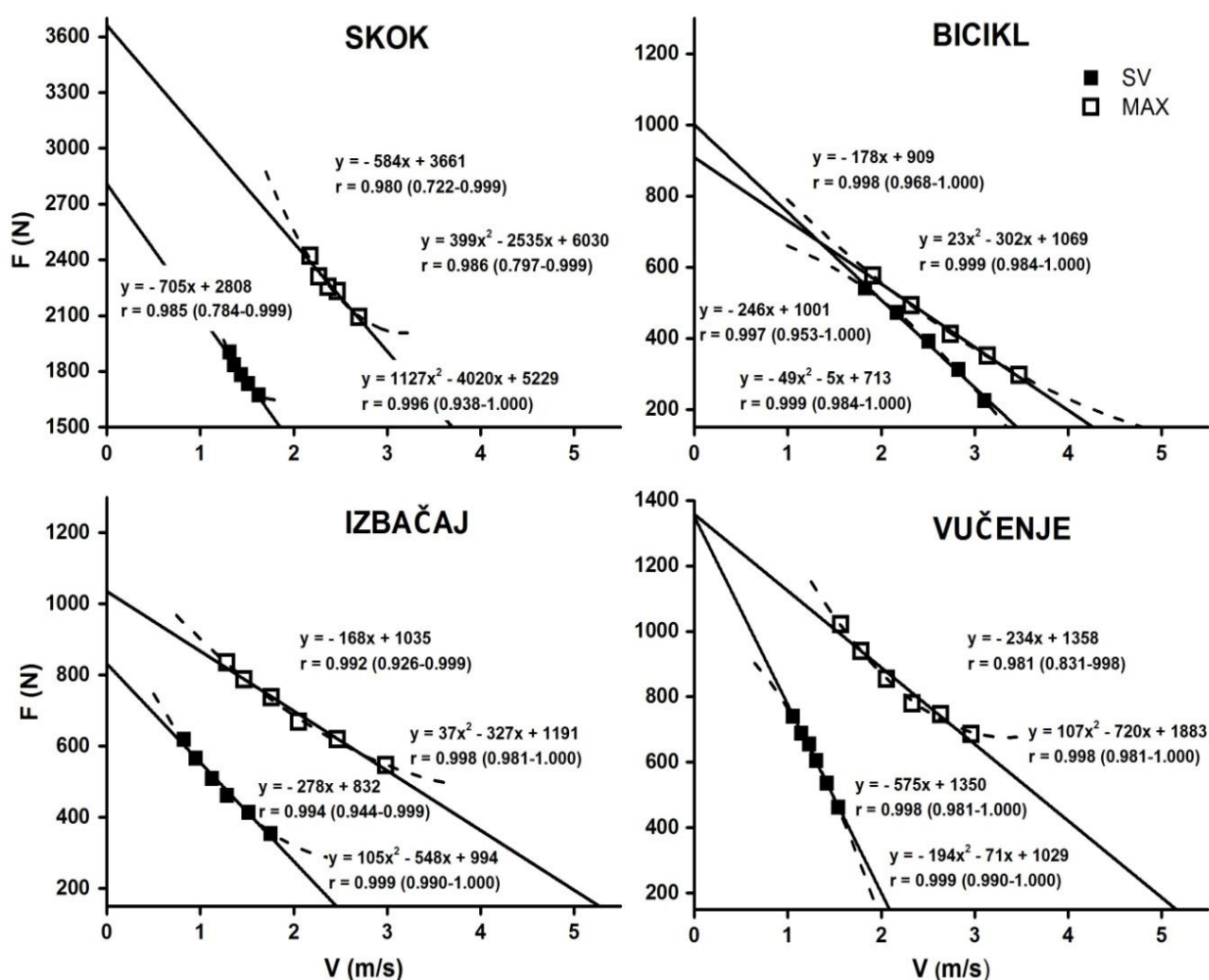
Glavne varijable u ovoj studiji bili su parametri dobijeni iz F-V relacije (F_{\max} , V_{\max} , P_{\max}) kod sva četiri testa, koji su izračunati iz srednjih i maksimalnih vrednosti F i V (tip varijable). Pre primene statističkih procedura testirana je normalnost distribucije Kolmogorov-

Smirnov testom i pokazano je da ni jedna od zavisnih varijabli značajno ne odstupa od normalne distribucije. U okviru deskriptivne statistike za sve varijable izračunata je srednja vrednost, standardna devijacija i koeficijent varijacije, a koeficijent korelacije je prikazan medijanom i opsegom.

U cilju ispitivanja relacije sila-brzina primenjena je linearna i polinomijalna regresija na srednjim i maksimalnim vrednostima kod sva četiri testa. Takođe, izračunat je i interval pouzdanosti (95 % CI), kako bi se uporedile F-V relacije dobijene iz linearne i polinomijalne regresije na usrednjenim vrednostima ispitanika. Za utvrđivanje razlika između parametara dobijenih između srednjih i maksimalnih vrednosti F i V od statističkih procedura primenjen je Studentov t-test za zavisne uzorke. Kako bi se ispitala povezanost parametara dobijenih iz F-V relacije kod različitih testova urađena je Pirsonova korelacija kod srednjih i maksimalnih vrednosti F i V. Analiza varijanse sa ponovljenim merenjem (ANOVA) i Bonferroni-eva korekcija primenjena je na Z-transformisanim koeficijentima korelacije kod sva četiri motorička testa kako bi se utvrdile postojeće razllike između različitih testova i tipa varijable. Za nivo statističke značajnosti određeno je $p < 0.05$. Svi statistički testovi izvršeni su programu SPSS 21 (IBM, Armonk, NY).

7.3. Rezultati istraživanja I

Na Slici 5 prikazan je linearni i polinomijalni model F-V relacije kod četiri motorička testa. Prikazane vrednosti na slici predstavljaju usrednjene vrednosti F i V svih ispitanika za oba tipa varijabli (SV i MAX). Može se primetiti da od 8 polinomijalnih modela, 6 imaju kovexsni oblik, a samo 2 konkavan. Kao što se može uočiti sa slike, koeficijenti korelacije su kod sva četiri testa izuzetno visoki ($r > 0.980$). Takođe, nijedan od koeficijenta linearnog modela nije bio ispod intervala pouzdanosti (95 % CI) koeficijenta korelacije dobijenog iz odgovarajućeg polinomijalnog regresionog modela.



Slika 5. Linearna (puna linija) i polinomijalna regresija (isprekidana linija) urađene na usrednjenim podacima F i V ispitanika kod četiri motorička testa, prikazane posebno na srednjim (pun kvadratić) i maksimalnim (prazan kvadratić) vrednostima sile i brzine.

U Tabeli 1 prikazani su dobijeni parametri linearne regresije kod četiri različita motorička testa. Kao što je bilo i očekivano, parametri linearne regresije dobijeni iz maksimalnih vrednosti F i V bili su veći od parametara dobijenih iz srednjih vrednosti, sa izuzetkom F_{\max} kod testa BICIKL. Nagib regresije (a) ukazuje da je značajno veća vrednost P_{\max} dobijenih iz maksimalnih vrednosti F i V kod sva četiri testa više proistekala zbog razlika u V_{\max} , nego zbog F_{\max} . Na osnovu pregleda tabele može se konstatovati da je varijabilnost F_{\max} i V_{\max} prikazana koeficijentom varijacije (CV) znatno veća kod testa SKOK, nego kod preostala tri testa. U tabeli 1 se može uočiti izuzetno visoki individualni koeficijenti korelacije linearnog modela kod sva četiri motorička testa i kod oba tipa varijabli. Nešto niži koeficijent korelacije zabeležen je kod testa SKOK, vrednosti su bile oko 0.80, dok je kod ostalih motoričkih testova bilo svega nekoliko korelacija ispod 0.95.

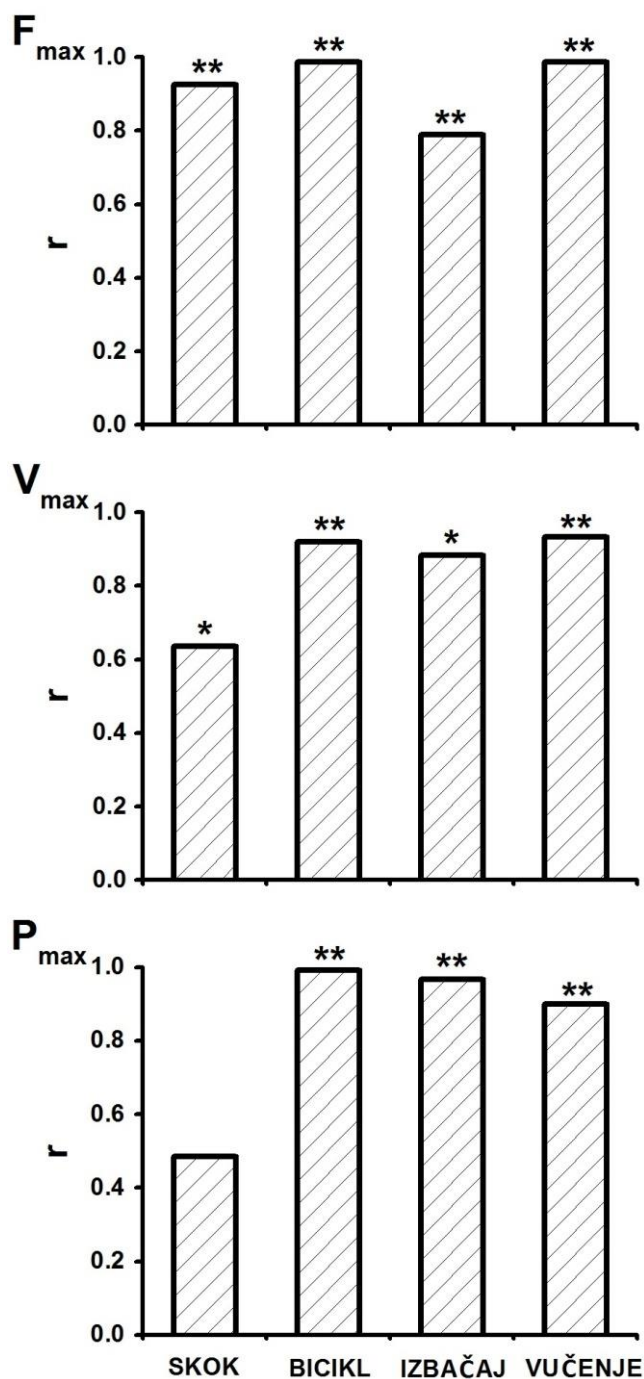
Kada je primenjena analiza varijanse sa ponovljenim merenjem (test x tip varijable) na Z-transformisanim koeficijentima korelacije faktor test se pokazao značajnim ($F = 22.8$, $p < 0.01$), dok kod faktora tip varijable (SV i MAX) nije bilo razlika ($F = 2.1$, $p = 0.16$), a ni kod njihove interakcije ($F = 0.9$, $p = 0.46$). Individualne F-V relacije su bile najviše kod testa BICIKL (sve $p < 0.01$), najniže kod testa SKOK (sve $p < 0.01$), dok nije bilo značajnih razlika između testova IZBAČAJ i VUČENJE ($p = 0.99$).

Tabela 1. Individualne F-V relacije kod četiri motorička testa i dva tipa varijabli.

Test	Varijable	F_{\max} (N)	CV F_{\max} (%)	V_{\max} (m/s)	CV V_{\max} (%)	P_{\max} (W)	CV P_{\max} (%)	r
SKOK	SV	2948 ± 788	26.7	4.5 ± 1.8	38.9	3089 ± 584	18.9	0.951 (0.877-0.992)
	MAX	3856 ± 1177**	30.5	6.9 ± 2.0**	28.7	6213 ± 1003**	16.1	0.930 (0.815-0.996)
BICIKL	SV	1033 ± 222	21.5	4.1 ± 0.3	7.1	1047 ± 189	18.1	0.995 (0.978-0.999)
	MAX	928 ± 153**	16.5	5.1 ± 0.4**	8.6	1181 ± 171**	14.5	0.992 (0.980-0.999)
IZBAČAJ	SV	830 ± 58	7.0	3.0 ± 0.3	9.5	627 ± 73	11.7	0.984 (0.963-0.991)
	MAX	1035 ± 78**	7.5	6.2 ± 0.8**	12.2	1610 ± 201**	12.5	0.983 (0.952-0.997)
VUČENJE	SV	1350 ± 234	17.3	2.4 ± 0.3	10.5	807 ± 124	15.3	0.990 (0.940-0.997)
	MAX	1368 ± 177	12.9	5.9 ± 0.8**	14.3	2007 ± 338**	16.9	0.968 (0.943-0.997)

SKOK, test Skok sa počučnjem; *BICIKL*, kratki Vingejt test; *IZBAČAJ*, test Izbačaj tega sa grudi; *VUČENJE*, test Vučenje tega, F_{\max} , parametar maksimalne sile; V_{\max} , parametar maksimalne brzine; P_{\max} , parametar maksimalne snage; r, koeficijent korelacije (medijana i opseg); CV, koeficijent varijacije; SV, podaci iz srednjih vrednosti sile i brzine; MAX, podaci iz maksimalnih vrednosti sile i brzine; (* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$ – razlike dobijene između srednjih i maksimalnih podataka).

Slika 6 prikazuje korelaciju između istih parametara individualnih linearnih F-V relacija dobijenih iz srednjih i maksimalnih vrednosti F i V za četiri motorička testa. Na slici se može videti da su korelacije visoke i značajne za sve parametre izuzev P_{\max} kod SKOK.



Slika 6. Koeficijenti korelacije između istih parametara F-V relacije srednjih i maksimalnih vrednosti sile i brzine kod četiri motorička testa (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$).

U tabeli 2 prikazana je generalizacija parametara linearne F-V relacije na osnovu korelacije između istih parametara četiri različita motorička testa. Iz tabele se može uočiti da se koeficijenti korelacije kreću od niskih do visokih.

Nakon Z-transformacije koeficijenta korelacije urađena je analiza varijanse sa ponovljenim merenjem gde su glavni faktori bili parametar (F_{\max} , V_{\max} i P_{\max}) i tip varijable (SV i MAX). Rezultati su pokazali značajnu razliku kod faktora parametar ($F = 10.7$; $p < 0.01$), faktora tip varijable ($F = 16.4$; $p < 0.01$), kao i kod njihove interakcije ($F = 9.9$; $p < 0.01$). Nakon urađene Bonferroni-eve korekcije (post hoc test) dobijena je veća povezanost između parametara P_{\max} nego između V_{\max} ($p < 0.01$), kao i parametara dobijenih iz maksimalnih vrednosti F i V u odnosu na parametre iz srednjih.

Radi boljeg prikaza Tabela 2 je data na posebnoj stranici.

Tabela 2. Pirsonov koeficijent korelacije između istih parametara F-V relacije kod četiri motorička testa, prikazan posebno za srednje i maksimalne vrednosti sile i brzine.

Parametar	Test	Srednje vrednosti				Maksimalne vrednosti			
		SKOK	BICIKL	IZBAČAJ	VUČENJE	SKOK	BICIKL	IZBAČAJ	VUČENJE
F _{max}	SKOK	1				1			
	BICIKL	0.39	1			0.61*	1		
	IZBAČAJ	-0.24	0.38	1		0.20	0.49	1	
	VUČENJE	0.30	0.44	0.46	1	0.54	0.49	0.74**	1
V _{max}	SKOK	1				1			
	BICIKL	0.25	1			0.27	1		
	IZBAČAJ	0.13	0.08	1		0.20	0.30	1	
	VUČENJE	-0.27	-0.16	0.29	1	-0.01	0.04	0.41	1
P _{max}	SKOK	1				1			
	BICIKL	0.64*	1			0.57	1		
	IZBAČAJ	0.67*	0.66*	1		0.50	0.58*	1	
	VUČENJE	0.51	0.77**	0.46	1	0.50	0.82**	0.49	1

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; Pogledati Tabelu 1 za ostale skraćenice.

7.4. Diskusija

U istraživanju I, ispitivane su F-V relacije četiri različita motorička testa i dva tipa varijabli. U skladu sa prvom hipotezom, rezultati su pokazali izuzetno visoke i linearne F-V relacije, nezavisno od vrste testa i tipa varijabli. Kada je reč o drugoj hipotezi, nalazi dobijeni iz maksimalnih vrednosti F i V imali su veće vrednosti P_{\max} nego isti parametar dobijen iz srednjih vrednosti F i V. Dobijena razlika kod ovih nalaza može se pripisati više V_{\max} , nego F_{\max} . Što se tiče treće hipoteze, rezultati ovog istraživanja sugerišu da se mišićna svojstva, procenjena na osnovu F-V parametara jednog testa, mogu samo delimično generalizovati u odnosu na mišić i test.

Generalno gledano, linearnost individualnih F-V relacija pored toga što je bila izuzetno visoka, pokazala se sličnom (Cuk et al., 2014; Garcia-Ramos, Jaric, Padijal, & Feriche, 2016; Jaskolska et al., 1999; Yamauchi et al., 2009), ako ne i višom nego u prethodnim studijama (Allison et al., 2013; Feeney et al., 2015; Rabita et al., 2015). U skladu sa dosadašnjim istraživanjima (Cuk et al., 2014; Sreckovic et al., 2015), nalazi ove studije pokazali su da nije bilo razlika između linearnog i polinomijalnog modela. Na osnovu dobijenih rezultata može se konstatovati da je F-V relacija kod mišića koji izvode višezglobne pokrete visoka i linearna. Takođe, ovi rezultati sugerišu da odabir apsolutnih opterećenja neće imati značajan uticaj na ishod. Međutim, iz dobijenih nalaza se može videti da F-V relacija može biti izuzetno visoka kao kod testa BICIKL, ili nešto slabija kao kod testa SKOK u odnosu na preostale motoričke testove. Ovakvi nalazi mogu da se objasne različitim zadacima koji se obavljaju pri izvođenju testa, kao i adaptacijom obrasca pokreta na različita opterećenja. Za razliku od testova IZBAČAJ, VUČENJE i delom BICIKL, koji ne zahtevaju posebnu adaptaciju zbog manjeg broja stepena slobode, test SKOK karakteriše adaptacija na dubinu skoka, ko-varijacija zglobova kuka, kolena i skočnog zgloba i ostalih zglobnih uglova (Markovic, Mirkov, Nedeljkovic, & Jaric, 2014). Na primer, samo umerena promena dubine pri izvođenju skoka sa počućnjem značajno utiče na ispoljavanje F i P, dok maksimalna V pri skoku ostaje nepromenjena (Mandic, Jakovljevic, & Jaric, 2015). Ovaj fenomen generalno sugeriše da različita opterećenja mogu uticati na obrazac pokreta, a samim tim i na relaciju između F i V (Mandic et al., 2015; Markovic et al., 2014).

Očigledna validnost parametara F-V relacije je opšte prihvaćena (Jaric, 2015). Tačnije, parametri treba da opišu kapacitete testiranih mišića odnosno njihove mogućnosti da ispolje

maksimalnu F (tj. F_{\max}), V (V_{\max}), i P (P_{\max}) prilikom određenog testa, odnosno motoričkog zadatka. Kada su ovi parametri upoređeni sa direktno merenom F, V, i P utvrđeno je da imaju umerenu konkurentnu validnost (Cuk et al., 2014; Garcia-Ramos et al., 2016; Giroux, Rabita, Chollet, & Guilhem, 2015; Sreckovic et al., 2015). Kod testa SKOK dobijeni su izrazito veći F_{\max} i P_{\max} nego kod preostala tri testa, što je logičan sled jer se pri ovom testu istovremeno aktiviraju mišićne grupe nogu i trupa. Dobijeni parametri su u saglasnosti sa rezultatima u dosadašnjim istraživanjima, kako kod različitih vrsta vertikalnih skokova (Cuk et al., 2014; Feeney et al., 2015; Giroux et al., 2015) tako, i kod testa Izbačaj tega sa grudi (Garcia-Ramos et al., 2016; Sanchez-Medina et al., 2014; Sreckovic et al., 2015). Nešto veća varijabilnost parametara dobijena kod testa SKOK može se objasniti adaptacijom obrasca pokreta na spoljašnja opterećenja (pogledati predhodni paragraf).

Odnos između F i V kod oba tipa varijabli je do sada izučavan i direktno poređen kod vertikalnih skokova (Cuk et al., 2014) i izbačaja tega sa grudi (Sreckovic et al., 2015). Kada su upoređivane srednje i maksimalne vrednosti F i V rezultati su pokazali približne vrednosti parametara i razlika između njih. Kao što je bilo i očekivano, P_{\max} je bio veći iz maksimalnih vrednosti, nego iz srednjih varijabli F i V. Dobijeni rezultat nastao je više zbog razlika u V_{\max} nego zbog F_{\max} . Kao posledica toga, F-V relacija je bila strmija kod srednjih vrednosti F i V u odnosu na maksimalne vrednosti. Rezultati dobijeni kod sva četiri motorička testa sugerišu da linearna F-V relacija može da se dobije iz oba tipa varijabli, ali treba očekivati razlike između vrednosti parametara. Za buduće procedure testiranja i određivanje F-V parametara preporučuje se odabir maksimalnih vrednosti F i V, jer one ne zahtevaju procenu početka i završetka pokreta, za razliku od srednjih vrednosti F i V.

U praksi se često na osnovu nekoliko rutinskih testova za procenu mišićnih svojstava pretpostavlja da se dobijeni rezultati u nekoj meri mogu generalizovati na celokupni mišićni sistem. U ovoj studiji postavljeno je pitanje da li se individualni kapacitet mišića F, V i P mogu proceniti F-V parametrima (F_{\max} , V_{\max} i P_{\max}) i generalizovati između primenjenih motoričkih testova i mišića. Dobijeni nalazi su nekonzistentni, i samo su kod srednjih vrednosti dobijeni umereni koeficijenti korelacije za iste F-V parametare različitih testova. Rezultati ove studije ukazali su na višu korelaciju između P_{\max} nego između V_{\max} , a to se može objasniti činjenicom da su testovi izvedeni u uslovima gde se ispoljava P_{\max} (odnosno srednje vrednosti F i V), dok je V_{\max} predstavljen udaljenom ekstrapolacijom. Dobijena umerena generalizacija F-V parametara je u skladu sa dosadašnjim istraživanjima koja su pokazala slabu generalizaciju F

izmerene na individualnim mišićima (Bohannon, 2008) ili višezglobnim pokretima (Pojednic et al., 2012). Iste varijable kod jednog mišića posmatrane različitim metodama mogu visoko korelirati, ali slabo i nedovoljno sa celokupnim mišićnim sistemom (Bozic, Celik, Uygur, Knight, & Jaric, 2013; Prebeg et al., 2013).

7.5. Zaključak istraživanja I

U istraživanju I je ispitivana F-V relacija kod četiri različita motorička testa koja se zasnivaju na maksimalnom izvođenju pokreta i dobijeni su konzistentni nalazi. Tačnije, F-V relacija se pokazala visokom i približno linearnom, nezavisno od testa i tipa varijable. Generalizacija parametara dobijenih iz F-V relacije koji opisuju različite mehaničke karakteristike mišića pokazala se umerenom u odnosu na mišićnu grupu i test.

Ukoliko se razmotri ekološka validnost višezglobnih pokreta i prethodno pomenuta visoka pouzdanost i umerena konkurentna validnost parametara F-V relacije, može se konstatovati da dosadašnji nalazi ohrabruju buduća istraživanja u ovoj oblasti. Za razliku od standardnog testiranja koje se obično izvodi na jednoj grupi mišića u nejednakim mehaničkim uslovima, testiranje sa više različitih spoljnjih opterećenja omogućuje istovremeno određivanje mišićnih svojstava, odnosno maksimalnu F, V i P primenom linearne F-V relacije. Buduća istraživanja treba usmeriti ka određivanju jednostavnijeg modela, gde će se mišićna svojstva procenjivati na osnovu najmanjeg i najvećeg opterećenja, a sve u cilju skraćivanja procedure testiranja i izbegavanja zamora.

ISTRAŽIVANJE II

(Evaluacija modela dva opterećenja)

8. JEDNOSTAVNA METODA ZA PROCENU MIŠIĆNE SILE, BRZINE I SNAGE PRIMENOM MOTORIČKIH TESTOVA

(A simple method for assessment of muscle force, velocity, and power producing capacities from functional movement tasks)

U sklopu *Istraživanja II* obuhvaćen je četvrti cilj doktorske disertacije. Sva testiranja su bila sprovedena u Metodičko-istraživačkoj laboratoriji (MIL) Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja u Beogradu, u trajanju mesec dana.

Poglavlje 8 napisano je na osnovu rada prihvaćenog za objavljivanje u međunarodnom časopisu (M21) – *Journal of Sport Sciences* pod nazivom: „*A simple method for assessment of muscle force, velocity, and power producing capacities from functional movement tasks*”.

8.1. Uvod

Rutinska testiranja mišićnih svojstava se obično realizuju u nejednakim mehaničkim uslovima. Kao rezultat toga, mišićna svojstva, odnosno maksimalna F, V i P ne mogu da se procene istovremeno, odnosno primenom samo jednog testa (Jaric, 2015). Ovakav način testiranja predstavlja fundamentalni problem u savremenoj literaturi, kako pri dizajniranju različitih istraživanja i sprovođenju procedura testiranja, tako i kod interpretacije rezultata.

Jedno od rešenja za pomenuti problem, može se pronaći u velikom broju dosadašnjih istraživanja koje su u fokusu imale mišićnu relaciju sila-brzina (F-V) kod višezglobnih pokreta (koji se javljaju pri svakodnevnim aktivnostima, kao i pri raznovrsnim sportskim aktivnostima, kao što su skokovi, vožnja bicikle, podizanje tereta, (Jaric, 2015)). Tačnije, različiti intenziteti spoljašnjeg opterećenja omogućavaju dobijanje opsega podataka F i V, na kojima se mogu primeniti različiti regresioni modeli. Primenom regresionog modela najčešće se dobija visoka i približno linearna F-V relacija ($F = F_{\max} - aV$), što je pokazano kod sledećih motoričkih zadataka: dizanje (Garcia-Ramos et al., 2016; Sanchez-Medina et al., 2014; Sreckovic et al., 2015), skokovi i potisak nogama (Cuk et al., 2014; Feeney et al., 2015; Giroux et al., 2015; Meylan et al., 2015), vožnja bicikla (Driss et al., 2002; Nikolaidis, 2012) i trčanje (Jaskolska

et al., 1999; Morin et al., 2010; Rabita et al., 2015). Ovakvi motorički zadaci reflektuju testirana mišićna svojstva, odnosno njihovu maksimalnu F i V, ali ne i svojstva individualnih mišića (McMahon, 1984; Winter et al., 2016). Primenom regresionog modela dobijaju se maksimalna F (F-isečak), maksimalna V (V-isečak), i maksimalna P [$P_{\max} = (F_{\max} \times V_{\max}/4)$]; (Driss et al., 2002; Jaric 2015; Samozino et al., 2012)]. U daljem tekstu ova metoda će se nazivati *standardnom regresionim modelom*. Od praktičnog značaja je da parametri dobijeni iz standardnog regresionog modela predstavljaju maksimalnu F, V i P testiranog mišića (odnosno, F_{\max} , V_{\max} i P_{\max}), a pokazano je da su visoko pouzdani i umereno validni sa direktno merenim varijablama dobijenim iz standardnih testova (Jaric, 2015). Na ovaj način, F-V relacija može da omogući sveobuhvatne i vredne informacije o mehaničkim svojstvima testiranih mišića, naročito kad se poredi sa standardnim procedurama testiranja koje se tipično izvode u nejednakim mehaničkim uslovima (Bobbert, 2012; Jaric 2015; Rabita et al., 2015; Samozino et al., 2012, 2014).

Nekoliko autora je već predložilo da metoda dobijanja linearne F-V relacije iz različitih opterećenja kod motoričkih zadataka može prerasti u rutinsko testiranje mehaničkih svojstva mišića (Cuk et al., 2014; Garcia-Ramos et al., 2016; Jaric, 2015; Meylan et al., 2015, Nikolaidis, 2012). Međutim, ovu metodu pored upotrebe regresionog modelovanja karakteriše i zahtevna procedura testiranja, odnosno veći broj različitih opterećenja, što može dovesti do pojave zamora. Moguće rešenje za dati problem može da se sagleda iz dva ugla. Prvi, pošto se pokazalo da je F-V relacija iz više različitih opterećenja približno linearna, broj izabranih opterećenja imaće samo neznatani uticaj na oblik posmatrane F-V relacije. Drugi, takođe, zbog linearnog oblika F-V relacije odabir opsega opterećenja imaće mali uticaj. Prema tome, moguće pojednostavljenje procedure testiranja koja se odnosi na primenu standardnog regresionog modela može da se zasniva na provlačenju linije između samo dva para podataka F i V dobijenih iz dva različita opterećenja (tzv. model dva opterećenja; Jaric, 2016). Dobijena F-V relacija iz dva opterećenja mogla bi da bude približno ista sa relacijom standardnog regresionog modela koji se zasniva na većem broju opterećenja. Kao rezultat toga F, V i P testiranih mišićnih svojstava iz modela dva opterećenja mogla bi na isti način da zameni parametre dobijene iz standardnog regresionog modela, pri čemu bi se izbegli nedostaci koji se javljaju kod rutinskih testiranja.

Kako bi se istražilo u kojoj meri relacija iz modela dva opterećenja odgovara F-V relaciji dobijenoj iz standardnog regresionog modela, sprovedena su četiri motorička testa sa

različitim opterećenjima. Pretpostavljeno je da će nivo slaganja između parametra koji predstavljaju F, V i P testiranih mišićnih svojstava (F_{\max} , V_{\max} i P_{\max}) dobijenih iz modela dva opterećenja sa parametrima dobijenim iz standardnog regresionog modela biti visok. Ukoliko bude potvrđena konkurentana validnost modela dva opterećenja, biće omogućena njegova dalja rutinska primena za određivanje mehaničkih svojstava mišića pri različitim motoričkim zadacima.

8.2. Metode

8.2.1. Ispitanici

Veličina uzorka ispitanika (Cohen, 1988) određena je za alfa nivo 0.05 i statističku snagu od 0.8 i u skladu sa dosadašnjim istraživanjima koja su izučavala efekat sličnog opsega opterećenja (Cuk et al., 2014; Sreckovic et al., 2015), procenjen jednostrukom analizom varijanse. Za detektovanje razlika među podacima F i V dobijenim kod različitih motoričkih testova i različitih opterećenja za ovu studiju bilo je potrebno 3 do 12 ispitanika. Angažovano je 12 ispitanika muškog pola (uzrasta 22.1 ± 3.4 godina; telesne visine 184.1 ± 7.1 cm; telesne mase 80.8 ± 8.2 kg; telesno maseni indeks 24.5 ± 1.5 kg/m², procenat masnog tkiva 11.2 ± 2.8 %). IPAQ upitnik (Taylor-Piliae et al., 2006), pokazao je nizak nivo aktivnosti kod 3 ispitanika, srednji kod 4, a visok nivo kod 5 ispitanika ove studije. Nijedan od ispitanika nije imao hronične bolesti, kao ni povredu koja bi mogla da utiče na nalaze ove studije. Ispitanici su bili upoznati sa protokolom istraživanja i informisani o potencijalnim rizicima koje nosi testiranje, a takođe obavešteni su da izbegavaju netipične, naporne aktivnosti tokom trajanja istraživanja. Pre početka realizacije istraživanja ispitanici su svojim potpisom dali saglasnost za učestvovanje, koja je u skladu sa Helsinškom deklaracijom i odobrena od strane Etičke komisije.

8.2.2. Motorički testovi

Maksimalni skok uvis sa počučnjem bez zamaha ruku (SKOK) ispitanici su izvodili na tenziometrijskoj platformi (AMTI; Watertown, SAD) sa prslukom i pojasom u koji je dodavano opterećenje (MiR Vestt Inc; San Hose, SAD). Iako se češće kod izvođenja maksimalnog skoka uvis koristi test pri kome je šipka sa opterećenjem (tegovi) u nivou ramena, u ovoj studiji je ipak primenjena drugačija metoda. Dobra strana ove metode je to što opterećenje postavljeno bliže centru mase tela dovodi do smanjenog opterećenja na kičmeni

stub, a pri tom ima i manji uticaja na šemu skoka. Ispitanici nisu imali nikakve instrukcije u vezi sa dubinom izvođenja skoka. Od ispitanika se zahtevalo da izvedu dva skoka sa jednim opterećenjem, pri čemu je pauza između njih bila 1 min, a 2-3 min između svakog opterećenja (Feeney et al., 2015; Leontijevic et al., 2012).

Maksimalna vožnja bicikla u trajanju 6 sekundi (BICIKL), izvedena je na Monarkovom 834E bicikl ergometru (Monark, Varberg, Švedska), kojom je procenjavana maksimalna P (Jaskolska et al., 1999). Ispitanici su dobili instrukciju da moraju da daju svoj maksimum i da tokom izvođenja testa ne smeju da ustanu sa sedišta. Visina sedišta je individualno podešavana i prilagođavana subjektivnom osećaju ispitanika, a stopala su čičak trakama bila pričvršćena za pedale (Driss et al., 2002). Ispitanici su pri svakom opterećenju testirani jednom, sa pauzom od 4 min između svakog opterećenja.

Maksimalni izbačaj tega sa grudi (IZBAČAJ) je izvođen na Smit mašini [videti (Sreckovic et al., 2015) za detalje] sa instrukcijom da “maksimalno izbace šipku”. Dva merioca su stajala pored ispitanika kako bi prihvatila šipku nakon završetka izvođenja. Iz bezbedosnih razloga su bili postavljeni mehanički graničnici koji su fiksirali šipku na 1 cm iznad grudi, ali i sprečavali mogući udar u nivou grudi. Da bi se sprečio zamor, pauza između dva pokušaja je trajala 45 s, dok je između različitih opterećenja ona bila duža, 3 min (Leontijevic et al., 2012; Pazin, 2013; Sreckovic et al., 2015).

Maksimalno vučenja tega (VUČENJE) ispitanici su izvodili iz ležećeg položaja na stomaku sa bradom postavljenom na ivici visoke klupe. Ispitanici su bili fiksirani za klupu u nivou potkolenice i predela grudi. Pri ovom testu ispitanici su maksimalno jako i brzo vukli šipku dok ne udari u donji deo klupe. Pauze su bile istog trajanja kao kod testa IZBAČAJ.

8.2.3. Spoljašnje opterećenje

Primenjivano spoljašnje opterećenje kod testa SKOK 0, 8, 16, 24 i 32 kg, uspešno su savladali svi ispitanici. Ukupno su izveli 10 skokva (5 opterećenja x 2 pokušaja). Na osnovu pilot studije, svi ispitanici su mogli da izvedu skok (imali fazu leta) sa 32 kg dodatog opterećenja. Kod testa BICIKL, ispitanici su izvodili 5 sprinteva sa opterećenjem od 2, 4, 6, 8 i 10 kg (jedan pokušaj za svako opterećenje). Individualno maksimalno opterećenje kod testa IZBAČAJ i VUČENJE je bilo između 62 i 90 kg za sve ispitanike. Iz tog razloga je primenjeno spoljašnje opterećenje od 20, 27.5, 35, 42.5, 50 i 57.5 kg. Minimalno opterećenje iznosilo je 20 kg, a činile

su ga masa šipke i segmenta ruku (Sreckovic et al., 2015), dok su za veća opterećenja dodavani tegovi. Ispitanici su izveli ukupno 12 izbačaja tega sa grudi i 12 vučenja tega (6 opterećenja x 2 pokušaja).

8.2.4. Protokol istraživanja

Istraživanje je sprovedeno u 4 sesije, sa pauzama između svake od 5 do 7 dana. Prva sesija sastojala se od antropometrijskog merenja, nakon kojeg je sprovedena familijarizacija sa 2 motorička testa. Visina tela je procenjena standardnim antropometrom, dok je za telesnu masu primenjena digitalna vaga. Za procenivanje telesnog sastava korišćena je bioelektrična impedanca (In Body 710; SAD). Familijarizacija sa preostala 2 testa sprovedena je tokom druge sesije. U trećoj i četvrtoj sesiji su sprovedena testiranja. Za svakog ispitanika je red osled testova bio randomizovan. Kako bi se izbegao zamor pri familijarizaciji i tokom testiranja, uvek je rađen 1 motorički test za ruke i 1 za noge. Takođe, raspored opterećenja kod svakog motoričkog testa je bio randomizovan. Za sve testove osim za BICIKL, prvi pokušaj je bio probni, dok je drugi korišćen za analizu. Standardno zagrevanje mišića ruku i nogu u trajanju od 10 min je sprovedeno pre svakog testa. U toku testiranja ispitanici su verbalno ohrabljivani od strane merioca.

8.2.5. Analiza podataka

Prvi korak u analizi podataka bio je izračunavanje vrednosti F i V usrednjene kroz celu koncentričnu fazu (kod SKOKA, IZBAČAJA, VUČENJA), i ceo interval testiranja (BICIKL). Posebno kreiran program u softverskom paketu LabVIEW (National Instruments 2013; SAD) korišćen je za analizu vertikalne komponente sile reakcije podloge kod testa SKOK. Frekvencija snimanja zapisa F iznosila je 1000 Hz, dok je signal bio filtriran niskopropusnim Batervortovim filterom od 10 Hz. Iz dobijene F, integracijom ubrzanja signala izračunata je V (Cuk et al., 2014). Kod testa BICIKL, korišćen je softver koji je izračunavao P i broj okretanja pedala tokom svake sekunde. V je izračunata na osnovu frekvencije i dužine poluge preko koje je vršeno okretanje pedala, dok je F dobijena kada se P podeli sa V. Za analizu podataka dobijenih kod testova IZBAČAJ i VUČENJE korišćen je program napisan u LabVIEW softverskom paketu. Kamere za 3D kinematičku analizu kretanja (Qualisys AB, Gothenburg, Svedska) sa frekvencom snimanja 240 Hz i 10 Hz niskopropusnim Batervortovim filterom upotrebljene su za snimanje vertikalnog kretanja šipke. Brzina i ubrzanje šipke

izračunato je iz prvog i drugog izvoda signala pomeraja šipke, dok je F izračunata uz pomoć težine (proizvod mase i gravitacije) i inercije (proizvod mase i ubrzanja) ukupno podignutog tereta.

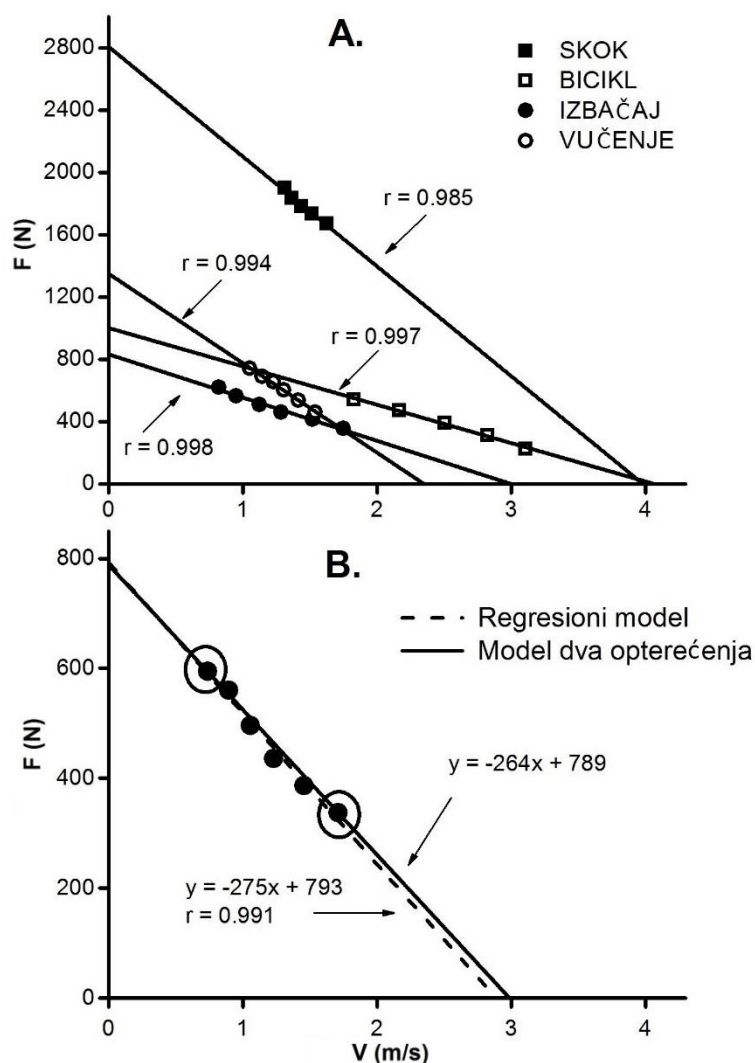
Drugi korak u obradi podataka bio je određivanje dva F-V modela (standardnog regresionog modela i modela dva opterećenja) i njihovih parametara. Standardni regresioni model izračunat je uz pomoć linearne regresije, koja obuhvata sva opterećenja. Model dva opterećenja sastojao se od najmanjeg i najvećeg opterećenja. Iz oba modela dobijeni su parametri F_{\max} (F-odsečak), V_{\max} (V-odsečak) i P_{\max} ($P_{\max} = F_{\max}V_{\max}/4$) individualno za svakog ispitanika.

8.2.6. Statistička analiza

Statistička analiza urađena je na parametrima F_{\max} , V_{\max} i P_{\max} i koeficijentima korelacije posebno za standardni regresioni model i model dva opterećenja. Deskriptivna statistika je izračunata i predstavljena kao srednja vrednost i standardna devijacija, dok su koeficijenti korelacije prikazani kao medijana i opseg. Kolmogorov- Smirnov test je pokazao da nijedna od zavisnih varijabli nije odstupala od normalne distribucije. Kako bi se utvrdila povezanost između istih parametara dva različita modela od statističkih procedura primenjena je Pirsonova korelacija. Za utvrđivanje razlika između istih parametara dva različita modela primenjen je Studentov t-test za zavisne uzorke. Za procenu nivoa slaganja dva modela, korišćena je Bland-Altmanova analiza (Bland & Altman, 1986). Za nivo značajnosti određeno je $p < 0.05$. Sve statističke procedure su urađene u programu SPSS 21 (IBM, Armonk, NY).

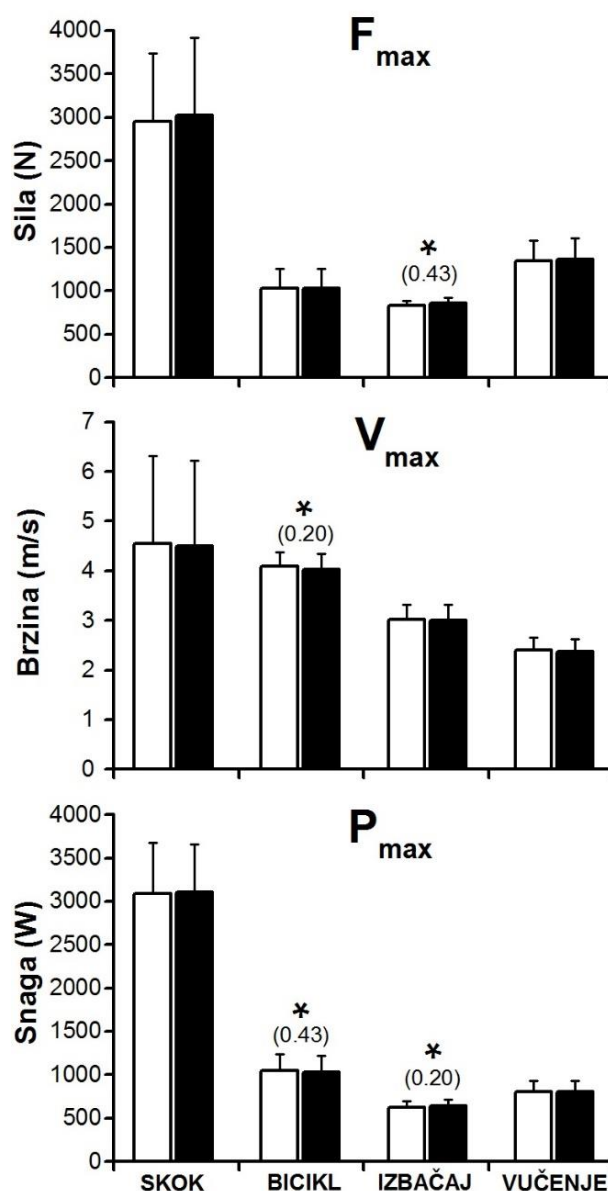
8.3. Rezultati istraživanja II

Na slici 7A prikazani su usrednjeni podaci F i V za svako dato opterećenje kod četiri motorička testa. Standardni regresioni model pokazuje da je F - V relacija visoka i približno linearna (za detaljnije informacije videti: *istraživanje I*, str. 46, *Tabela 1*). Slika 7B ukazuje na sličnost između standardnog regresionog modela i modela dva opterećenja koji su predstavljeni na podacima reprezentativnog ispitanika. Iako model dva opterećenja čine samo najmanje i najveće opterećenje, puna linija koja prolazi kroz njih (model dva opterećenja) se gotovo preklapa sa isprekidanom linijom, koja opisuje standardni regresioni model. Kao rezultat toga proizilazi da će vrednosti parametra ova dva modela biti slični.



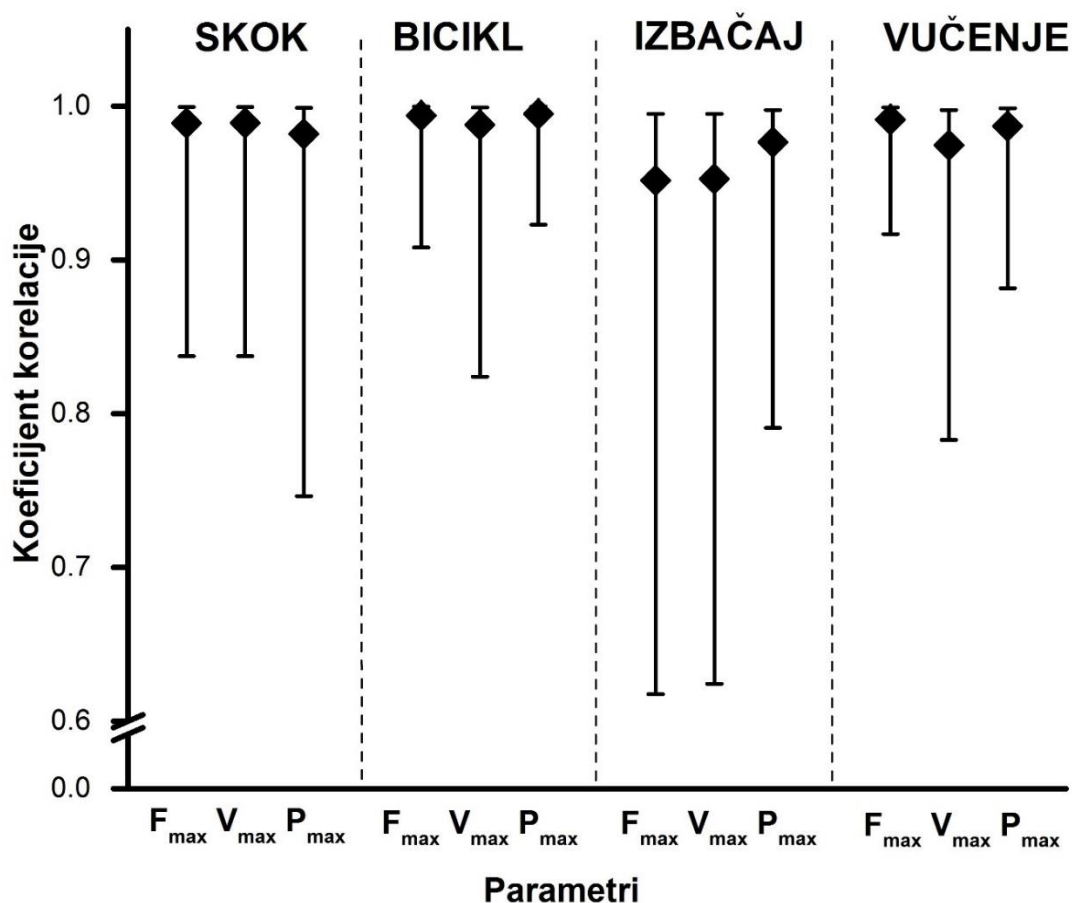
Slika 7. (A.) Linearna regresija primenjena na usrednjenim vrednostima ispitanika prikazana za četiri motorička testa. Strelicama su prikazani koeficijenti korelacije. (B.) Poređenje standardnog regresionog modela (isprekidana linija) sa modelom dva opterećenja (puna linija, zaokruženo najmanje i najveće opterećenje). Prikazani grafik je urađen na reprezentativnim podacima jednog ispitanika za test IZBAČAJ.

Slika 8 prikazuje razlike između istih parametara dva različita modela kod četiri motorička testa. Posmatrajući Sliku 8 može se uočiti sličnost između parametara kod sva četiri motorička testa, pa se može konstatovati da je nivo slaganja između dva modela visok. Standardni regresioni model prikazan je belim stubićem, dok je model dva opterećenja obeležen crnom bojom. Iako su 4 od 12 poređenja pokazala značajnu razliku između istih parametara ($p < 0.05$; t-test za zavisne uzorke), može se primetiti da su razlike bile izuzetno male (veličina efekta 0.20 - 0.43).



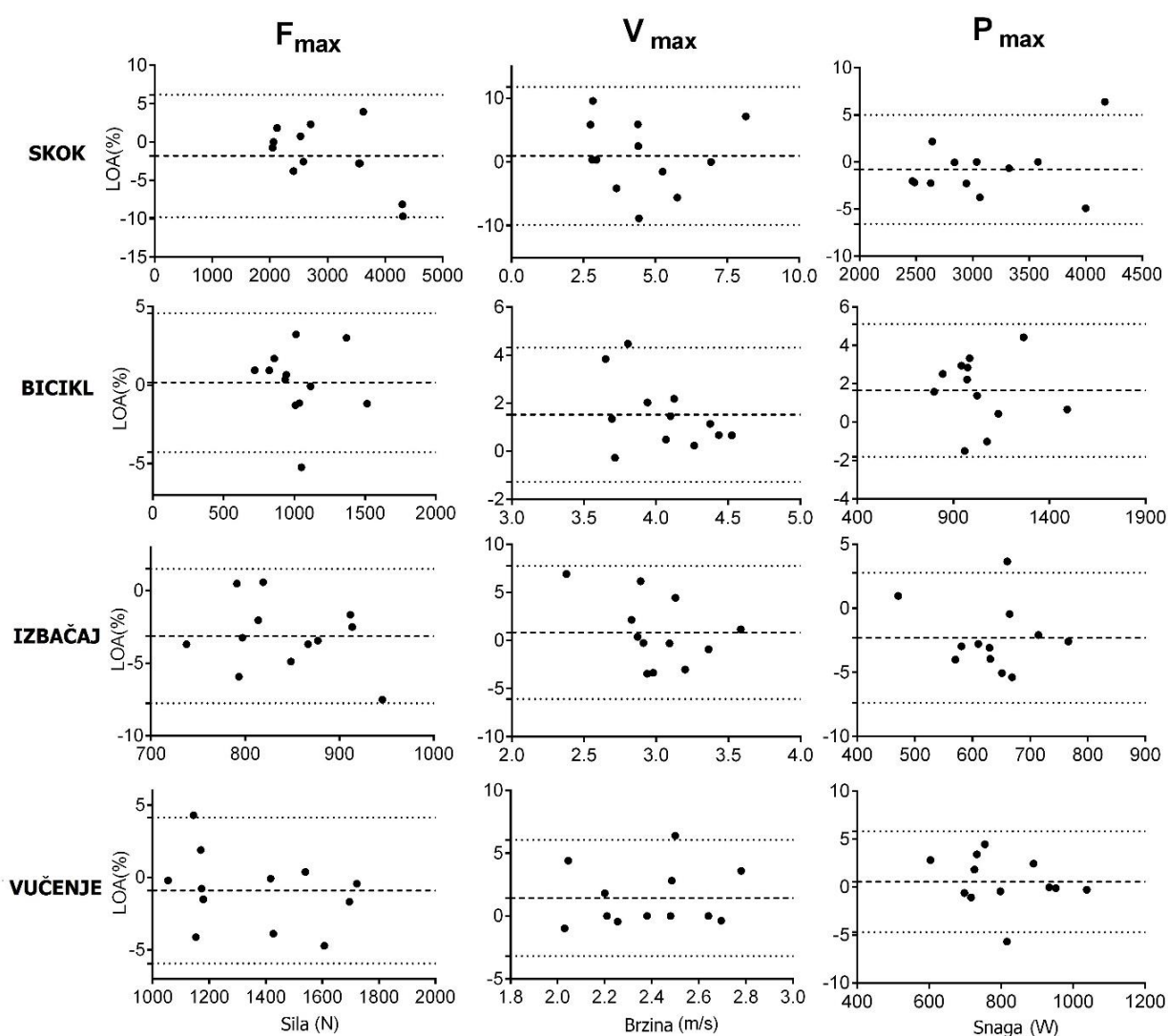
Slika 8. Prikaz parametra F_{max} (gornji panel), V_{max} (srednji panel), i P_{max} (donji panel) na usrednjenim podacima dobijenim iz standardnog regresionog modela (beli stubići) i modela dva opterećenja (crni stubići) kod četiri motorička testa (srednja vrednost i standardna devijacija). Značajne razlike ($*p < 0.05$) između dva modela prikazane su zvezdicom, a ispod nje u zagradi se nalazi odgovarajuća veličina efekta.

Na Slici 9 prikazane su korelacije između istih parametara dva modela. Svi koeficijenti korelacije su visoki, $r > 0.952$; $p < 0.01$. Iako su za test IZBAČAJ koeficijenti nešto niži nego kod ostala tri testa, nijedan od 12 koeficijenata korelacije nije bio ispod 95 % intervala pouzdanosti drugog.



Slika 9. Koeficijenti korelacije između istih parametara dobijenih iz standardnog regresionog modela i modela dva opterećenja (odgovaraju 95 % intervalu pouzdanosti (CI).

Korelacije su statistička tehnika koja pokazuje koliko su varijable povezane, dok je Pirsonova korelacija samo jedna od tehnika kojom se to prikazuje. Uglavnom se zajedno sa korelacijama radi i linearna regresija, odnosno ona se primenjuje kada korelacije postoje. Dva modela koja su kreirana da mere iste varijable treba da imaju visoku korelaciju. Međutim, visoke korelacije ne znače automatski da postoji slaganje između dva modela. Korelacioni koeficijenti i regresione analize nisu dovoljne za procenu sličnosti dva modela, jer oni procenjuju samo linearnu vezu dva seta podataka (Giavarina, 2015). Koeficijent r određuje povezanost između dve varijable, a ne i njihov nivo slaganja. Slično, R^2 ili koeficijent determinacije, prikazuje zajedničku proporcionalnu varijansu dveju varijabli. Iz tih razloga,



Slika 10. Bland Altman analiza koja prikazuje nivo slaganja tri parametra (F_{max} , V_{max} i P_{max}) dobijenih iz standardnog regresionog modela i modela dva opterećenja prikazanih kod četiri motorička testa. Isprekidane linije prikazuju fiksno odstupanje, dok tačkaste linije predstavljaju 95 % nivo slaganja.

iako su rezultati ovog istraživanja zadovoljili prva dva kriterijuma (visoko r i R^2), urađena je i Bland Altmanova analiza, koja se zasniva na prosečnoj razlici i nivou slaganja.

Slika 11 prikazuje Bland Altmanovu analizu za standardni regresioni model i model dva opterećenja. Za sve parametre fiksno odsutpanje je iznosilo ispod 3.4 %, dok je proporcionalno odstupanje bilo $R < 0.60$ (svi $p < 0.05$). Takođe, prosečni 95 % nivo slaganja je bio 5.6 %, u opsegu od 2.9 % (V_{\max} kod testa BICIKL) do 10.7 % (V_{\max} kod testa SKOK).

8.4. Diskusija

U istraživanju II, upoređena su dva modela, standardni regresioni model kod kog se F-V relacija dobija na osnovu više opterećenja i model dva opterećenja, gde se parametri izračunavaju na osnovu najvećeg i najmanjeg opterećenja. Apsolutne vrednosti, korelacije i procentualno prosečno odstupanje (bias) pokazuju da parametri dva različita modela imaju visoki nivo slaganja. Rezultati idu u prilog osnovanosti hipoteze 4 po kojoj se očekuje da standardni regresioni model i model dva opterećenja imaju visoki stepen slaganja parametara.

Ranija istraživanja su utvrdila da se iz standardnog regresionog modela dobijaju linearne, visoke F-V relacije, a da su njeni parametri F_{\max} , V_{\max} i P_{\max} pouzdani i validni indikatori mišićne F, V i P (Jaric, 2015). Dobijeni rezultati u ovom istraživanju pokazuju da model dva opterećenja, koji ne zahteva regresiono modelovanje, ni više od dva različita opterećenja, daje skoro identične vrednosti F-V parametara. Ovo se može smatrati visokom konkurentnom validnošću modela dva opterećenja sa regresionim modelom. Smatra se da nivo slaganja između rezultata, odnosno parametara dobijenih iz dva različita modela potiče od visokih i linearnih F-V relacija mišića dobijenih kod višezglobnih pokreta (Jaric, 2015, 2016)

Različita motorička kretanja, kao što su maksimalno izvođenje skoka, trčanje, bacanja, vožnja bicikla rutinski se koriste za procenu mehaničkih svojstava mišića, detektovanje razlika između različitih populacija i za ispitivanje različitih efekata rehabilitacija i treninga. Kao što je već bilo reči, često se ovakva testiranja izvode u jednakim mehaničkim uslovima pri istom spoljašnjem opterećenju. Ako pogledamo Sliku 7B, biće očito da je glavni problem u testiranju sa jednim opterećenjem taj što je nemoguće odrediti F-V relaciju, a samim tim ni parametre, odnosno F, V, P mišićnih svojstava. Tačnije, pozicija gde je maksimalna F (odnosno, $V = 0$), maksimalna V (odnosno, $F = 0$) i P (središnji deo linije) testiranog mišića ne može biti procenjena. Ovakav način testiranja daje rezultate na osnovu kojih se može samo spekulirati, i

na osnovu kojih se stvara nepreciznost i nejasnoća u literaturi jer se ne može precizirati da li se dobija F, V, ili P testiranog mišića.

8.5. Zaključak istraživanja II

Na osnovu dobijenih rezultata u istraživanju II, može se konstatovati da je potvrđena konkurentna validnost između standardnog regresionog modela i modela dva opterećenja kod sva četiri motorička testa. Dodavanjem samo jednog opterećenja standardnim procedurama testiranja kod višezglobnih pokreta (maksimalnih skokova, trčanja, vožnja bicikle, bacanja) mogu se proceniti F, V i P testiranih mišićnih grupa. Primenom modela dva opterećenja mogu se izbeći nedostaci i unaprediti standardne procedure testiranja. Pored standardnog regresionog modela koji se često primenjuje u literaturi, model dva opterećenja ima prednost jednostavnije procedure testiranja, brže realizacije, a time se i izbegava pojava zamora.

9. Generalni zaključak

Dobijeni nalazi u istraživanju I i II potvrdili su sve četiri postavljene hipoteze.

Utvrđeno je da je relacija između F i V visoko linearna kod motoričkih testova SKOK, BICIKL, IZBAČAJ i VUČENJE. Približno linearna F-V relacija potvrđena je kod višezglobnih pokreta na istoj grupi ispitanika kod različitih mišićnih grupa. Takav odnos između F i V pokazan je kod motoričkih testova koji se primenjuju u rutinskim testiranjima i koji se zasnivaju na maksimalnom izvođenju pokreta. Mišićna F-V relacija je određena standardnim regresionim modelom koji se zasniva na primeni više opterećenja.

Dobijena približno linearna F-V relacija kod sva četiri motorička testa bila je nezavisna od tipa varijable. Nalazi su pokazali veće vrednosti parametara dobijenih iz maksimalnih vrednosti F i V. Generalno, i srednje i maksimalne vrednosti F i V se mogu koristiti za određivanje linearne F-V relacije, ali treba očekivati razlike u dobijenim parametrima.

Iz standardnog regresionog modela dobijeni su parametri F_{\max} , V_{\max} i P_{\max} koji predstavljaju mehanička svojstva testiranih mišića. Nalazi ovog istraživanja pokazali su da između istih parametara F_{\max} , V_{\max} i P_{\max} različitih mišićnih grupa postoji umerena povezanost. Ovakvi rezultati sugerišu da je mogućnost generalizacije vrednosti parametara dobijenih iz regresionog modela jednog testa umerena u odnosu na rezultate drugih testova. U praksi, to znači da samo jedan test, odnosno, kroz njega testirani mišići, ne daju dovoljno validne rezultate za opis mehaničkih svojstava celog neuromišićnog sistema.

Standardni regresioni model se često primenjuje u literaturi za određivanje F-V relacije, i njenih parametara. Da bi se F-V relacija primenjivala u rutinskom testiranju, potrebno je unaprediti njen protokol testiranja. Pre svega, treba skratiti vreme testiranja i tako izbeći moguću pojavu zamora koju može prouzrokovati veći broj različitih opterećenja. U skladu sa tim, ovo istraživanje je evaluiralo novi F-V model, tzv. Model dva opterećenja. Četvrta hipoteza istraživanja je takođe potvrđena, odnosno pokazalo se da su standardni regresioni model i model dva opterećenja imali slične vrednosti parametara. Tačnije, nivo slaganja vrednosti parametara dva modela kod sva četiri motorička testa i različitih mišićnih grupa bio je visok.

10. Potencijalni značaj istraživanja

U skladu sa ciljevima istraživanja I i II je i značaj ove studije.

Dobijena približno linearna F-V relacija kod višezglobnih pokreta pri različitim motoričkim testovima govori u korist primene ove relacije u budućim istraživanjima, ali i u rutinskom testiranju. Primena ovog modela mišićne F-V relacije u svakodnevnom testiranju mogla bi da bude od velikog značaja jer se na osnovu nje mogu proceniti istovremeno mišićni kapaciteti, odnosno najvažnija mehanička svojstva testirane mišićne grupe – F, V i P. Ovom metodom omogućuje se prevazilaženje nedostataka koji karakterišu standardne testove za procenu F, V i P. Dobijeni nalazi u ovoj studiji su od značaja za različite oblasti, pre svega za sport, fizičko vaspitanje, ergometriju, a takođe i kliničke oblasti, kao što su fizikalna medicina, rehabilitacija, fizikalna terapija.

Ovo istraživanje pokazalo je da se parametri dobijeni iz linearne F-V relacije mogu delimično generalizovati u odnosu na različite testove i mišiće. Dobijeni nalazi ovog istraživanja potvrdili su da se na osnovu parametara F_{max} , V_{max} i P_{max} kod jednog testa može u određenoj meri zaključiti i proceniti maksimalna F, V ili P kod nekog drugog testa.

Značaj nalaza ovog istraživanja je i metodološkog karaktera, a ogleda se u postavljanju budućih standarda testiranja. Iako je utvrđeno da se iz srednjih i maksimalnih vrednosti F i V može odrediti linearna F-V relacija, preporučuje se da se za buduća istraživanja koriste maksimalne vrednosti.

Značaj evaluacije novog uprošćenog F-V modela, tzv. modela dva opterećenja, ogleda se u njegovoj primenljivosti u praksi. Primenom ovog modela izbeći će se zamor ispitanika, skraćuje se vreme trajanja testiranja, a dobiće se informacija o osnovnim mehaničkim svojstvima mišića. Značaj modela dva opterećenja potiče i od prethodnih nalaza: malog stepena generalizacije rezultata jednog testa na druge motoričke testove. To direktno znači da u rutinskim testiranjima treba koristiti veći broj testova za "celovitu sliku" o neuromišićnom sistemu, pa je onda potreba za skraćivanjem njihove procedure još veća. Sve nabrojane karakteristike olakšavaju testiranje i nadomestiti nedostatke postojećih standardnih procedura testiranja. Međutim, da bi se model dva opterećenja svakodnevno primenjivao u praksi, potrebno je da buduća istraživanja standardizuju procedure testiranja, odnosno opseg

spoljašnjeg opterećenja, tip opterećenja (Djuric et al., 2016; Leontijevic et al., 2012) i da istraže pouzdanost, validnost i osetljivost parametara ovog modela.

11. Literatura

- Abernethy, P., Wilson, G., & Logan, P. (1995). Strength and power assessment. *Sports Medicine*, 19(6), 401-417.
- Allison, S. J., Brooke-Wavell, K., & Folland, J. P. (2013). Multiple joint muscle function with ageing: the force-velocity and power-velocity relationships in young and older men. *Aging Clinical and Experimental Research*, 25(2), 159-166.
- Ameredes, B., Brechue, W., Andrew, G., & Stainsby, W. (1992). Force-velocity shifts with repetitive isometric and isotonic contractions of canine gastrocnemius in situ. *Journal of Applied Physiology*, 73(5), 2105-2111.
- Atha, J. (1981). Strengthening muscle. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 9(1), 1-74.
- Baechle, T. R., & Earle, R. W. (2008). *Essentials of Strength Training and Conditioning*. Champaign: Human kinetics.
- Bland, J. M., & Altman, D. (1986). Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *The Lancet*, 327(8476), 307-310.
- Bobbert, M. F. (2012). Why is the force-velocity relationship in leg press tasks quasi-linear rather than hyperbolic? *Journal of Applied Physiology*, 112(12), 1975-1983.
- Bohannon, R. W. (2008). Hand-grip dynamometry predicts future outcomes in aging adults. *Journal of Geriatric Physical Therapy*, 31(1), 3-10.
- Bompa, T. (1999). *Periodization: Theory and Methodology of Training*. Champaign Human Kinetics.
- Bottinelli, R., Canepari, M., Pellegrino, M., & Reggiani, C. (1996). Force-velocity properties of human skeletal muscle fibres: myosin heavy chain isoform and temperature dependence. *The Journal of Physiology*, 495(2), 573-586.
- Bottinelli, R., & Reggiani, C. (1995). Force-velocity properties and myosin light chain isoform composition of an identified type of skinned fibres from rat skeletal muscle. *Pflügers Archiv*, 429(4), 592-594.
- Bozic, P. R., Celik, O., Uygur, M., Knight, C. A., & Jaric, S. (2013). Evaluation of novel tests of neuromuscular function based on brief muscle actions. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(6), 1568-1578.
- Brace, D. K. (1927). *Measuring motor ability: A scale of motor ability tests*: AS Barnes.
- Cavagna, G. A., Dusman, B., & Margaria, R. (1968). Positive work done by a previously stretched muscle. *Journal of Applied Physiology*, 24(1), 21-32.

- Chelly, M. S., Hermassi, S., & Shephard, R. J. (2010). Relationships between power and strength of the upper and lower limb muscles and throwing velocity in male handball players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(6), 1480-1487.
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. 2nd edn. New Jersey: Erlbaum.
- Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2011). Developing maximal neuromuscular power. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(1), 17-38.
- Cronin, J. B., McNair, P. J., & Marshall, R. N. (2003). Force-velocity analysis of strength-training techniques and load: implications for training strategy and research. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 17(1), 148-155.
- Cuk, I., Markovic, M., Nedeljkovic, A., Ugarkovic, D., Kukolj, M., & Jaric, S. (2014). Force-velocity relationship of leg extensors obtained from loaded and unloaded vertical jumps. *European Journal of Applied Physiology*, 114(8), 1703-1714.
- Cuk, I., Mirkov, D., Nedeljkovic, A., Kukolj, M., Ugarkovic, D., & Jaric, S. (2016). Force-velocity property of leg muscles in individuals of different level of physical fitness. *Sports Biomechanics*, 15(2), 207-219.
- Currell, K., & Jeukendrup, A. E. (2008). Validity, reliability and sensitivity of measures of sporting performance. *Sports Medicine*, 38(4), 297-316.
- Curtin, N., & Edman, K. (1994). Force-velocity relation for frog muscle fibres: effects of moderate fatigue and of intracellular acidification. *The Journal of Physiology*, 475(3), 483-494.
- Davies, C. (1971). Human power output in exercise of short duration in relation to body size and composition. *Ergonomics*, 14(2), 245-256.
- Dern, R., Levene, J. M., & Blair, H. (1947). Forces exerted at different velocities in human arm movements. *American Journal of Physiology*, 151(2), 415-437.
- Dickinson, S. (1928). The dynamics of bicycle pedalling. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Containing Papers of a Biological Character*, 103(724), 225-233.
- Djuric, S., Cuk, I., Sreckovic, S., Mirkov, D., Nedeljkovic, A., & Jaric, S. (2016). Selective effects of training against weight and inertia on muscle mechanical properties. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(7), 927-932.
- Driss, T., & Vandewalle, H. (2013). The measurement of maximal (anaerobic) power output on a cycle ergometer: a critical review. *BioMed Research International*, 2013.

- Driss, T., Vandewalle, H., Chevalier, J. M. L., & Monod, H. (2002). Force-velocity relationship on a cycle ergometer and knee-extensor strength indices. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 27(3), 250-262.
- Edgerton, V., Roy, R., Gregor, R., & Rugg, S. (1986). Morphological basis of skeletal muscle power output. *Human Muscle Power*, 43-64.
- Edman, K. (1987). Double-hyperbolic nature of the force-velocity relation in frog skeletal muscle. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 226, 643-652.
- Edwards, W. (2010). *Motor learning and control: from theory to practice*: Cengage Learning.
- Enoka, R. M. (1988). Muscle strength and its development. *Sports Medicine*, 6(3), 146-168.
- Feeney, D., Stanhope, S., Kaminski, T., Machi, A., & Jaric, S. (2015). Loaded Vertical Jumping: Force-Velocity Relationship, Work, and Power. *Journal of Applied Biomechanics*, 32(2), 120-127.
- Fenn, W., & Marsh, B. (1935). Muscular force at different speeds of shortening. *The Journal of Physiology*, 85(3), 277-297.
- Fitts, R. H., & Widrick, J. J. (1995). Muscle mechanics: adaptations with exercise-training. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 24, 427-473.
- Fleishman, E. A. (1964). *The structure and measurement of physical fitness*. Oxford, England: Prentice-Hall.
- Froese, E. A., & Houston, M. E. (1985). Torque-velocity characteristics and muscle fiber type in human vastus lateralis. *Journal of Applied Physiology*, 59(2), 309-314.
- Frontera, W. R., & Ochala, J. (2015). Skeletal muscle: a brief review of structure and function. *Calcified Tissue International*, 96(3), 183-195.
- Gans, C. (1982). Fiber architecture and muscle function. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 10(1), 160-207.
- Garcia-Ramos, A., Jaric, S., Padial, P., & Feriche, B. (2016). Force-velocity relationship of upper body muscles: traditional versus ballistic bench press. *Journal of Applied Biomechanics*, 32(2), 178-185.
- Gasser, H., & Hill, A. (1924). The dynamics of muscular contraction. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, containing papers of a biological character*, 96(678), 398-437.
- Giavarina, D. (2015). Understanding bland altman analysis. *Biochemia Medica*, 25(2), 141-151.

- Giroux, C., Rabita, G., Chollet, D., & Guilhem, G. (2015). What is the best method for assessing lower limb force-velocity relationship? *International Journal of Sports Medicine*, 36(2), 143-149.
- Gregor, R. J., Edgerton, V. R., Perrine, J. J., Champion, D. S., & DeBus, C. (1979). Torque-velocity relationships and muscle fiber composition in elite female athletes. *Journal of Applied Physiology*, 47(2), 388-392.
- Hahn, D., Herzog, W., & Schwirtz, A. (2014). Interdependence of torque, joint angle, angular velocity and muscle action during human multi-joint leg extension. *European Journal of Applied Physiology*, 114(8), 1691-1702.
- Haibach, P., Reid, G., & Collier, D. (2011). *Motor learning and development: Human Kinetics*.
- Hardyk, A. T. T. (2000). *Force-and Power-Velocity Relationships in a Multi-Joint Movement*. The Pennsylvania State University.
- Hawkins, D., & Smeulders, M. (1999). An investigation of the relationship between hip extension torque, hip extension velocity, and muscle activation. *Journal of Applied Biomechanics*, 15(3), 253-269.
- Henry, F. M. (1958). Specificity vs. generality in learning motor skill. *College of the Physical Education Association*, 61, 126-128.
- Hill, A. (1922). The maximum work and mechanical efficiency of human muscles, and their most economical speed. *The Journal of Physiology*, 56(1-2), 19.
- Hill, A. (1938). The heat of shortening and the dynamic constants of muscle. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 126(843), 136-195.
- Hintzy, F., Tordi, N., Predine, E., Rouillon, J.D., & Belli, A. (2003). Force-velocity characteristics of upper limb extension during maximal wheelchair sprinting performed by healthy able-bodied females. *Journal of Sports Science*, 21(11), 921-926.
- Hong, Y., & Bartlett, R. (2008). *Routledge handbook of biomechanics and human movement science*: Routledge.
- Jaric, S. (2015). Force-velocity Relationship of Muscles Performing Multi-joint Maximum Performance Tasks. *International Journal of Sports Medicine*, 36(9), 699-704.
- Jaric, S. (2016). Two-load method for distinguishing between muscle force, velocity, and power-producing capacities. *Sports Medicine*, 46(11), 1585-1589.

- Jaric, S., & Kukolj, M. (1996). Sila (jacina) i snaga u pokretima coveka. *Fizicka kultura*, 1(2), 15-28.
- Jaskolska, A., Goossens, P., Veenstra, B., Jaskolski, A., & Skinner, J. (1999). Comparison of treadmill and cycle ergometer measurements of force-velocity relationships and power output. *International Journal of Sports Medicine*, 20(3), 192-197.
- Jimenez-Reyes, P., Samozino, P., Cuadrado-Penafiel, V., Conceicao, F., Gonzalez-Badillo, J. J., & Morin, J.-B. (2014). Effect of countermovement on power–force–velocity profile. *European Journal of Applied Physiology*, 114(11), 2281-2288.
- Johansson, C., Lorentzon, R., Sjöström, M., Fagerlund, M., & Fugl-Meyer, A. (1987). Sprinters and marathon runners. Does is kinetic knee extensor performance reflect muscle size and structure? *Acta Physiologica Scandinavica*, 130(4), 663-669.
- Jorgensen, K. (1976). Force-velocity relationship in human elbow flexors and extensors. *Biomechanics*, 145-151.
- Katz, B. (1939). The relation between force and speed in muscular contraction. *The Journal of Physiology*, 96(1), 45.
- Knuttgen, H. G., & Kraemer, W. J. (1987). Terminology and measurement in exercise performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 1(1), 1-10.
- Komi, P. (1973). Measurement of the force-velocity relationship in human muscle under concentric and eccentric contractions. *Biomechanics III*, 8, 224-229.
- Kukolj, M. (2006). *Antropomotorika*. Beograd: Fakultet sporta i fizickog vaspitanja.
- Kurelić, N. (1967). *Osnovi sportskog treninga*. Beograd: Sportska knjiga.
- Latash, M. L., Scholz, J. P., & Schoner, G. (2007). Toward a new theory of motor synergies. *Motor Control*, 11(3), 276-308.
- Leontijevic, B., Pazin, N., Bozic, P. R., Kukolj, M., Ugarkovic, D., & Jaric, S. (2012). Effects of loading on maximum vertical jumps: Selective effects of weight and inertia. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 22(2), 286-293.
- Levin, A., & Wyman, J. (1927). The viscous elastic properties of muscle. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Containing Papers of a Biological Character*, 101(709), 218-243.
- Levinger, I., Goodman, C., Hare, D. L., Jerums, G., Toia, D., & Selig, S. (2009). The reliability of the 1RM strength test for untrained middle-aged individuals. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12(2), 310-316.

- Limonta, E., & Sacchi, M. (2010). Morphological analysis of force/velocity relationship in dynamic exercise at varying loads. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(8), 2065-2072.
- Lou, F., & Sun, Y. B. (1993). The high-force region of the force-velocity relation in frog skinned muscle fibres. *Acta Physiologica Scandinavica*, 148(3), 243-252.
- Mackenzie, B. (2005). *Performance evaluation tests*. London: Electric World plc.
- Mandic, R., Jakovljevic, S., & Jaric, S. (2015). Effects of countermovement depth on kinematic and kinetic patterns of maximum vertical jumps. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 25(2), 265-272.
- Marechal, G., & Beckers-Bleukx, G. (1993). Force-velocity relation and isomyosins in soleus muscles from two strains of mice (C57 and NMRI). *Pflügers Archiv*, 424(5-6), 478-487.
- Markovic, S., Mirkov, D., Knezevic, O., & Jaric, S. (2013). Jump training with different loads: effects on jumping performance and power output. *European Journal of Applied Physiology*, 113(10), 2511-2521.
- Markovic, S., Mirkov, D., Nedeljkovic, A., & Jaric, S. (2014). Body size and countermovement depth confound relationship between muscle power output and jumping performance. *Human Movement Science*, 33, 203-210.
- Marshall, R., Mazur, S., & Taylor, N. (1990). Three-dimensional surfaces for human muscle kinetics. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 61(3-4), 263-270.
- Martin, A., Martin, L., & Morion, B. (1995). Changes induced by eccentric training on force-velocity relationships of the elbow flexor muscles. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 72(1-2), 183-185.
- Mastropaolo, J. (1992). A test of the maximum-power stimulus theory for strength. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 65(5), 415-420.
- Maud, P. J., & Foster, C. (2006). *Physiological assessment of human fitness: Human Kinetics*.
- Mayr, H. O., & Zaffagnini, S. (2015). *Prevention of Injuries and Overuse in Sports: Directory for Physicians, Physiotherapists, Sport Scientists and Coaches*: Springer.
- McMahon, T. A. (1984). *Muscles, reflexes, and locomotion*: Princeton University Press.
- Mendez-Villanueva, A., Bishop, D., & Hamer, P. (2007). Reproducibility of a 6-s maximal cycling sprint test. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 10(5), 323-326.

- Meylan, C. M., Cronin, J. B., Oliver, J. L., Hughes, M. M., Jidovtseff, B., & Pinder, S. (2015). The reliability of isoinertial force–velocity–power profiling and maximal strength assessment in youth. *Sports Biomechanics*, 14(1), 68-80.
- Mirkov, D., & Nedeljkovic, A. (2003). Osetljivost i pouzdanost procene mišićne jačine i brzine razvoja sile pri testiranju efekata treninga jačine. *Fizicka kultura*, 56(1-4), 34-42.
- Mirkov, D., Nedeljkovic, A., Milanovic, S., & Jaric, S. (2004). Muscle strength testing: evaluation of tests of explosive force production. *European Journal of Applied Physiology*, 91(2-3), 147-154.
- Morin, J., Samozino, P., Bonnefoy, R., Edouard, P., & Belli, A. (2010). Direct measurement of power during one single sprint on treadmill. *Journal of Biomechanics*, 43(10), 1970-1975.
- Nedeljković, A. (2016). *Relacija sila-brzina u visezglobnim pokretima: Nova metoda u testiranju sile, snage i brzine*. Beograd: Fakultet sporta i fizickog vaspitanja.
- Nikolaidis, P. (2012). Age-and sex-related differences in force-velocity characteristics of upper and lower limbs of competitive adolescent swimmers. *Journal of Human Kinetics*, 32, 87-95.
- Offenbacher, E. L. (1970). Physics and the vertical jump. *American Journal of Physics*, 38(7), 829-836.
- Opavsky, P. (1983). *Kvantitativni odnosi izmedju vrsta misicnih naprezanja i elementarnih biomehanickih dimenzija*. Zagreb: Kineziologija.
- Pazin, N. (2013). *Ispoljavanje i procena maksimalne snage misica u odnosu na karakteristike spoljasnjeg opterecenja i treniranost*. Univerzitet u Beogradu, Beograd.
- Pazin, N., Bozic, P., Bobana, B., Nedeljkovic, A., & Jaric, S. (2011). Optimum loading for maximizing muscle power output: the effect of training history. *European Journal of Applied Physiology*, 111(9), 2123-2130.
- Pereira, M. I. R., & Gomes, P. S. C. (2003). Muscular strength and endurance tests: reliability and prediction of one repetition maximum-Review and new evidences. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 9(5), 325-335.
- Pojednic, R. M., Clark, D. J., Patten, C., Reid, K., Phillips, E. M., & Fielding, R. A. (2012). The specific contributions of force and velocity to muscle power in older adults. *Experimental Gerontology*, 47(8), 608-613.

- Prebeg, G., Cuk, I., Suzovic, D., Stojiljkovic, S., Mitic, D., & Jaric, S. (2013). Relationships among the muscle strength properties as assessed through various tests and variables. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 23(2), 455-461.
- Rabita, G., Dorel, S., Slawinski, J., Sàez-de-Villarreal, E., Couturier, A., Samozino, P., & Morin, J. B. (2015). Sprint mechanics in world-class athletes: a new insight into the limits of human locomotion. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*.
- Rahmani, A., Locatelli, E., & Lacour, J.R. (2004). Differences in morphology and force/velocity relationship between Senegalese and Italian sprinters. *European Journal of Applied Physiology*, 91(4), 399-405.
- Rahmani, A., Viale, F., Dalleau, G., & Lacour, J.R. (2001). Force/velocity and power/velocity relationships in squat exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 84(3), 227-232.
- Ravier, G., Grappe, F., & Rouillon, J. (2004). Application of force-velocity cycle ergometer test and vertical jump tests in the functional assessment of karate competitor. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 44(4), 349-355.
- Reiman, M. P., & Manske, R. C. (2009). *Functional testing in human performance: Human kinetics*.
- Ribeiro, A. S., do Nascimento, M. A., Mayhew, J. L., Ritti-Dias, R. M., Avelar, A., Okano, A. H., & Cyrino, E. S. (2014). Reliability of 1RM test in detrained men with previous resistance training experience. *Isokinetics and Exercise Science*, 22(2), 137-143.
- Samozino, P., Edouard, P., Sangnier, S., Brughelli, M., Gimenez, P., & Morin, J. (2014). Force-Velocity Profile: Imbalance determination and Effect on Lower Limb Ballistic Performance. *International Journal of Sports Medicine*, 35(6), 505-510.
- Samozino, P., Rejc, E., Di Prampero, P. E., Belli, A., & Morin, J.B. (2012). Optimal Force–Velocity Profile in Ballistic Movements—Altius: Citius or Fortius? *Medicine & Science in Sports Exercise*, 44(2), 313-322.
- Samozino, P., Rejc, E., di Prampero, P. E., Belli, A., & Morin, J.B. (2014). Force–velocity properties' contribution to bilateral deficit during ballistic push-off. *Medicine & Science in Sports Exercise*, 46(1), 107-114.
- Sanchez-Medina, L., Gonzalez-Badillo, J., Perez, C., & Pallares, J. (2014). Velocity-and power-load relationships of the bench pull vs. Bench press exercises. *International Journal of Sports Medicine*, 35(3), 209-216.

- Schwellnus, M., & Commission, I. M. (2009). The Olympic textbook of medicine in sport. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, 34(2), 219-221.
- Seger, J., & Thorstensson, A. (2000). Electrically evoked eccentric and concentric torque-velocity relationships in human knee extensor muscles. *Acta Physiologica Scandinavica*, 169(1), 63-69.
- Seo, D., Kim, E., Fahs, C. A., Rossow, L., Young, K., Ferguson, S. L., . . . Kim, D. (2012). Reliability of the one-repetition maximum test based on muscle group and gender. *Journal of Sports Science and Medicine*, 11(2), 221-225.
- Sheppard, J. M., Cormack, S., Taylor, K.-L., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2008). Assessing the force-velocity characteristics of the leg extensors in well-trained athletes: the incremental load power profile. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(4), 1320-1326.
- Siff, M. C. (1993). Biomechanics: Understanding the Mechanics of Muscle Contraction. *Strength & Conditioning Journal*, 15(5), 30-33.
- Sobol, C., & Nasledov, G. (1994). Thermal dependence of force-velocity relation of lamprey live striated muscle fibres. *General Physiology and Biophysics*, 13, 215-224.
- Sprague, R. C., Martin, J. C., Davidson, C. J., & Farrar, R. P. (2007). Force-velocity and power-velocity relationships during maximal short-term rowing ergometry. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(2), 358-364.
- Sreckovic, S., Cuk, I., Djuric, S., Nedeljkovic, A., Mirkov, D., & Jaric, S. (2015). Evaluation of force-velocity and power-velocity relationship of arm muscles. *European Journal of Applied Physiology*, 115(8), 1779-1787.
- Taylor-Piliae, R. E., Norton, L. C., Haskell, W. L., Mahbouda, M. H., Fair, J. M., Iribarren, C., . . . Fortmann, S. P. (2006). Validation of a new brief physical activity survey among men and women aged 60-69 years. *American Journal of Epidemiology*, 164(6), 598-606.
- Thorstensson, A., Grimby, G., & Karlsson, J. (1976). Force-velocity relations and fiber composition in human knee extensor muscles. *Journal of Applied Physiology*, 40(1), 12-16.
- Van Den Tillaar, R., & Ettema, G. (2004). A force-velocity relationship and coordination patterns in overarm throwing. *Journal of Sports Science & Medicine*, 3(4), 211-219.

- Vandewalle, H., Peres, G., Heller, J., Panel, J., & Monod, H. (1987). Force-velocity relationship and maximal power on a cycle ergometer. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 56(6), 650-656.
- Vandewalle, H., Peres, G., Sourabie, B., Stouvenel, O., & Monod, H. (1989). Force-velocity relationship and maximal anaerobic power during cranking exercise in young swimmers. *International Journal of Sports Medicine*, 10(6), 439-445.
- Wilkie, D. (1949). The relation between force and velocity in human muscle. *The Journal of Physiology*, 110(3-4), 249-280.
- Wilson, G. J., Newton, R. U., Murphy, A. J., & Humphries, B. J. (1993). The optimal training load for the development of dynamic athletic performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 25(11), 1279-1286.
- Winter, E. M., Abt, G., Brookes, F. C., Challis, J. H., Fowler, N. E., Knudson, D. V., . . . Van Mechelen, W. (2016). Misuse of “power” and other mechanical terms in sport and exercise science research. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 30(1), 292-300.
- Yamauchi, J., & Ishii, N. (2007). Relations between force-velocity characteristics of the knee-hip extension movement and vertical jump performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(3), 703-709.
- Yamauchi, J., Mishima, C., Fujiwara, M., Nakayama, S., & Ishii, N. (2007). Steady-state force-velocity relation in human multi-joint movement determined with force clamp analysis. *Journal of Biomechanics*, 40(7), 1433-1442.
- Yamauchi, J., Mishima, C., Nakayama, S., & Ishii, N. (2009). Force-velocity, force-power relationships of bilateral and unilateral leg multi-joint movements in young and elderly women. *Journal of Biomechanics*, 42(13), 2151-2157.
- Young, W., Russell, A., Burge, P., Clarke, A., Cormack, S., & Stewart, G. (2008). The use of sprint tests for assessment of speed qualities of elite Australian rules footballers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 3(2), 199-206.
- Zatsiorsky, V. (1969). *Fizicke sposobnosti sportiste*. Beograd: Jugoslovenski zavod za fizičku kulturu i Fakultet za fizičko vaspitanje.
- Zatsiorsky, V. (2008). *The Encyclopaedia of Sports Medicine: An IOC Medical Commission Publication, Biomechanics in Sport: Performance Enhancement and Injury Prevention*: John Wiley & Sons.

Prilozi

Prilog 1: Kopija izjave o autorstvu.

Прилог 1.

Изјава о ауторству

Потписани-а Живковић З Милена

број индекса 2-ДС 2013/14

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

„Механичка својства различитих мишићних група процењена моторичким тестовима“

- резултат сопственог истраживачког рада,
- да предложена дисертација у целини ни у деловима није била предложена за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа,
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

Потпис докторанда

У Београду, 29.08.2017.

Živković Z.

Прилог 2: Копија изјаве о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада.

Прилог 2.

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора Милена З Живковић

Број индекса 2-ДС 2013/14

Студијски програм Експерименталне методе истраживања хумане локомоције

Наслов рада „Механичка својства различитих мишићних група процењена моторичким тестовима“

Ментор Редовни професор др Слободан Јарић

Потписани/а Милена З Живковић

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла за објављивање на порталу **Дигиталног репозиторијума Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис докторанда

У Београду, 29.08.2017.

Živković M.

Прилог 3: Копија изјаве о коришћењу.

Прилог 3.

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

„Механичка својства различитих мишићних група процењена моторичким тестовима“

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство
2. Ауторство - некомерцијално
3. Ауторство – некомерцијално – без прераде
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима
5. Ауторство – без прераде
6. Ауторство – делити под истим условима

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци, кратак опис лиценци дат је на полеђини листа).

Потпис докторанда

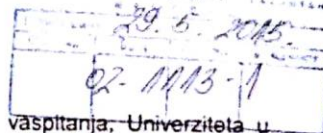
У Београду, 29.08.2017.

Živković M.

1. Ауторство - Дозвољава те умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.
2. Ауторство – некомерцијално. Дозвољава те умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.
3. Ауторство - некомерцијално – без прераде. Дозвољава те умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.
4. Ауторство - некомерцијално – делити под истим условима. Дозвољава те умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.
5. Ауторство – без прераде. Дозвољава те умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.
6. Ауторство - делити под истим условима. Дозвољава те умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.

Prilog 4: Kopija odobrenja Etičke komisije Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja za realizaciju predloženog istraživanja.

ETIČKOJ KOMISIJI FAKULTETA SPORTA I FIZIČKOG VASPITANJA UNIVERZITETA U BEOGRADU



Obraćam se Etičkoj komisiji Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja, Univerziteta u Beogradu sa molbom da mi da saglasnost za sprovođenje istraživanja planiranog u okviru projekta odobrenog od Ministarstva nauke Republike Srbije pod nazivom „Mišićni i neuralni faktori humane lokomocije i njihove adaptivne promene“ (broj IO175037, rukovodilac van prof. dr Aleksandar Nedeljković).

Planirane metode rada:

Istraživanje: Relacija sila-brzina kod različitih mišićnih grupa u različitim uslovima.

Transverzalna studija:

- a) Antropometrijska merenja.
- b) Procena maksimalne voljne kontrakcije (MVC) i brzine prirasta sile (RFD) za mišiće triceps brachii i quadriceps femoris.
- c) Testovi za gornje ekstremitete: benč pres i benč pul.
- d) Testovi za donje ekstremitete: skok iz počučnja i modifikovana kratka verzija Wingejt anaerobnog testa od 6 sekundi.

Uzorak će činiti ukupno 16 ispitanika koji će biti podeljeni u 4 grupe. Svi ispitanici proćiće isti protokol. Planirano je da imaju četiri dolaska (dva dolaska u jednoj nedelji) u trajanju od po 1h i 30min. Prvog dana biće izvršena antropometrijska merenja i procenjena MVC i RFD za donje ekstremitete (m. quadriceps femoris) na izokinetičkom dinamometru. Nakon toga izvršiće se familijarizacija ispitanika sa testovima za gornje ekstremitete. Drugog dana procenjivaće se MVC i RFD za gornje ekstremitete (m. triceps brachii) i ispitanici će se familijarizovati sa testovima za donje ekstremitete. Za treći i četvrti dolazak planirana su po dva testa, i to kombinacija testa za gornje ekstremitete i donje ekstremitete. Kod sva četiri pomenuta testa dodavaće se spoljašnje opterećenje. Broj tačaka opterećenja zavisice od sposobnosti samog ispitanika, i ići će od minimalnih 5 do maksimalnih 9 tačaka.

BEZBEDNOST ISPITANIKA:

Smitova mašina će se kod ovog istraživanja koristiti za sprovođenje oba testa za gornje ekstremitete (benč pres i benč pul). Ona omogućava merenje u strogo kontrolisanim i bezbednim uslovima, i mogućnost povređivanja ispitanika je svedena na minimum. Konstrukcija za testiranje benč pres i benč pul izbačaja (Smit mašina) pri različitoj vrsti opterećenja napravljena je tako da bude nepomična i maksimalno bezbedna. Šipka koja nosi opterećenja nalazi se na fiksiranim klizačima, a graničnici se postavljaju tako da ako ona ispadne iz ruku ispitanika ne može da padne na njih. Za izvođenje obrnutog benča je za ovo istraživanje posebno konstruisana klupa koja zadovoljava već proverene standarde.

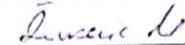
Testiranje skokova sa dodatnim opterećenjem (prslukom) je već testirana i proverena procedura. Primena modifikovanog kratkog Wingejtovog anaerobnog testa je takođe poznata u literaturi, proverena i bezbedna.

Kao kod bilo kog drugog vežbanja, postoji rizik pojave mišićnog zamora i upale mišića. Međutim, oba faktora su prolazna i bez posledica. Ispitanici će biti uključeni u studiju samo ukoliko ispunjavaju određene kriterijume.

Pre početka studije, svi ispitanici će biti detaljno informisani o planiranim merenjima i potpisaće saglasnost za uključivanje u studiju. U studiji neće učestvovati ispitanici koji pate od bilo kakvih kardiovaskularnih ili neuroloških oboljenja, ili bilo kakvih povreda koje utiču na rezultat eksperimenta ili mogu da budu pogoršane učešćem u njemu.

U Beogradu, 29.05.2015.

Podnosilac molbe



Milena Živković

Prilog 5: Formular za saglasnost ispitanika za učešće u istraživanju u saglasnosti sa Helsinškom deklaracijom.

Istraživači: *Red. prof. dr Slobodan Jarić*

Van. prof. dr Dejan Suzović

Doktorand Milena Živković

Doktorand Saša Đurić

Doktorand Ivan Ćuk

IME I PREZIME ISPITANIKA: _____

1. NAMENA I OPIS ISTRAŽIVANJA

Vi ste zamoljeni da učestvujete u istraživačkom projektu: “Mišićni i neuralni faktori humane lokomocije i njihove adaptivne promene”. Ova studija je deo pomenutog projekta i ispituje relaciju sila-brzina kod različitih motoričkih zadataka i mišićnih grupa.

Vi ćete biti jedan od najmanje 16 zdravih učesnika, uzrasta između 18-30 godina. Bićete raspoređeni u jednu od 4 grupe ispitanika, koja će tokom tri nedelje biti testirana. Testiranje će se sastojati od ukupno četiri motorička testa, od toga će dva biti za ruke (izbačaj tega sa grudi i vučenje tega), a dva za mišiće nogu (maksimalni skok uvis sa počučnjem bez zamaha ruku i test vožnja bicikle 6 sekundi). Tokom testiranja kod svih pomenutih motoričkih testova povećavaće se spoljašnje opterećenja. Ovim motoričkim testovima procenjivaće se sila, brzina i snaga kod svakog testa pojedinačno.

Vaše učešće u ovom projektu obuhvatiće četiri dolaska u trajanju od 1 h i 30 min:

1. Prvi dolazak: Meriće se telesna visina, masa i telesni sastav. Nakon toga izvršiće se familijarizacija sa testovima: Izbačaj tega sa grudi i Vučenje tega.

2. Drugi dolazak: Izvršiće se familijarizacija sa preostala dva motorička testa: Maksimalni skok uvis sa počučnjem bez zamaha ruku i Maksimalna vožnja bicikle u trajanju 6 s.

3. Treći dolazak: Realizovaće se dva motorička testa, jedan za ruke i jedan za noge.

4. Četvrti dolazak: Realizovaće se preostala dva motorička testa, jedan za ruke i jedan za noge.

2. USLOVI UČEŠĆA U ISTRAŽIVANJU

Svi dobijeni rezultati i informacije ove studije biće tretirani kao poverljivi. Vi lično nećete moći da budete identifikovani kao učesnik, izuzev po vašem broju/šifri koja će biti poznata samo istraživačima. U slučaju povrede tokom testiranja primićete prvu pomoć. Ako vam bude potrebna dodatna medicinska pomoć, vi ćete biti za nju odgovorni. Imaćete pravo da prekinete vaše učešće u eksperimentu u bilo kom trenutku.

Nećete moći da učestvujete kao ispitanik u studiji ukoliko patite od bilo kakvih kardiovaskularnih ili neuroloških oboljenja, ili nekih povreda koje mogu da utiču na rezultat istraživanja. U studiji će biti uključeni ispitanici koji imaju telesno masni indeks manji od 25 kg/m².

3. RIZIK

MOGUĆI BENEFITI: Upozaćete se sa procedurama testiranja i procesom istraživanja koje prethode stvaranju naučnih radova. Proširićete znanje iz oblasti biomehanike, koji vam mogu koristiti u daljem studiranju.

MOGUĆI RIZIK: Kao kod svakog vežbanja, postoji rizik od pojave mišićnog zamora i upale. Međutim, oba faktora su prolazna i bez posledica.

4. KONTAKTI

U slučaju da imate bilo kakvih pitanja u vezi sa studijom, možete pozvati profesora Dejana Suzovića ili naučne saradnike: Živković Milenu, Đurić Sašu ili Ćuk Ivana (Fakultet

sporta i fizičkog vaspitanja, Univerziteta u Beogradu; 011-3531073). Pitanja u vezi vaših prava kao učesnika istraživanja možete da postavite šefu Etičke komisije Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja, Univerziteta u Beogradu (011-3531100).

5. POTVRDA ISPITANIKA

Pročitao sam ovaj dokument i upoznat sam sa procedurom testiranja, zahtevima, rizicima i benifitima ove studije. Svestan sam mogućeg rizika i razumem da mogu da povučem svoj pristanak za učešće u istraživanju u svakom trenutku bez ikakvih konsekvenci i gubitka beneficija. Kopija ovog dokumenta mi je data.

Potpis ispitanika:

Ime ispitanika (štampanim slovima) _____

Datum: _____

Prilog 6: Kopija upitnika za procenu nivoa fizičke aktivnosti kod ispitanika.

Univerzitet u Beogradu, Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja
Doktorske studije - Eksperimentalne metode istraživanja humane lokomocije

IPAQ

INTERNACIONALNI UPITNIK O FIZIČKOJ AKTIVNOSTI - IPAQ -

Ovim kratkim upitnikom želimo da ispitamo koji oblik fizičke aktivnosti najčešće upražnjavate kao deo Vaših svakodnevnih aktivnosti. Pitanje se odnose na fizičke aktivnosti koje ste upražnjavali u poslednjih 7 dana. Molimo Vas da na svako pitanje odgovorite iskreno. Razmislite o svim fizičkim aktivnostima koje upražnjavate u toku dana na radnom mestu (fakultet), kod kuće, na putu od kuće do posla, u slobodno vreme, rekreativne aktivnosti, trening.

➤ Razmislite o svim **INTENZIVNIM FIZIČKIM AKTIVNOSTIMA** koje ste obavljali u poslednjih 7 dana. **INTENZIVNE FIZIČKE AKTIVNOSTI** su sve aktivnosti koje zahtevaju teži fizički napor i koje ubrzavaju Vaše disanje i rad srca znatno iznad normalnih vrednosti. Uzmite u obzir samo one aktivnosti koje su trajale najmanje 10 minuta.

1. U poslednjih 7 dana, koliko dana ste upražnjavali **INTENZIVNE FIZIČKE AKTIVNOSTI** kao što je, aerobik, brza vožnja bicikla, mali fudbal, basket, dizanje tegova, teži fizički rad u dvorištu?

_____ dana u nedelji

Nisam imao ovu vrstu aktivnosti → Pređite na pitanje br. 3

2. Koliko vremena ste proveli baveći se **INTENZIVNIM FIZIČKIM AKTIVNOSTIMA** u tim danima?

_____ sati na dan

_____ minuta na dan Ne znam/nisam siguran

➤ Razmislite o svim **UMERENIM FIZIČKIM AKTIVNOSTIMA** koje ste obavljali u poslednjih 7 dana. **UMERENE FIZIČKE AKTIVNOSTI** su sve aktivnosti koje zahtevaju umeren fizički napor i koje ubrzavaju Vaše disanje i rad srca iznad normalnih vrednosti. Uzmite u obzir samo one aktivnosti koje su trajale najmanje 10 minuta.

3. U poslednjih 7 dana, koliko dana ste upražnjavali **UMERENE FIZIČKE AKTIVNOSTI** kao što je lagana vožnja bicikla, tenis, vožnja rolera, brzo hodanje, lakši fizički rad u dvorištu? Hodanje ne spada u ovu vrstu aktivnosti.

_____ dana u nedelji

Nisam imao ovu vrstu aktivnosti → Pređite na pitanje br. 5

4. Koliko vremena ste proveli baveći se **UMERENIM FIZIČKIM AKTIVNOSTIMA** u tim danima?

_____ sati na dan

_____ minuta na dan Ne znam/nisam siguran

1

Univerzitet u Beogradu, Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja
Doktorske studije - Eksperimentalne metode istraživanja humane lokomocije

IPAQ

- Razmislite koliko vremena ste proveli **HODAJUĆI** u poslednjih 7 dana. Odnosi se na hodanje na radnom mestu (fakultet), kod kuće, na putu od kuće do posla i nazad, u slobodno vreme, hodanje kao rekreativna aktivnost, kao deo treninga,.....

5. U poslednjih 7 dana, koliko dana ste hodali najmanje 10 minuta u kontinuitetu?

_____ dana u nedelji

Nisam hodao duže od 10 minuta



Pređite na pitanje br. 7

6. Koliko vremena ste proveli **HODAJUĆI** u tim danima?

_____ sati na dan

_____ minuta na dan

Ne znam/nisam siguran

- Poslednje pitanje se odnosi na količinu vremena koje ste proveli sedeći u poslednjih 7 dana. Odnosi se na vreme koje ste sedeli na radnom mestu (fakultetu), kod kuće, sedenje za stolom, u poseti kod prijatelja, čitanje, gledanje Tv-a,.....

7. U poslednjih 7 dana, koliko vremena ste proveli **SEDEĆI** u toku jednog dana?

_____ sati na dan

_____ minuta na dan

Ne znam/nisam siguran

✓ Za testiranje je potrebno da budete u sportskoj opremi (šorc, majica, patike)

Saglasan sam da učestvujem u testiranju Vaš potpis _____

Telefon _____ e-mail adresa _____

Prilog 7: Kopija naslovne strane objavljenih radova.



Muscle Force-Velocity Relationships Observed in Four Different Functional Tests

by

Milena Z. Zivkovic¹, Sasa Djuric¹, Ivan Cuk^{1,2}, Dejan Suzovic¹, Slobodan Jaric^{3,4}

The aims of the present study were to investigate the shape and strength of the force-velocity relationships observed in different functional movement tests and explore the parameters depicting force, velocity and power producing capacities of the tested muscles. Twelve subjects were tested on maximum performance in vertical jumps, cycling, bench press throws, and bench pulls performed against different loads. Thereafter, both the averaged and maximum force and velocity variables recorded from individual trials were used for force-velocity relationship modeling. The observed individual force-velocity relationships were exceptionally strong (median correlation coefficients ranged from $r = 0.930$ to $r = 0.995$) and approximately linear independently of the test and variable type. Most of the relationship parameters observed from the averaged and maximum force and velocity variable types were strongly related in all tests ($r = 0.789-0.991$), except for those in vertical jumps ($r = 0.485-0.930$). However, the generalizability of the force-velocity relationship parameters depicting maximum force, velocity and power of the tested muscles across different tests was inconsistent and on average moderate. We concluded that the linear force-velocity relationship model based on either maximum or averaged force-velocity data could provide the outcomes depicting force, velocity and power generating capacity of the tested muscles, although such outcomes can only be partially generalized across different muscles.

Key words: power; parameter; output; load; generalizability.

Introduction

The force-velocity (F-V) relationship of the muscles performing multi-joint maximum performance tasks has been the focus of recent research. An important reason for that was the possibility to selectively assess force (F), velocity (V) and power (P) generating capacity of muscles performing functional movements that cannot be assessed from a single movement condition typically applied in routine testing procedures. Moreover, the F-V relationship could be of an approximately linear shape instead of a hyperbolic one that is typically observed from either in vitro muscles or individual muscle groups (Jaric, 2015). The linear shape of the F-V

relationship not only simplifies its assessment from various functional movement tasks, but the relationship parameters also directly reveal the capacities of the tested muscles to develop high F, V and P output. Namely, a range of F and V data observed from different loading conditions has been modeled by a linear regression model:

$$F(V) = F_0 - aV \quad (\text{eq. 1})$$

where parameter a is the relationship slope. F_0 (i.e., F-intercept) corresponds to the maximum force of the tested muscles that enables calculation of the V-intercept:

¹ - University of Belgrade - Faculty of Sport and Physical Education, The Research Centre, Belgrade, Serbia.

² - College of Sports and Health, Belgrade, Serbia.

³ - University of Delaware, Department of Kinesiology and Applied Physiology, Newark, USA.

⁴ - University of Delaware, Biomechanics and Movement Science Graduate Program, Newark, USA.

Authors submitted their contribution to the article to the editorial board.

Accepted for printing in the Journal of Human Kinetics vol. 56/2017 in March 2017.

A simple method for assessment of muscle force, velocity, and power producing capacities from functional movement tasks

Milena Z. Živković^a, Sasa Djurić^a, Ivan Cuk^{ab}, Dejan Suzović^a and Slobodan Jarić^{c,d}

^aFaculty of Sport and Physical Education, The Research Centre, University of Belgrade, Belgrade, Serbia; ^bDepartment of Kinesiology, College of Sports and Health, Belgrade, Serbia; ^cDepartment of Kinesiology and Applied Physiology, University of Delaware, Newark, DE, USA; ^dBiomechanics and Movement Science Graduate Program, University of Delaware, Newark, DE, USA

ABSTRACT

A range of force (F) and velocity (V) data obtained from functional movement tasks (e.g., running, jumping, throwing, lifting, cycling) performed under variety of external loads have typically revealed strong and approximately linear F–V relationships. The regression model parameters reveal the maximum F (F-intercept), V (V-intercept), and power (P) producing capacities of the tested muscles. The aim of the present study was to evaluate the level of agreement between the routinely used “multiple-load model” and a simple “two-load model” based on direct assessment of the F–V relationship from only 2 external loads applied. Twelve participants were tested on the maximum performance vertical jumps, cycling, bench press throws, and bench pull performed against a variety of different loads. All 4 tested tasks revealed both exceptionally strong relationships between the parameters of the 2 models (median $R = 0.98$) and a lack of meaningful differences between their magnitudes (fixed bias below 3.4%). Therefore, addition of another load to the standard tests of various functional tasks typically conducted under a single set of mechanical conditions could allow for the assessment of the muscle mechanical properties such as the muscle F, V, and P producing capacities.

ARTICLE HISTORY

Accepted 2 August 2016

KEYWORDS

Regression; mechanics; parameter; output; load

Introduction

Routine procedures for testing muscle function have been usually conducted under a single mechanical condition. As a result, the muscle capacities, such as those for producing high F, V and P outputs, cannot be distinguished from single outcomes of such tests (Jarić, 2015). This inevitably leads to a fundamental problem in the contemporary literature both regarding the design of various research and testing procedures, as well as an ambiguity in interpreting their results.

A solution of the discussed problem could be based on a number of recent studies that have been focused upon the force–velocity (F–V) relationship of muscular systems performing various functional movement tasks [i.e., multi-joint movements represented in either everyday behaviour or various sport activities such as jumping, cycling, or lifting; (Jarić, 2015)]. Specifically, a manipulation of external loads provided a range of F and V data that allowed for applying various regression models revealing V-associated decrease in F. Outcomes of the applied regressions typically revealed exceptionally strong and linear F–V relationship (i.e., $F = F_{\max} - aV$) from functional tasks such as lifting (García-Ramos, Jarić, Padiál, & Feriche, 2016; Sanchez-Medina, Gonzalez-Badillo, Perez, & Pallares, 2014; Srecković et al., 2015) jumping and leg push offs (Cuk et al., 2014; Feeney, Stanhope, Kaminski, Machi, & Jarić, 2016; Giroux, Rabita, Chollet, & Guilhem, 2015; Meylan et al., 2015; Nikolaidis, 2012; Samozino, Rejc, Di Prampero, Belli, & Morin, 2012, 2014), cycling (Driss, Vandewalle, Le

Chevalier, & Monod, 2002; Nikolaidis, 2012), and running (Jaskolska, Goossens, Veenstra, Jaskolski, & Skinner, 1999; Morin, Samozino, Bonnefoy, Edouard, & Belli, 2010; Rabita et al., 2015). Note that such tasks reveal only the outputs that reflect the capacity of the active muscles as a whole to produce high external F and V, but not the same capacities of individual muscles (McMahon, 1984; Winter et al., 2016). Nevertheless, the applied regression modelling inevitably revealed the maximum F (i.e., the F-intercept; F_{\max}), maximum V (V-intercept; $V_{\max} = F_{\max}/a$), and maximum power (P) [$P_{\max} = (F_{\max} \cdot V_{\max}/4)$; (Driss et al., 2002; Jarić, 2015; Samozino et al., 2012)]. In the further text, this approach will be referred to as the *multiple-load model*. Of particular importance could be that the multiple-load model parameters depicting the external F, V, and P outputs of the tested muscles (i.e., F_{\max} , V_{\max} , and P_{\max} respectively) proved to be highly reliable and at least moderately valid with respect to the same variables directly measured through standard tests (Jarić, 2015). Therefore, the F–V relationship could provide a comprehensive and valuable set of information regarding different mechanical capacities of the tested muscles, particularly when compared with the standard testing procedures typically performed under a single set of mechanical conditions (Bobbert, 2012; Jarić, 2015; Rabita et al., 2015; Samozino et al., 2012, 2014).

Several authors have already suggested that the method of obtaining the linear F–V relationship from loaded functional movements procedure could be developed into a routine

Biografija

Milena Živković je rođena 16.12.1988. godine u Nišu. Osnovnu i srednju Medicinsku školu „Dr. Milenko Hadžić“ završila je u Nišu sa odličnim uspehom. Godine 2007. je upisala osnovne akademske studije na Fakultetu sporta i fizičkog vaspitanja i uspešno ih završila sa prosekom 9.58. Na Univerzitetu u Nišu proglašena je za najboljeg studenta koji je diplomirao na Fakultetu sporta i fizičkog vaspitanja za godinu 2010/2011. Master studije je upisala 2011. godine na Fakultetu sporta i fizičkog vaspitanja u Beogradu. Naredne godine sa najvišom mogućom ocenom odbranila je master rad na temu: *Godišnji plan i program treninga škole odbojke „OK AS“ iz Niša*, i završila master studije sa prosekom 9.33.

Na osnovu zabeleženog uspeha na studijama bila je stipendista Ministarstva prosvete i nauke Republike Srbije 2009. i 2010. godine, Fonda za mlade talente „Dositeja“, 2011. i 2012. godine i od grada Niša 2011. godine primila je nagradu „11 Januar“ za najbolje studente Univerziteta u Nišu.

Doktorske studije, smer Eksperimentalne metode istraživanja humane lokomocije je upisala 2013. godine na Fakultetu sporta i fizičkog vaspitanja, Univerziteta u Beogradu. Od 2014. do januara 2018. godine bila je zaposlena je na projektu Mišićni i neuralni faktori humane lokomocije i njihove adaptacije koji je finansiran od strane Ministarstva sporta i tehnološkog razvoja Republike Srbije. Učesnik je brojnih međunarodnih konferencija i naučnih skupova i objavila je veliki broj radova u časopisima od nacionalnog značaja. Od 2013. do 2014. godine je bila dopisnik na studentskom veb portalu „Kapital Magazin“ u sekciji Aktivizam i Edukacija. Godine 2014. i 2015. bila je član nevladine organizacije „Pravi put odrastanja“ iz Niša, gde je promovisala fizičko vaspitanje kao prevetivnu meru u borbi protiv školskog nasilja.

Tokom školovanja i studiranja, aktivno se bavila sportom, odbojkom i atletikom i nadmetala u različitim nivoima takmičenja. U svojoj sportskoj karijeri, dobila je više priznanja i nagrada. Svojim zalaganjem doprinela je i postizanju zavidnih rezultata na univerzitetskim i fakultetskim takmičenjima. Učestvovala je na Evropskom univerzitetskom odbojkaškom takmičenju u Kragujevcu 2011. godine.

Svoju igračku karijeru zamenila je trenerskim pozivom. Radila je kao odbojkaški trener u „OK AS“ iz Niša u periodu od 2011. do 2013. godine. Po dolasku u Beograd svoju trenersku karijeru nastavila je u Školi odbojke „DIF“, zatim u odbojkaškom klubu „Lucky star“ radeći

sa mlađim kategorijama. Danas je glavni trener mlađih kategorija u Odbojkaškom klubu „Crvena zvezda“.

Publikacije

Živković, M., Stamenković, M., Pantelić, S., Ivanovski, A. (2012). Interesovanja i mišljenja dece o programu rekreativne nastave. U: *Tematski zbornik radova: Efekti primene fizičke aktivnosti na antropološki status dece, omladine i odraslih*, (str. 226-235). Beograd: FSFV.

Milošević, V., Petrović, A., **Živković, M.** (2012). Interesovanja za fizičke aktivnosti učenika osnovnih škola u Sremskoj Mitrovici, Jagodini i Nišu. U: *Tematski zbornik radova: Efekti primene fizičke aktivnosti na antropološki status dece, omladine i odraslih*, (str. 503-508). Beograd: FSFV.

Živković, M., Stamenković, M., Pantelić, S. (2013). Zainteresovanost za sportsko – rekreativne aktivnosti učenika i učenica grada Niša – pilot studija. U: *Zbornik radova treće međunarodne konferencije „Sportske nauke i zdravlje*, (str.116-123). Banja Luka: Panevropski univerzitet „Aperion“.

Živković, M., Stamenković, M., Marković, M. (2013). Nasilje u sportu i njegovi akteri u savremenom društvu, *Teme*, XXXVII, 2, 939-952.

Živković, M., Marković, M., Stamenković, M. (2013). Angažovanost dece u sportu na teritoriji Beograda, *Glasnik Antropološkog društva Srbije*, 48, 129-134.

Branislav, D., **Živković, M.**, Stamenković M. (2013). Buka kao remeteći faktor na času sportskih igara, *Glasnik Antropološkog društva Srbije*, 48, 145-151.

Živković, M., Stamenković, M. (2013). Motorno učenje u zavisnosti od okruženja, U: *Zbornik radova: FIS komunikacija u fizičkom vaspitanju, sportu i rekreaciji*, (str. 207-216). Niš: FSFV.

Živković M., Stamenković, M., (2013). Inovacije u programu rekreativne nastave, U: *Zbornik radova: FIS komunikacija u fizičkom vaspitanju, sportu i rekreaciji*, (str. 289-298). Niš: FSFV.

Živković M., Nešić, G. (2013). Godišnji plan i program u odbojci za devojčice uzrasta od 8 do 10 godina, *Fizička kultura*, 67 (2), 167-175.

Radisavljević Janić, S., Mladenović, I., **Živković, M.**, Mirkov, D. (2013). Prevalence of overweight and obesity among Belgrade youth: A study in a representative sample of 9 – 14 year-old children and adolescents, *Anthropological Notebooks*, 19 (3), 71-80.

Živković, M., Đurić, S. (2015). Razvojni poremećaj koordinacije na času fizičkog vaspitanja. U: *Zbornik radova: FIS komunikacija u fizičkom vaspitanju, sportu i rekreaciji*, (str.143-148). Niš: FSFV.

Živković, M., Đurić, S., Suzović, D., Nedeljković, A. (2015). Relacija sila-brzina u rutinskim testiranjima mišića nogu: evaluacija parametara maksimalne sile. U: *Tematski zbornik radova: Efekti primene fizičke aktivnosti na antropološki status dece, omladine i odraslih*, (str. 186-192). Beograd: FSFV.

Đurić, S., **Živković, M.**, Suzović, D., Nedeljković, A. (2015). Pouzdanost i konkurentna validnost parametara maksimalne sile dobijene iz linearne relacije sila-brzina. U: *Tematski zbornik radova: Efekti primene fizičke aktivnosti na antropološki status dece, omladine i odraslih*, (str. 209-215). Beograd: FSFV.

Marković, M., Bokan, B., Dobrijević, S., Đurić, S., **Živković, M.** (2017). Vremenska struktura časa fizičkog vaspitanja u osnovnim i srednjim školama u nekim gradovima Srbije. U: *Zbornik sažetaka: Antropološki i teoantropološki pogled na fizičke aktivnosti od Konstantina Velikog do danas.*,30, Leposavić: FSFV.

Toskić, L., Dopsaj, M., Stanković, V., Marković, M., Đurić, S., **Živković, M.**, Marković, I. (2017). Povezanost između vremena kontrakcije i momenta sile opružaća i pregibača zglobova kolena. U: *Zbornik sažetaka: Antropološki i teoantropološki pogled na fizičke aktivnosti od Konstantina Velikog do danas*, 50, Leposavić: FSFV.

U sklopu doktorata publikovana su dva naučna rada i apstrakt koji je prezentovan na konferenciji:

Zivkovic Z. M., Djuric, S., Suzovic, D., Jaric, S. (2016). A simple method for assessment of muscle force, velocity, and power producing capacities from functional movement tasks. *Journal of Sports Sciences*, 35 (13), 1287 – 1293.

Zivkovic Z. M., Djuric, S., Suzovic, D., Jaric, S. (2017). Muscle force-velocity relationships observed in four different functional tests. *Journal of Human Kinetics*, 56 (1), 39 – 49.

Živković, M., Đurić, S., Suzović, D., Jarić, S. (2016). Mišićna relacija sila-brzina kod četiri različita motorička testa. U: *Zbornik sažetaka: Efekti primene fizičke aktivnosti na antropološki status dece, omladine i odraslih*, 99, Beograd: FSFV.