

UNIVERZITET U BEOGRADU
FAKULTET SPORTA I FIZIČKOG VASPITANJA

Vladimir M. Grbić

**Evaluacija mehaničkih kapaciteta mišića nogu
primenom linearne relacije sila-brzina**

Doktorska disertacija

Beograd, 2021.

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF SPORT AND PHYSICAL EDUCATION

Vladimir M. Grbić

**Evaluation of leg muscles' mechanical capacities
using a linear force-velocity relationship**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2021.

MENTOR:

dr Goran Nešić, redovni profesor, Univerzitet u Beogradu, Fakultet Sporta i Fizičkog Vaspitanja, 1 mentor

dr Dragan Mirkov, redovni profesor, Univerzitet u Beogradu, Fakultet Sporta i Fizičkog Vaspitanja, 2 mentor

ČLANOVI KOMISIJE:

dr Aleksandar Nedeljković, redovni profesor, Univerzitet u Beogradu, Fakultet Sporta i Fizičkog Vaspitanja

dr Olivera Knežević, docent, Univerzitet u Beogradu, Fakultet Sporta i Fizičkog Vaspitanja

dr Slađan Milanović, naučni savetnik, Univerzitet u Beogradu, Institut za medicinska istraživanja

Datum odbrane: _____

PREDGOVOR

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

Grbic, V., Djuric, S., Knezevic, O. M., Mirkov, D. M., Nedeljkovic, A., & Jaric, S. (2017). A novel two-velocity method for elaborate isokinetic testing of knee extensors. *International Journal of Sports Medicine*, 38 (10), 741-746.

Đurić, S., Grbić, V., Živković, M., Majstorović, N., & Sember, V. (2021). Are the Parameters of Novel Two-Point Force-Velocity Model Generalizable in Leg Muscles?. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(3), 1032.

Evaluacija mehaničkih kapaciteta mišića nogu primenom linearne relacije sila-brzina

Sažetak

Standardna mišićna relacija sila-brzina (F-V) može se primenjivati u testiranjima mehaničkih osobina mišića. Generalizacija parametara F-V relacije modela *dva opterećenja* sa jedne mišićne grupe na druge i primena ovog modela u izokinetičkim uslovima nije dovoljno istražena. Ciljevi su realizovani kroz dva dela istraživanja. U prvom su postavljeni ciljevi: Da se utvrdi linearnost F-V relacije, konkurentna validnost parametara modela *dva opterećenja* i mogućnost generalizacije između istih parametara modela *dva opterećenja* pri skokovima sa počučnjem, na bicikl ergometru i pri opružanju potkolenice u izometrijskim uslovima. U drugom delu istraživanja cilj je bio da se utvrdi konkurentna validnost parametara modela *dve brzine* kod opružanja potkolenice u izokinetičkim uslovima.

Rezultati prvog dela istraživanja pokazali su da su parametri modela *dva opterećenja* bili veći od direktno izmerenih varijabli za sve testove. Korelacija između pomenutih parametara je bila visoka, osim pri parametru sile na bicikl ergometru. Rezultati su pokazali da je korelacija između istih parametara novog i standardnog modela pri različitim testovima za mišiće nogu varirala od umerene do visoke.

Rezultati drugog dela istraživanja pokazali su da je F-V relacija gotovo linearna. Dobijena je gotovo identična F-V relacija primenom modela *dve brzine*, pri samo dve standardne ugaone brzine - 60 i 180 °/s.

Dobijeni rezultati govore u prilog upotrebi modela *dva opterećenja* koji je daleko jednostavniji, a daje jednako kvalitetne informacije kao klasičan regresioni model približno linearne F-V relacije. Pokazano je da je mogućnost generalizacije mišićne snage nešto veća, nego generalizacija mišićne sile. Ovaj naučni doprinos otvara mogućnost pojednostavljenja testiranja mehaničkih kapaciteta mišića.

Ključne reči: relacija sila-brzina, model dva opterećenja, kinematika, Vingate, platforma sile

Naučna oblast: Fizičko vaspitanje i sport

Uža naučna oblast: Nauke fizičkog vaspitanja, sporta i rekreacije

UDK broj: 796.012.11:796.012.13(043.3)

Evaluation of leg muscles' mechanical capacities using a linear force-velocity relationship

Abstract

The standard muscle force-velocity (F-V) relationship can be applied in testing the mechanical properties of muscles. The generalization of the parameters of the F-V relationship of the *two-load* model from one muscle group to another and the application of this model under isokinetic conditions have not been sufficiently investigated. The objectives have been achieved by two parts of the study. Aims within first were: To determine the linearity of the F-V relationship, the concurrent validity of the *two-load* parameters and the possibility of generalization between the same parameters of the *two-load* model during testing in squat jumps, on the cycle ergometer and for lower leg extension under isometric conditions. In second part of the study, the aim was to determine the concurrent validity of *two-velocity* model parameters in lower leg extension under isokinetic conditions.

The results of the first part of the study showed that in all tests the parameters of the *two-load* model were higher than the directly measured variables. The correlation between the above parameters was high, except for the force parameter on the cycling ergometer. The results showed that the correlation coefficients between the same parameters of the new and the standard F-V model varied from moderate to high in different tests for the leg muscles.

The results of the second part of the study showed that the F-V relationship was approximately linear. An almost identical F-V relationship was obtained by applying the *two-velocity* model, at only two standard angular velocities - 60 and 180 °/s.

The results obtained speak in favor of applying the *two-load* model, which is far simpler, and provides the same quality of information as the classical regression model of approximately linear F-V relationship. It has been shown that the possibility of generalizing the muscle power is slightly higher than the generalization of the muscle force. This scientific contribution opens the possibility to simplify the testing of mechanical muscle capacities.

Keywords: force-velocity relationship, two-load model, kinematics, Vingate, force plate

Scientific field: Physical Education and Sport

Scientific subfield: Science of Physical Education, Sports and Recreation

UDC number: 796.012.11:796.012.13(043.3)

Sadržaj:

1. Uvod.....	8
1.1. Mehaničke osobine mišića.....	8
1.1.1. Sila, brzina i snaga mišića	9
1.2. Mišićna relacija sila-brzina.....	10
1.3. Testiranje mehaničkih osobina mišića.....	13
1.3.1. Standardni testovi za procenu sile mišića.....	15
1.3.2. Standardni testovi za procenu brzine.....	17
1.3.3. Standardni testovi za procenu snage mišića	18
2. Dosadašnja istraživanja.....	22
2.1. F-V relacija kod višezglobnih pokreta.....	22
2.2. Model <i>dva opterećenja</i>	25
2.3. Mogućnosti generalizacije procenjenih mehaničkih osobina mišića	27
2.4. Nedostaci dosadašnjih istraživanja	28
3. Problem, predmet, cilj i zadaci istraživanja	32
4. Hipoteze istraživanja	34
5. Metode.....	35
5.1. Prvi deo istraživanja	35
5.1.1. Ispitanici.....	35
5.1.2. Procedure testiranja.....	35
5.1.3. Prikupljanje i statistička analiza podataka	37
5.2. Drugi deo istraživanja.....	39
5.2.1. Ispitanici.....	39
5.2.2. Procedure testiranja.....	39
5.2.3. Prikupljanje i statistička analiza podataka	40
6. Rezultati	41
7. Diskusija.....	47
8. Zaključci i značaj istraživanja	51
9. Literatura.....	53
Biografija	62
Prilog 1	63
Prilog 2	65
Prilog 3	66
Prilog 4	67
Prilog 5	68
Prilog 6	69
Prilog 7	70

1. Uvod

Prilikom vršenja svakodnevnih aktivnosti, tj. izvođenja pokreta, glavnu ulogu imaju skeletni mišići. U ljudskom telu ih ima preko 700 i zajedno sa kostima predstavljaju lokomotorni aparat čoveka. Svojim skraćivanjem i opuštanjem pokreću kosti i na taj način predstavljaju glavne aktivne pokretače našeg tela. Upravljeni su od strane centralnog nervnog sistema (CNS). U proseku, mišići čine oko 40% od ukupne mase tela, dok je mišićna masa muškaraca u proseku oko 15% veća od mišićne mase žena.

Svakodnevne aktivnosti čoveka sačinjene su uglavnom od prirodnih oblika kretanja kao što su hodanje, trčanje, hvatanje, guranje, penjanje itd. Pomenuta kretanja su neophodna kako bi se čovek uspešno kretao i savladavao sve prepreke u prostoru. Kombinacijom pomenutih kretanja, mogu se postići relativno kompleksne radnje koje su potrebne za uspešno izvršenje različitih poslova ili izvođenje određenih tehničkih elemenata u sportu. Pošto postoji neprekidna tendencija čoveka daljem usavršavanju, kako bi se dalje unapredili navedeni pokreti i kretanja, potrebno je poznavati, analizirati i dalje unapređivati mehaničke osobine mišića, kao i njihovu dijagnostiku, tj. načine njihove procene. U tom smislu, izuzetno je važno izučavati mehaničke osobine mišića u promenljivim uslovima višezglobnih složenih pokreta, približnim onima u svakodnevnim životnim uslovima. Iz tog razloga, potrebno je dalje unapređivati i načine testiranja u smislu pronalaženja novih načina, tj. standardizovanjem novih testova koji će na najbolji mogući način oslikati stanje našeg lokomotornog aparata kroz analizu mehaničkih osobina mišića u približno „realnim“ uslovima. U dosadašnjoj praksi procene mehaničkih osobina mišića, zastupljeno je dosta standardizovanih testova. Međutim, većina njih ima malu ekološku validnost, jer se sprovodi na jednozglobnim pokretima u laboratorijskim uslovima, koji nisu dovoljno slični pravim višezglobnim pokretima u svakodnevnom životu. Takođe, maksimalni mišićni kapaciteti, tj. osnovne mehaničke osobine mišića su uglavnom testirane samo u uslovima koji su karakteristični za određenu mehaničku osobinu. Na primer, ako je cilj da se proceni maksimalna sila mišića, najčešće se sprovode izometrijski testovi kojima se može samo sila i izmeriti. Da li su dobijeni rezultati dovoljno validni u realnim uslovima kretanja? Da li je navedeni način testiranja dovoljno dobar da nam da precizne i realne informacije o testiranom mišićnom sistemu? Upravo to je tema projekta ove doktorske disertacije.

1.1. Mehaničke osobine mišića

Mehaničke osobine skeletnih mišića su veoma složene i često predmet istraživanja u različitim oblastima kao što su biomehanika, fiziologija, medicina, rehabilitacija itd. Uspeh u izvođenju svih

motoričkih radnji, kao i u mnogim sportskim disciplinama zavisi upravo od pomenutih veličina. Najpoznatije mehaničke osobine mišića koje su sastavni deo skoro svakog istraživanja koje se bavi ovom tematikom, jesu mišićna sila (F), brzina skraćenja mišića (V) i mišićna snaga (P). Međutim, one se ne mogu posmatrati kao odvojeni entiteti, već su međusobno zavisne. To potvrđuje činjenica da se u oblasti biomehanike upravo izučavaju pomenute međuzavisnosti pod nazivom mišićne relacije. Najpoznatije su one koje istražuju uticaj određenih faktora na ispoljavanje mišićne sile, kao na primer: promena mišićne dužine (relacija sila-dužina), vreme mišićne kontrakcije (relacija sila-vreme) i brzina skraćenja mišića (relacija sila-brzina). Za ovaj projekat je od izuzetnog značaja mišićna relacija sila-brzina (F-V relacija), koja će u narednom tekstu biti obrađena.

1.1.1. Sila, brzina i snaga mišića

Sila, brzina i snaga, kao osnovne mehaničke osobine mišića, predstavljaju osnovni preduslov za uspešno izvođenje od svakodnevnog čovekovog kretanja, pa sve do najsloženijih tehničko-taktičkih elemenata u sportu. Ujedno, pomenute mehaničke osobine mišića se sa antropomotoričkog aspekta mogu posmatrati i kao motoričke sposobnosti čoveka. Prema Zaciorskom (1969): „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 neuro-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“.

Kada se govori o mišićnoj sili, brzini i snazi, generalno postoji mnoštvo definicija i nekonzistentnosti u njihovom definisanju. Međutim, kako bi se dalje uopšte razmatrali pomenuti entiteti, potrebno ih je definisati u opšteprihvaćenom maniru.

Pojam mišićna sila podrazumeva savladavanje spoljašnjeg otpora, tj. opterećenja pomoću naprezanja mišića (Zaciorski, 1969). Međutim, mogućnost mišića da ispoljava veliku silu u izometrijskim ili kvaziizometrijskim uslovima kontrakcije naziva se maksimalna sila. A pošto sila predstavlja i mehaničku veličinu, često se u literaturi pojavljuje i pod nazivom jačina (Jarić & Kukulj, 1996). Generisanje mišićne sile prema Kukulju (2006) zavisi od više činilaca:

- poprečnog fiziološkog preseka mišića,
- dužine mišića,

- brzine promene dužine mišića
- dužine poluge na koju mišić deluje,
- dejstva centralnim ili perifernim pripojem mišića,
- veličine spoljašnjeg opterećenja,
- mišićnog režima rada,
- jačine suprotstavljanja mišića agonista,
- broja aktiviranih motoneurona
- frekvencije pražnjenja motoneurona itd.

Pojam brzina predstavlja mišićnu sposobnost delovanja protiv neznatnih spoljašnjih opterećenja što je moguće većom brzinom, u što kraćem vremenskom periodu, da ne bi došlo do zamora (Zaciorski, 1969). Definicija brzine trebalo bi da obuhvati proste pokrete i kretanja, da bi ono bilo izvedeno maksimalnom brzinom (Kukolj, 2006). Da postoji povezanost i međusobna zavisnost osnovnih mehaničkih osobina mišića (kao što je napomenuto u prethodnom poglavlju), potvrđuju i pojedini autori koji tvrde da je brzina izvođenja pokreta istovremeno i manifestacija sile sportista (Baechle & Earle, 2008). Zanimljiva opštepoznata činjenica koja razlikuje ovu mehaničku osobinu mišića od drugih, jeste da je brzina u velikom procentu predodređena genetskim faktorom.

Kada se govori o snazi mišića, misli se na delovanje mišićnih sila nasuprot umerenih spoljašnjih opterećenja, pri maksimalnoj brzini izvođenja pokreta u datim uslovima. Snaga je u mehanici predstavljena kao rad u jedinici vremena, odnosno treba je razumeti kao proizvod mišićne sile i brzine. Pomenuti proizvod nastaje kao rezultat zakonitosti relacije sile mišića i brzine njegovog skraćanja.

1.2. Mišićna relacija sila-brzina

Izučavajući oslobađanje toplote u mišićima, može se reći slučajno, dr Arčibald Vivijan Hil (dobitnik Nobelove nagrade 1922. godine), otkrio je postojanje povezanosti između ispoljavanja mišićne sile i brzine skraćanja mišića. Naime, istražujući visoko-elastična svojstva mišića, pratio je temperaturu mišića tokom kontrakcije. Zaključio je da se promena oslobođene toplotne energije proporcionalno menja sa promenom brzine mišićne kontrakcije, i to na sledeći način:

$$\Delta E = (a + F) \cdot V, \quad (1.1)$$

gde ΔE predstavlja količinu oslobođene toplotne energije, F generisanu mišićnu silu, V brzinu skraćanja mišića, a konstantu. Sledeći zaključak bio je da je količina oslobođene toplotne energije

proporcionalna razlici između maksimalne izometrijske sile i sile produkovane u mišiću tokom odgovarajuće mišićne kontrakcije:

$$\Delta E = b \cdot (F_0 - F), \quad (1.2)$$

gde je ΔE količina oslobođene toplotne energije, F_0 maksimalna izometrijska sila, F produkovana mišićna sila, b konstanta. Kombinacijom prethodne jednačina 1.1 i 1.2, dobija se jednačina 1.3:

$$(a + F) \cdot V = b \cdot (F_0 - F) \quad (1.3)$$

Dobijena jednačina se može dalje transformisati:

$$(V + b) \cdot (F + a) = (F_0 + a) \cdot b = konstanta. \quad (1.4)$$

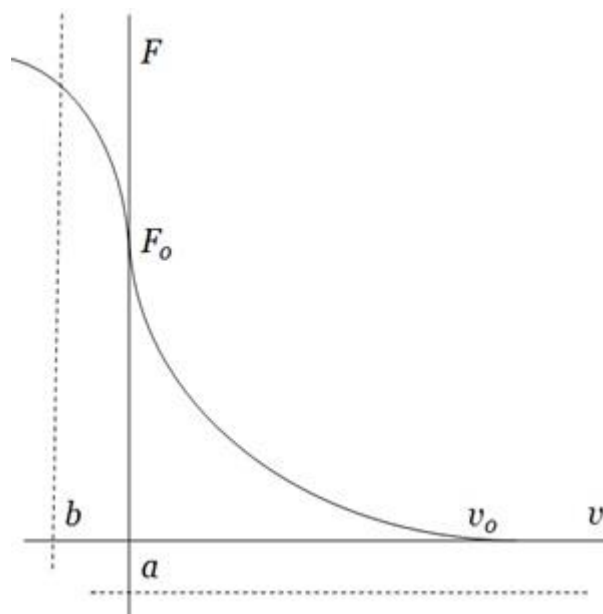
Prikazana jednačina predstavlja dobro poznatu Hilovu jednačinu, koja opisuje zavisnost ispoljavanja sile mišića od brzine skraćanja i hiperboličnog je oblika. Ovakav oblik F-V relacije karakterističan je za izolovan mišić. Hiperboličan oblik krive može se predstaviti transformisanjem prethodne jednačine:

$$(V/b + 1) \cdot (F/F_0 + a/F_0) = (1 + a/F_0) = konstanta, \quad (1.5)$$

gde su $a/F_0 = V/b$ parametri koji opisuju veličinu zakrivljenosti hiperbole.

Kao što se može primetiti, Hil je pokazao da mišićna F-V relacija ima zakrivljen, tj. hiperboličan oblik. Važno je napomenuti da su navedeni rezultati dobijeni u početku na izolovanom mišiću (Hill, 1938a; Katz, 1939). Zanimljivo je da su se Hilovom jednačinom lako mogli opisati nalazi iz ranijih istraživanja koja su isto tako beležila hiperboličan oblik F-V relacije (Fenn & Marsh, 1935; Gasser & Hill, 1924; Levin & Wyman, 1927).

Hil je, dakle, prvi matematičkom jednačinom opisao krivu koja opisuje povezanost između ispoljene mišićne sile i brzine skraćanja mišića. Pomenuta kriva opisuje samo faze koncentričnih kontrakcija i naziva se još i Hilova kriva (videti *Sliku 1*).



Slika 1. Hilova kriva – hiperbolična F-V relacija

Zanimljiva činjenica je da je Hilova hiperbola aktualna i danas, kao i da koristi za opisivanje mišićne F-V relacije. Rezultati Hilove studije sprovedene na izolovanom *m. sartorius*-u žabe, potvrđeni su kasnije i na ljudskim mišićima (Abbott & Wilkie, 1953; Kaneko, Fuchimoto, Toji, & Suei, 1983; Kojima, 1991; Wilkie, 1949).

Kao i u većini naučnih oblasti i istraživanja, i u ovoj su neki autori ukazivali na nekonzistentnost rezultata i uticaj mnogih faktora na pomenutu relaciju. U dostupnoj literaturi navodi se da na mišićnu F-V relaciju mogu uticati mnogi faktori kao što su: istežanje, zamor, temperatura, stepen aktivacije mišića, uzast itd. Tako je pokazano da istežanje mišića pre koncentrične kontrakcije pomera čitavu krivu u desno ka većim vrednostima sile i brzine (Cavagna, Dusman, & Margaria, 1968). Takođe, pronađeno je da povećanje zamora mišića povećava zakrivljenost krive (Ameredes, Brechue, Andrew, & Stainsby, 1992; Curtin & Edman, 1994). Sa druge strane, pokazano je da do smanjenja zakrivljenosti krive dolazi sa povećanjem temperature mišića (Bottinelli, Canepari, Pellegrino, & Reggiani, 1996; Sobol & Nasledov, 1994), kao i sa povećanjem nivoa mišićne aktivacije (Askew & Marsh, 1998; De Haan, 1998; Heckman, Weytjens, & Loeb, 1992), pa čak i sa uzrastom (Raj, Bird, & Shield, 2010).

Navedene karakteristike mišićne F-V relacije koje se ogledaju u njenom hiperboličnom obliku, proučavane su u studijama koje su izvedene nešto kasnije na jednozglobnim pokretima. Uprkos različitim primenjenim eksperimentalnim metodama i modelima, u najvećem broju slučajeva, oblik F-

V relacije se nije razlikovao kada su u pitanju pomenute relacije dobijene na izolovanim mišićima i pri jednozglobnim pokretima (De Koning, Binkhorst, Vos, & Van't Hof, 1985; Hawkins & Smeulders, 1998, 1999; Komi, 1973; Wilkie, 1949). To znači da su i pri jednozglobnim pokretima uočene hiperbolične F-V relacije, osim u nekoliko slučajeva gde su uočena manja neslaganja pri manjim brzinama, gde su ispoljene sile bile manje od očekivanih (Kojima, 1991; Perrine & Edgerton, 1978).

Generalno, može se reći da mišićna F-V relacija opisuje, tj. predstavlja odnos između sile koju mišić razvija i brzine njegovog skraćanja u tom trenutku. Relacija ukazuje na to da se sa povećanjem skraćanja brzine, smanjuje ispoljavanje mišićne sile i obrnuto. Iz svakodnevnog života je poznato da velike otpore spoljašnje sredine savladavamo malom brzinom, dok manji otpor možemo savladati velikom brzinom.

Važno je napomenuti da se sva istraživanja iz oblasti mišićne F-V relacije, u odnosu na primenjene eksperimentalne metode, mogu svrstati u tri grupe:

- (1) Istraživanja F-V relacije kod izolovanog mišića
- (2) Istraživanja F-V relacije kod jednozglobnih pokreta
- (3) Istraživanja F-V relacije kod višezglobnih pokreta

Interesovanje za fenomenom F-V relacije je i dalje veoma veliko, iako su pionirska istraživanja Hila i saradnika bila sprovedena pre gotovo jednog veka. Naročito je "popularnost" ove oblasti istraživanja porasla u poslednjih 20ak godina, tokom kojih preovladavaju istraživanja tokom vršenja višezglobnih složenih pokreta. U dosadašnjem tekstu je bilo reči o F-V relacijama kod izolovanih mišića i jednozglobnih pokreta, dok će o pomenutim relacijama kod višezglobnih pokreta, koja su od izuzetnog značaja za ovaj projekat, biti više u poglavlju 2.1.

1.3. Testiranje mehaničkih osobina mišića

Nijedan ozbiljan proces treninga, rehabilitacije, pa čak ni rekreacije, ne bi trebalo da počne bez početnog utvrđivanja stanja sportiste, rekonvalescenta, odnosno rekreativca. Naime, kako bi se upravljalo procesom treninga ili rehabilitacije, potrebno je prvo ustanoviti trenutno stanje sportiste, odnosno rekonvalescenta. To se postiže upravo analitikom, odnosno dijagnostikom, čije je glavno sredstvo testiranje. Postoje različite vrste testiranja čoveka, počev od medicinskih, fizioloških, psiholoških, socioloških, pa sve do motoričkih testiranja koja su od posebnog značaja za ovo istraživanje. Na osnovu testiranja sportiste, prvo se utvrđuje početno stanje pre procesa treninga, zatim se može pratiti stanje sportiste u toku treninga (od pojedinačnog treninga, do čitavog makrociklusa),

kao i po završetku procesa treninga, kao rezultat celokupnog rada. U rehabilitaciji se mogu uvideti posledice nastale povrede, kao i pratiti efektivnost primenjenih intervencija i terapija u odnosu na postignuti napredak, kako bi se pacijenti što pre vratili svojim svakodnevnim aktivnostima pre povrede. Testiranje se može koristiti i u prognostičke svrhe. Prognostika podrazumeva predviđanje budućeg stanja sportiste. Tako se, na primer, testiranjem može predvideti napredak ili potencijalna povreda sportiste koja može nastati usled procenjenog mišićnog disbalansa. Međutim, u prognostičke svrhe, testiranje se najčešće koristi radi planiranja procesa treninga i postizanja optimalne sportske forme. Takođe, motoričko testiranje je veoma važno mesto pronašlo u masovnom praćenju stanja učenika, tj. dece. Na taj način se mogu ustanoviti određeni motorički nedostaci, na koje se može pravovremeno reagovati. Naime, u literaturi i praksi je opšte da postoje senzitivni i kritični periodi za razvoj određenih motoričkih sposobnosti, pa je u skladu sa tim dobro i pratiti njihovo stanje u različitom uzrastu dece. Dobra strana pomenutog testiranja je i to, da se veoma lako mogu izdvojiti i talentovana deca sa kojim je potrebno posebno raditi.

Svi navedeni primeri su samo jedan deo onoga što predstavlja motoričko testiranje. Glavna uloga pomenutih testiranja jeste da omogući povratnu informaciju ljudima koji se bave ljudskim telom. Međutim, da bi se jedan test mogao svrsishodno koristiti, potrebno je da budu proverene njegove osnovne metrijske karakteristike kao što su pouzdanost, validnost i osetljivost (Currell & Jeukendrup, 2008). Posebno kada govorimo o motoričkim testiranjima, prema Sanford i saradnicima (1993), validna i pouzdana testiranja senzomotornog statusa su neophodna u kliničkim testiranjima i naučnim istraživanjima.

Validnost predstavlja meru u kojoj zadati test zaista procenjuje ono za šta se pretpostavlja da procenjuje, i predstavlja najvažniju karakteristiku testiranja (Baechle & Earle, 2008). Poznato je da postoje tri osnovne vrste validnosti: očigledna, konkurentna i spoljašnja validnost. Očigledna validnost nekog testa je visoka u slučaju kada dati test nedvosmisleno meri ili procenjuje ono za šta je namenjen. Konkurentna validnost podrazumeva visok stepen povezanosti datog testa i određenog testa koji ima očiglednu validnost. Ukoliko je povezanost visoka, to ukazuje da oba testa procenjuju istu motoričku sposobnost. Spoljašnja validnost se odnosi na povezanost određenog terenskog testa sa laboratorijskim testom, koji procenjuje istu sposobnost.

Pouzdanost podrazumeva “ponovljivost” dobijenih rezultata. Naime, ukoliko se testiranje sprovodi više puta, dok su uslovi testiranja približno isti (eksperimentalne procedure i dizajn itd.),

dobijeni rezultati testiranja bi trebali da budu približno isti. U tom slučaju, se za dati test može reći da je pouzdan.

Osetljivost kao treća metrijska karakteristika testa, definiše se kao verovatnoća zapažanja efekta koji zaista postoji. Uz pomoć osetljivosti datog testa, možemo utvrditi razlike u dobijenim rezultatima između različitih populacija ispitanika, da utvrdimo eventualne efekte određenog procesa treninga ili rehabilitacije. Dakle, za test koji omogućuje zapažanje malih, ali važnih promena ostvarenog rezultata, kažemo da je osetljiv (Currell & Jeukendrup, 2008).

1.3.1. Standardni testovi za procenu sile mišića

Standardni testovi za procenu sile zasnovani su na primeni dinamometrije. To je metoda u kojoj izmerena spoljašnja sila predstavlja meru ispoljene sile mišića. U odnosu na uslove u kojima se sprovodi, razlikuju se tri vrste dinamometrije: izometrijska, izoinercijalna i izokinetička (Abernethy, Wilson, & Logan, 1995).

Izometrijska dinamometrija naziv je dobila po izometrijskom režimu mišićne kontrakcije koja je karakteriše. Prilikom izometrijske dinamometrije, meri se maksimalna sila ispoljena tokom produžene maksimalne voljne kontrakcije merene mišićne grupe (Wilson & Murphy, 1996). Najpoznatiji test koji primenjuje izometrijsku dinamometriju kao metodu, jeste tzv. Standardni test jačine. Prilikom navedenog testa, ispitanik se fiksiran u standardizovanom položaju u okviru koga nema promene ugla ni u jednom zglobu. Za kraj segmenta, tj. kinetičkog lanca, povezana je sonda dinamometra koja beleži promene sile u vremenu (*Slika 2*). Iz pomenute krive izračunavaju se dve najčešće zavisne varijable ovog testa – maksimalna sila i maksimalna brzina razvoja sile. Autori istraživanja iz ove oblasti smatraju da standardni test jačine ima očiglednu validnost, s obzirom na pretpostavljenu visoku sličnost sa maksimalnom silom koju mišić ostvaruje u različitim motoričkim zadacima (Abernethy, et al., 1995; Sahaly, Vandewalle, Driss, & Monod, 2001). Takođe, pokazana je visoka pouzdanost maksimalne sile (Agre et al., 1987; Bembem, Massey, Boileau, & Misner, 1992; Wilson & Murphy, 1996). Rezultati istraživanja pokazali su i visoku osetljivost varijable maksimalne sile na efekte treninga jačine (Häkkinen, Alen, & Komi, 1985; Häkkinen, Komi, & Alen, 1985).



Slika 2. Izometrijska dinamometrija – merenje sile mišića zadnje lože

Kada govorimo o izoinercijalnoj dinamometriji, naziv je dobila po konstantnoj veličini spoljašnjeg opterećenja. Spoljašnje opterećenje određeno je, pre svega, konstantnom masom tegova i konstantnom gravitacionom silom koja deluje na pomenutu masu. Međutim, iako je spoljašnje opterećenje konstantno, sila koju mišić ispoljava savladavanjem datog opterećenja nije konstantna. Naime, pokret se najčešće izvodi kroz faze ubrzanja (kada je sila mišića veća od spoljašnje sile) i faze usporenja (kada je sila mišića manja od spoljašnje sile). Međutim, kada govorimo o upotrebi maksimalnih opterećenja u okviru izoinercijalne dinamometrije, nema previše prostora za veća ubrzanja i usporenja, tako da je režim rada mišića približan izometrijskom (Abernethy, et al., 1995). Najpoznatiji test koji koristi izoinercijalnu dinamometriju kao metodu jeste tzv. Test 1 ponavljajućeg maksimuma (1RM – eng. *1 repetition maximum*). Zbog male brzine izvođenja, često se naziva i kvazi-izometrijskim testom (Siff, 1993). Autori iz ove oblasti istraživanja smatraju da test 1RM ima očiglednu validnost, jer je izvođenje testa relativno jednostavno, a očigledno je da će jači ispitanici imati bolje rezultate. Kada govorimo o pouzdanosti, može se zaključiti da je potvrđena u brojnim sprovedenim istraživanjima na različitim mišićnim grupama i različitim ispitanicima (HortobáGyi & Katch, 1990b; Levinger et al., 2009; Seo et al., 2012). Konačno, visoka osetljivost testa 1RM na trening jačine može se smatrati očekivanom, jer ova vrsta treninga se zasniva na savladavanju upravo maksimalnih opterećenja (Abernethy, et al., 1995).

1.3.2. Standardni testovi za procenu brzine

Procena brzine najčešće se vrši testovima zasnovanim na izvođenju jednostavnih pokreta i motoričkih zadataka. Maksimalnu brzinu, kao što je već napomenuto, moguće je postići samo pri minimalnom spoljašnjem opterećenju. Takođe, maksimalnu moguću brzinu kretanja moguće je dostići samo u uslovima izvođenja koordinacijski jednostavnih motoričkih zadataka. Kao jedan od najpoznatijih motoričkih zadataka, koristi se trčanje po ravnoj podlozi. Kao elementarni prirodni oblik kretanja, trčanje ispunjava oba prethodno navedena uslova. Iz tog razloga, može se zaključiti da testovi zasnovani na trčanju maksimalnom brzinom imaju očiglednu validnost pri proceni brzine. Kada govorimo o pouzdanosti testiranja brzine, ona zavisi od mnogo faktora kao što su metodologija merenja, tačnije tehnologije koja se koristi (Buchheit, Spencer, & Ahmaidi, 2010; Haugen & Buchheit, 2016). Iz tog razloga je veoma važno kod testova za procenu brzine detaljno razmotriti metodologiju merenja, kako bi validnost, pouzdanost i osetljivost testova mogla biti procenjena na odgovarajući način. Standardni testovi za procenu brzine najčešće podrazumevaju korišćenje različitih savremenih tehnologija (Haugen & Buchheit, 2016) kao što su: foto-ćelije, radarski pištolji i GPS uređaji.

Foto-ćelije (*Slika 3*) se koriste uglavnom za merenje vremena potrebnog za pretrčavanje određene distance. Na osnovu izmerenog vremena i pretrčane distance, izračunava se brzina trčanja. U literaturi i praksi se najčešće koriste tri vrste foto-ćelija: jednozračne, dvozračne i foto-ćelije sa podeljenim zrakom.



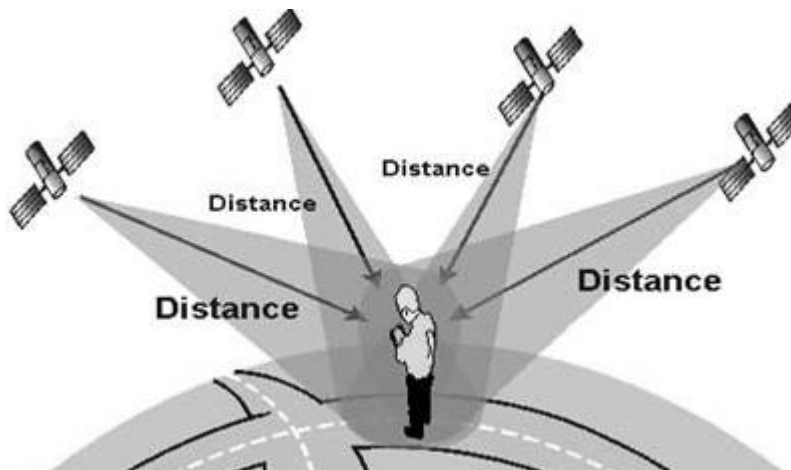
Slika 3. Merenje brzine foto-ćelijama

Radarski ili laserski pištolj (*Slika 4*) emituje laserski zrak ka ledima ispitanika čija se brzina procenjuje. To znači da radarski pištolj meri promenu razdaljine u vremenu, na osnovu čega se direktno izračunava brzina trčanja (Harrison, Jensen, & Donoghue, 2005).



Slika 4. Merenje brzine radarskim pištoljem

GPS uređaji (eng. *Global Positioning System*; *Slika 5*) procenjuju brzinu kretanja na osnovu promene položaja u prostoru tokom vremena (Schutz & Herren, 2000; Townshend, Worringham, & Stewart, 2008). Položaj u prostoru je određen uz pomoć satelita koji kruže u srednjoj zemljinoj orbiti.



Slika 5. Merenje brzine GPS uređajem

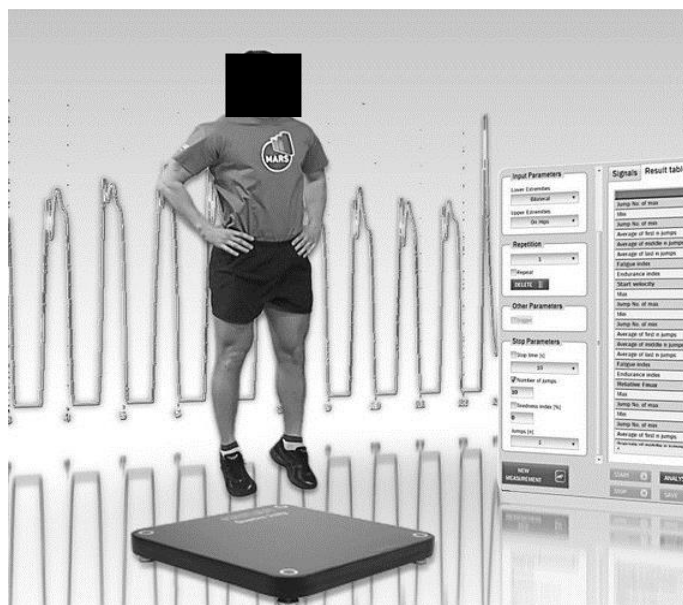
1.3.3. Standardni testovi za procenu snage mišića

Prilikom procene snage mišića koriste se različite metode testiranja (Vandewalle, Péérès, & Monod, 1987a). Najčešće primenjene metode podrazumevaju korišćenje: tenziometrijske platforme (za

merenje kinetičkih i kinematičkih parametara vertikalnog skoka), izokinetičkog dinamometra i bicikl-ergometra.

Test vertikalnog skoka predstavlja jedan od najčešće primenjenih testova za procenu snage mišića. Konstrukcijom tenziometrijskih platformi (Slika 6), omogućeno je direktno merenje snage reakcije podloge prilikom vertikalnog skoka (Davies, 1971; Davies & Rennie, 1968; Offenbacher, 1970). Platforme snimaju promenu sile reakcije podloge u jedinici vremena iz koje se dodatnim izračunima može dobiti srednja ili maksimalna snaga (Linthorne, 2001).

Vertikalni skok se može izvesti iz pozicije polučučnja (eng. *Squat jump*) ili sa počučnjem (eng. *Countermovement jump*). Prva vrsta skoka podrazumeva samo koncentričnu fazu pokreta, dok druga vrsta podrazumeva povratni režim rada mišića, što predstavlja prirodnu formu skoka. Bez obzira da li se radi iz polučučnja ili sa počučnjem, skokovi se mogu izvoditi sa ili bez zamaha ruku. Ta činjenica dovodi do koordinacijskog usložnjavanja kretanja, pa kod nedovoljno obučanih ispitanika može čak i negativno uticati na rezultat. Međutim, u većini slučajeva, zamah doprinosi povećanju visine skoka. To se dešava pre svega zbog povećanja kinetičke i potencijalne energije ruku u trenutku odskoka, zbog čega dolazi do povećanja brzine centra mase tela (Lees, Vanrenterghem, & De Clercq, 2004; Markovic, Mirkov, Knezevic, & Jaric, 2013).



Slika 6. Vertikalni skok na tenziometrijskoj platformi

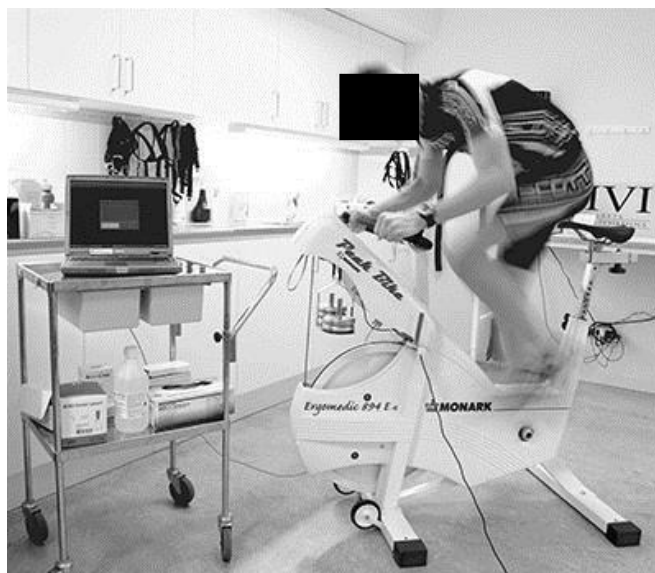
Druga česta metoda za procenu snage mišića jeste izokinetička dinamometrija (*Slika 7*). Naziv je dobila po konstantnoj ugaonoj brzini koju testirani segment ostvaruje tokom izvođenja jednozglobnog pokreta. Pomenutu konstantnu brzinu omogućuje specijalno dizajniran motor izokinetičkog dinamometra, koji tokom cele amplitude pokreta istovremeno meri ispoljeni moment mišićne sile i mišićnu snagu (Abernethy, et al., 1995; Zemach, Almoznino, Barak, & Dvir, 2009). Izokinetički dinamometar može se koristiti i za praćenje kinetičkih i kinematičkih parametara odvojeno za mišiće agoniste i antagoniste u okviru cikličnih naizmeničnih kontrakcija (Marshall, Mazur, & Taylor, 1990; Taylor, Cotter, Stanley, & Marshall, 1991).



Slika 7. Izokinetička dinamometrija

Kada se govori o testovima snage na bicikl-ergometru (*Slika 8*), podrazumevaju se oni koji se koriste za procenu maksimalne anaerobne snage i maksimalnog anaerobnog kapaciteta (Vandewalle, et al., 1987a). Naime, postoji više različitih protokola testiranja koji su u vezi sa primenjenim opterećenjem i vremenskim trajanjem samog testa. Međutim, svi imaju jednu zajedničku stvar, a to je da se izvode maksimalnom brzinom okretanja pedala (eng. “*all-out*” tests). Opterećenja u okviru testa mogu biti apsolutna (tj. konstantna) ili relativna (u odnosu na masu ispitanika), prilikom kojih dolazi do menjanja kočione sile na točku bicikla. Sa druge strane, trajanje testa određeno je pre svega njegovim ciljem i namenom (Green, 1995). Tako testovi za procenu maksimalne anaerobne snage traju do 10 s, dok testovi za procenu maksimalnog anaerobnog kapaciteta traju od 30 do 120 s. Važno je naglasiti da se tokom dužeg trajanja testa (preko 40s) prelazi na aerobni metabolizam, što dovodi u pitanje validnost ovakve vrste testiranja pri proceni anaerobnih kapaciteta mišića (Craig, Pyke, & Norton, 1989). Iz tog razloga se pri proceni maksimalnog anaerobnog kapaciteta najčešće koristi Vingejt test (eng. Wingate test) koji traje 30 sekundi (Dotan & Inbar, 1977). Sa druge strane, za procenu

maksimalne anaerobne snage mišića na bicikl-ergometru, najčešće se koristi test maksimalnog sprintsa u trajanju od 6 sekundi.



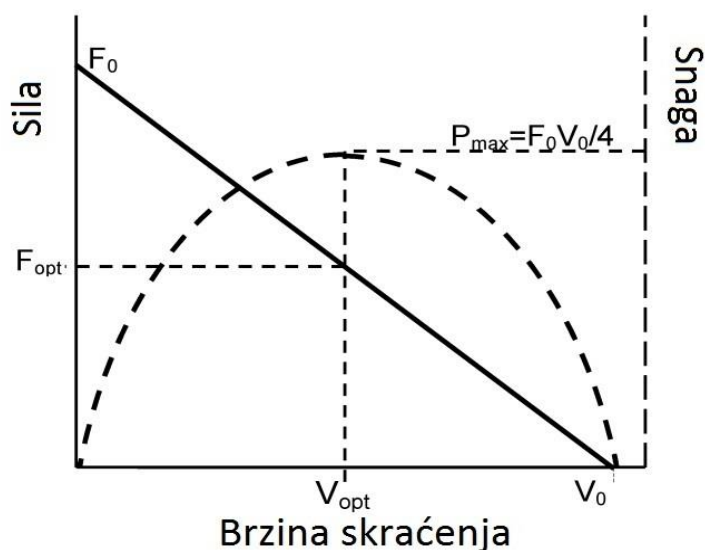
Slika 8. Testiranje snage na bicikl-ergometru

2. Dosadašnja istraživanja

U prethodnom poglavlju opisane su osnovne mehaničke osobine mišića kao što su sila, brzina i snaga, sa posebnim osvrtom na mišićnu F-V relaciju. Takođe, prikazane su osnovne metode testiranja mišićne sile, brzine i snage. U ovom poglavlju su prikazana dosadašnja istraživanja iz oblasti linearne F-V relacije, nove metode *dva opterećenja*, kao i mogućnosti generalizacije dobijenih rezultata na jednoj mišićnoj grupi, na ceo lokomotorni sistem.

2.1. F-V relacija kod višezglobnih pokreta

U udžbenicima iz biomehanike, motorne kontrole i mišićne fiziologije, mišićna F-V relacija prikazana je u njenom hiperboličnom obliku (McMahon, 1984). Međutim, rezultati novijih istraživanja sprovedenih na višezglobnim pokretima ukazuju na to da pomenuta relacija nema hiperboličan, već približno linearan oblik (*Slika 9*).



Slika 9. Približno linearna F-V relacija prilikom izvođenja višezglobnih pokreta

Približno linearan oblik mišićne F-V relacije pronađen je:

- pri potisku iz čučnja i vertikalnom skoku (Cuk et al., 2014; Feeney, Stanhope, Kaminski, Machi, & Jaric, 2016; Rahmani, Viale, Dalleau, & Lacour, 2001; Samozino et al., 2014a; Sheppard, Cormack, Taylor, McGuigan, & Newton, 2008; Zivkovic, Djuric, Cuk, Suzovic, & Jaric, 2017a, 2017b)

- pri trčanju (Dobrijevic, Ilic, Djuric, & Jaric, 2017; Jaskolska, Goossens, Veenstra, Jaskolski, & Skinner, 1999; Morin, Samozino, Bonnefoy, Edouard, & Belli, 2010)
- na bicikl-ergometru (Driss & Vandewalle, 2013; Driss, Vandewalle, Chevalier, & Monod, 2002; Nikolaidis, 2012a; Ravier, Grappe, & Rouillon, 2004b; Zivkovic, et al., 2017a, 2017b)
- na veslačkom ergometru (Sprague, Martin, Davidson, & Farrar, 2007)
- pri opružanju nogu u zatvorenom kinetičkom lancu (Samozino, Rejc, Di Prampero, Belli, & Morin, 2012b, 2014b; Yamauchi, Mishima, Nakayama, & Ishii, 2009)
- pri izbačanju sa grudi, potisku sa grudi, ramena, bacanjima i sl (Cronin, Mcnair, & Marshall, 2003; Djuric et al., 2016; Garcia-Ramos, Jaric, Padial, & Feriche, 2016; Hintzy, Tordi, Predine, Rouillon, & Belli, 2003; Nikolaidis, 2012a; Sreckovic et al., 2015; Van Den Tillaar & Ettema, 2004; Zivkovic, et al., 2017a, 2017b)

Nekoliko autora pokušalo je da objasne zašto je F-V relacija približno linearna prilikom izvođenja višezglobnih pokreta. Jedan od njih je Bobert, koji tvrdi da je uzrok pomenute razlike u obliku između F-V relacije pri izvođenju jednozglobnih i višezglobnih pokreta segmentalna dinamika (Bobert, 2012). Sa druge strane, Jamauci i Iši tvrde da su uzrok različiti neuralni faktori (Yamauchi & Ishii, 2007).

Pošto je pokazana približno linearna povezanost između sile i brzine prilikom izvođenja višezglobnih pokreta, može se zaključiti da se rezultati merenja sile i brzine mogu analizirati primenom modela linearne regresije. Pomenuti model je zasnovan na korišćenju standardne jednačine linije regresije:

$$F(V) = F_0 - a \cdot V, \quad (2.1)$$

gde F_0 predstavlja odsečak na F osi koji odgovara maksimalnoj izometrijskoj sili (tj. sili kada je brzina jednaka nuli), V_0 predstavlja odsečak na V osi koji odgovara maksimalnoj brzini (tj. brzini kada je sila jednaka nuli), dok a predstavlja nagib krive koja je jednaka F_0 / V_0 .

Kada se govori o snazi, u ovom slučaju relacija snaga-brzina (P-V relacija) ima oblik proste parabole, a maksimum snage se postiže kada su vrednosti sile i brzine na oko 50 % od maksimalnih vrednosti. Iz toga sledi da je formula za maksimalnu mišićnu snagu sledeća:

$$P_{max} = (F_0 \cdot V_0) / 4. \quad (2.2)$$

Upotrebom modela linearne regresije kod F-V relacije višezglobnih pokreta, mogu se izračunati dva nezavisna parametra – odsečak na F osi (F_0) i nagib regresione prave (a). Na osnovu pomenutih parametara, dalje je moguće izračunati još dva parametra – odsečak na V osi ($V_0 = F_0 / a$), kao i P_{max} korišćenjem jednačine 2.2.

Nagib regresione linije ($a = F_0 / V_0$) opisuje odnos između ispoljene sile i brzine. Što je nagib veći, veće su i vrednosti F_0 , a ukoliko je nagib manji, veće su vrednosti V_0 . Nagib u stvari opisuje prirodu odnosa sile i brzine. To se može objasniti kroz primer da dve osobe imaju približno istu maksimalnu snagu, ali da su nagibi njihovih F-V relacija različiti. To ukazuje da jedna osoba može biti snažna na osnovu ispoljavanja velike sile, dok druga na osnovu velike brzine pokreta. Rezultati nekoliko studija ukazali su na to da na nagib F-V relacije takođe imaju uticaj i faktori kao što su treniranost ispitanika (Cuk et al., 2016; Vandewalle, Peres, Heller, Panel, & Monod, 1987b) i starost ispitanika (Yamauchi, et al., 2009).

Da bi se jedan test mogao svrsishodno koristiti (kao što je već napomenuto u poglavlju 1.3), potrebno je proveriti njegove osnovne metrijske karakteristike kao što su pouzdanost, validnost i osetljivost. S tim u vezi, mnogi autori bavili su se upravo pomenutim metrijskim karakteristikama parametara linearne F-V relacije kod višezglobnih pokreta. Tako je pouzdanost ispitivana u svega nekoliko studija (Cuk, et al., 2014; Sreckovic, et al., 2015). Naime, Čuk i saradnici (2015) su pokazali visoku pouzdanost (svi $ICC > 0.80$) sva četiri parametra dobijena iz maksimalnih i srednjih vrednosti varijabli F i V , pri različitim modalitetima vertikalnog skoka. Dobijene rezultate potvrđuju i nalazi Sreckovića i saradnika (2015), gde je pouzdanost bila umerena do visoka (svi $ICC > 0.74$) kod izbačaja tega sa grudi. Dodatno, pokazano je da su parametri F_0 i P_{max} imali nešto veću pouzdanost od parametra V_0 .

Kada se govori o validnosti (konkretno o konkurentnoj validnosti), dobijeni su različiti rezultati. Naime, rezultati nekoliko istraživanja ukazali su da je konkurentna validnost parametra F_0 umerena do visoka kod vertikalnog skoka, vožnje bicikl-ergometra, kao i kod izbačaja tega sa grudi (Cuk, et al., 2014; Driss, et al., 2002; Sreckovic, et al., 2015). Međutim, za parametar V_0 utvrđena je niska do umerena konkurentna validnost kod vertikalnog skoka i izbačaja tega sa grudi (Cuk, et al., 2014; Sreckovic, et al., 2015; Yamauchi & Ishii, 2007). Za parametar P_{max} pokazana je visoka konkurentna validnost kod vertikalnog skoka (Cuk, et al., 2014), odnosno umerena kod izbačaja tega sa grudi (Sreckovic, et al., 2015).

Konačno, osetljivost parametara približno linearne F-V relacije istražena je u svega nekoliko studija. Nalazi jedine studije (prema dostupnoj literaturi) koja je direktno ispitivala osetljivost parametara približno linearne F-V sa ciljem pronalaženja razlika između različito treniranih populacija, ukazali su na njihovu visoku osetljivost. Naime, pokazano je da se na osnovu približno linearne F-V relacije mogu utvrditi razlike između osoba različitog nivoa i vrste treniranosti (Cuk, et al., 2016). Predmet istraživanja druge studije bio je da se ispituju efekti treninga sa različitim vrstama opterećenja na mehaničke osobine mišića. Rezultati pomenute studije pokazali su da je približno linearna F-V relacija dovoljno osetljiva da uoči razlike nastale usled treninga sa različitim vrstama opterećenja i na taj način ukazala na visoku osetljivost njenih parametara (Djuric, et al., 2016).

2.2. Model dva opterećenja

Standardni regresioni model približno linearne mišićne F-V relacije može se primenjivati u rutinskim testiranjima mehaničkih osobina mišića (Cuk, et al., 2014; Jaric, 2015; Nikolaidis, 2012a; Sreckovic, et al., 2015). Pokazano je da korišćenje pomenute F-V relacije u vidu dijagnostičkog sredstva, omogućuje dobijanje sveobuhvatnije slike stanja lokomotornog aparata, kao i realnu sliku stanja mehaničkih osobina mišića. Međutim, sama procedura testiranja nije baš najjednostavnija. Naime, ispitanici se moraju testirati više puta pri različitim opterećenjima, što zahteva više vremena, a može dovesti i do eventualnog zamora ispitanika. Kako bi se utvrdila linearnost F-V relacije, određeni autori koristili su različit broj opterećenja. Jedni su koristili čak i do devet opterećenja (Feeney, et al., 2016; Hintzy, et al., 2003; Yamauchi, Mishima, Fujiwara, Nakayama, & Ishii, 2007), neki osam (Djuric, et al., 2016; Dobrijevic, et al., 2017), sedam (Cuk, et al., 2014), šest (Sreckovic, et al., 2015), dok je minimalan broj za određivanje linearnosti F-V relacije bio pet opterećenja (Nikolaidis, 2012a). Pokazalo se da je pomenuta relacija nezavisno od broja primenjenih opterećenja bila skoro uvek približno linearna.

U skladu sa navedenim činjenicama da je F-V relacijama izuzetno dobra u dijagnostičke svrhe sa jedne strane, ali da sama procedura testiranja može trajati dugo i biti naporna za ispitanike sa druge strane, pojednostavljenje procedura i protokola testiranja kojima se ova relacija utvrđuje, predstavljalo bi pravo rešenje. Takođe, dobijeni rezultati visoke linearnosti nezavisno od broja primenjenih opterećenja, govore u prilog tome da broj eksperimentalnih opterećenja ne bi trebalo da utiče na konačnu linearnost. Prema tome, pojednostavljenje procedure testiranja primenom F-V relacije moglo bi se izvesti na osnovu smanjenja broja primenjenih opterećenja. Primenom linearne regresione jednačine kroz samo *dva opterećenja*, odnosno dva para podataka F i V na osnovu dva različita

opterećenja ili brzine, značajno bi pojednostavilo i ubrzalo procedure testiranja i dobijanje rezultata. Pomenuti model, tzv. model *dva opterećenja*, mogao bi se koristiti umesto standardnog regresionog modela (Jaric, 2016).

Pregledom literature, ustanovljeno je da se već nekolicina studija bavilo validacijom i razvijanjem novog modela *dva opterećenja*. Naime, novi model primenjen je pri različitim motoričkim zadacima kao što su: vertikalni skok (Pérez-Castilla, García-Ramos, Feriche, Padial, & Jaric, 2016a; Zivkovic, et al., 2017b), maksimalna brzina bicikl-ergometra (García Ramos, Torrejón, Morales Artacho, Pérez Castilla, & Jaric, 2017; Zivkovic, et al., 2017b), hodanje i trčanje na motorizovanoj traci (Dobrijevic, et al., 2017), izbačaj tega sa grudi (Pérez-Castilla, Jaric, Feriche, Padial, & García-Ramos, 2018; Zivkovic, et al., 2017b), kao i vučenje tega (Zivkovic, et al., 2017b).

Gotovo svi autori došli su do istog zaključka, a to je da je veoma moguće, pa čak i poželjno koristiti novi model prilikom procene mehaničkih osobina mišića. To su potvrdili dobijenim rezultatima. Naime, kada je u pitanju motorički zadatak vertikalni skok sa počučnjem, Perez-Castilla i saradnici (2016) su ispitivali pouzdanost i validnost parametara novog modela na uzorku od 23 studenta muškog pola. Dobijeni rezultati ukazali su na visoku pouzdanost (svi ICC $\geq 0,81$; CV $\leq 11,9$ %) i konkurentnu validnost (svi $r \geq 0,95$; ES $\leq 0,29$) sva četiri praćena parametra (F_0 , V_0 , P_{max} i a). Sa druge strane, Živković i saradnici (2017b) su na uzorku od 12 muških studenata ispitivali konkurentnu validnost parametara F_0 , V_0 , P_{max} kod četiri motorička testa: vertikalnog skoka sa počučnjem, vožnje bicikl-ergometra, izbačaja tega sa grudi i vučenja tega. Rezultati su ukazali na veoma visoku konkurentnu validnost (svi $r \geq 0,95$), kada se parametri dobijeni iz novog modela *dva opterećenja* uporede sa standardnim regresionim modelom. Takođe, Perez-Castilla i saradnici (2018) su na uzorku od 21 muškog studenta, prilikom izvođenja izbačaja tega sa grudi pri 6 različitih opterećenja, takođe pokazali uglavnom umerenu do visoku pouzdanost (svi ICC $\geq 0,67$; CV $\leq 9,02$ %) i konkurentnu validnost (svi $r \geq 0,97$; ES $\leq 0,13$) sva 4 praćena parametra novog modela. Rezultate koji dalje podržavaju upotrebu novog modela, dobili su Garcia-Ramos i saradnici (2017) na uzorku od 27 studenata muškog pola pri vožnji bicikl-ergometra. Naime, i pri ovom motoričkom zadatku potvrđena je visoka pouzdanost (svi ICC $\geq 0,85$; CV $\leq 4,09$ %) i konkurentna validnost (svi $r \geq 0,96$; ES $\leq 0,20$) sva 4 parametra. I konačno, Dobrijević i saradnici (2017) su na uzorku od 13 muških i 15 ženskih studenata, pri hodanju, odnosno trčanju na motorizovanoj traci dobili veoma visoku konkurentnu validnost za sva 4 parametra dobijena novim modelom *dva opterećenja* (svi $r \geq 0,93$; ES $\leq 0,09$).

Iako su u određenoj meri ispitane pouzdanost i validnost parametara linearnog regresionog modela primenjenog na novom modelu *dva opterećenja*, samo jedna studija bavila se praćenjem upravo pouzdanosti i validnosti u odnosu na odabir primenjena dva opterećenja (Pérez-Castilla, et al., 2018). Tačnije, autori su u svojoj studiji konstruisali tri različita modela *dva opterećenja* pri motoričkom zadatku izbačaj tega sa grudi: 20 – 70 % 1RM-a (najudaljenija opterećenja), 30 – 60 % 1RM-a i 40 – 50 % 1RM-a (najbliža opterećenja). Glavni nalazi istraživanja ukazuju da i pouzdanost i validnost parametara opadaju sa smanjenjem “udaljenosti” primenjenih opterećenja: 40 – 50 % 1RM-a (CV = 18,0%; $r = 0,64$), 30 – 60 % 1RM-a (CV = 7,3%; $r = 0,94$) i 20 – 70 % 1RM-a (CV = 5,5%; $r = 0,98$). Praktična preporuka autora na osnovu dobijenih rezultata jeste da se prilikom odabira opterećenja, uvek izaberu dva “najudaljenija”.

Iz svega navedenog sledi da su parametri dobijeni primenom linearnog regresionog modela kod novog modela *dva opterećenja* veoma pouzdani i validni, nezavisno od vrste primenjenog motoričkog zadatka. Dobijeni rezultati potkrepljuju i preporuku gotovo svih pomenutih autora da je navedeni novi model poželjno primenjivati prilikom testiranja osnovnih mehaničkih osobina mišića.

2.3. Mogućnosti generalizacije procenjenih mehaničkih osobina mišića

Postavlja se pitanje, da li je moguće rezultate procenjenih osnovnih mehaničkih osobina jedne mišićne grupe generalizovati na ostale. Na primer, ako sportista ima snažne mišiće nogu, da li je to slučaj i sa mišićima ruku. Postoji pretpostavka da nalazi svega nekoliko testiranih mišića i pokreta mogu da se delimično generalizuju na druge mišićne grupe i pokrete (Bohannon, 2008b; Pojednic et al., 2012).

Kada govorimo o generalizaciji parametara F-V relacije, u dosadašnjoj literaturi može se pronaći samo jedna studija koja se bavila ovom tematikom. Naime, Živković i saradnici (2017a) su procenjivali osnovne mehaničke osobine mišića uz pomoć F-V relacije pri četiri različita motorička testa: izbačaj tega sa grudi, vučenje tega, vertikalni skok i maksimalna brzina bicikl-ergometra. Prvi zaključak bio je da je dobijena relacija bila približno linearna nezavisno od primenjenog testa i vrste izračunate varijable F i V . Što se tiče generalizacije, dobijeni parametri, delimično su opisivali kapacitete različitih mišićnih grupa, pa je stoga zaključak da je generalizacija dobijenih rezultata moguća u umerenoj meri.

2.4. Nedostaci dosadašnjih istraživanja

Standardni postupci ispitivanja za procenu kapaciteta mišića nogu najčešće podrazumevaju korišćenje jednog spoljnog opterećenja, prema tome i procenu samo jedne mehaničke osobine mišića. Kao posledica toga, rezultati posmatrani na takav način ne omogućavaju razlikovanje između različitih mišićnih kapaciteta, poput ispoljavanja velike F, V i P (Jaric, 2015). Štaviše, standardni postupci testiranja često uključuju pokrete koji nisu karakteristični za sport niti dnevne aktivnosti, ili mogu prouzrokovati prevelika naprezanja u lokomotornom sistemu. Rezultati većine rutinskih procedura testiranja imali su ograničenu informativnu vrednost, zbog čega je došlo do brojnih debata u istraživanjima, nastalih iz proizvoljno interpretiranih eksperimentalnih nalaza o specifičnim mišićnim kapacitetima.

Za razliku od standardnih postupaka testiranja, F-V relacija višezglobnih pokreta pruža mogućnost selektivne procene kapaciteta F, V i P testiranih mišića (Jaric, 2015). Nedavna istraživanja pokazuju da je F-V relacija, posmatrana u različitim višezglobnim pokretima donjeg dela tela, približno linearana i snažna (Cuk, et al., 2014; Driss & Vandewalle, 2013; Ravier, Grappe, & Rouillon, 2004a; Samozino, et al., 2014a; Zivkovic, et al., 2017a). Iako se, uglavnom, smatra krivolinijskom, F-V relacija jednozglobnih pokreta testirana pomoću izokinetičke dinamometrije takođe se čini linearnom (Ameredes, et al., 1992; Askew & Marsh, 1998; Bembem, et al., 1992; Bottinelli, et al., 1996; Grbic et al., 2017). Iako je nekoliko autora već sugerisalo da se metoda dobijanja linearne F-V relacije može razviti u rutinsko ispitivanje mehaničkih mišićnih kapaciteta (Cuk, et al., 2014; García-Ramos, Jaric, Padial, & Feriche, 2016; Nikolaidis, 2012b; Sreckovic, et al., 2015), primena različitih opterećenja produžava postupak i čini ga sklonijim zamaranju. Ovi nalazi omogućavaju primenu nedavno predložene metode *dva opterećenja* (tj. dve tačke) za testiranje različitih motornih zadataka koji uključuju samo dva karakteristična spoljašnja opterećenja (García-Ramos, et al., 2016; Jaric, 2015; Zivkovic, et al., 2017a). Konkretno, ova metoda obezbeđuje parametre koji prikazuju F_0 (odn. presek sile), V_0 (presek brzine) i P_0 (izračunato iz proizvoda F i V) učinka testiranih mišića. Pomenuti parametri *dva opterećenja* odgovaraju parametrima standardne linearne F-V relacije dobijene iz više intenziteta spoljašnjeg opterećenja (Brown, Whitehurst, Gilbert, & Buchalter, 1995; Grbic, et al., 2017; Zivkovic, et al., 2017a). Stoga, dodavanje drugog opterećenja standardnim testovima moglo bi omogućiti procenu mehaničkih mišićnih kapaciteta (odn. F, V i P), pružajući dublji uvid u funkciju testiranih mišića, kao i razrešenje brojnih diskusija u literaturi.

Iako skokovi, bicikl-ergometar i izokinetička dinamometrija predstavljaju standardne testove kapaciteta nožnih mišića, nema dovoljno podataka o odnosu između rezultata ovih testova. Trebalo bi imati na umu da je implicitna pretpostavka bilo kog standardnog testa kapaciteta mišića ta da su rezultati obično posmatrani u veoma malom broju testova i da mišići mogu biti delimično generalizovani na druge mišićne sisteme koji izvode različite funkcionalne pokrete (Bohannon, 2008a; Pojednic, et al., 2012). Prema tome, samo je jedna studija ispitivala generalizaciju parametara linearne F-V relacije kapaciteta mišića nogu (Zivkovic, et al., 2017a). Rezultati su pokazali da se posmatrani parametri mogu samo delimično generalizovati. Međutim, odnos između parametara dobijenih iz modela *dva opterećenja* kada je u pitanju kapacitet mišića nogu još uvek nije procenjen.

Trebalo bi naglasiti da je model *dva opterećenja* neznatno kompleksniji i da je dužeg trajanja u odnosu na standardno testiranje pri jednom opterećenju. Međutim, dodavanje samo još jednog opterećenja na standardnu proceduru testiranja, omogućava veću informativnu vrednost. Za razliku od standardnih procedura testiranja koje ne pružaju potpune informacije o kapacitetima mišića da proizvode silu, brzinu i snagu, model *dva opterećenja* omogućava procenu upravo pomenutih kapaciteta modelovanjem uz pomoć varijabli sile i brzine pri samo dva primenjena opterećenja. S tim u vezi, novi model predstavlja veoma dobar pristup u proceni osnovnih mehaničkih osobina mišića upotrebom F-V relacije. Upotreba modela *dva opterećenja* opravdano je visokom linearnošću F-V relacije. Treba imati na umu da ovaj model predstavlja značajno jednostavniju metodu od standardnog regresionog linearnog F-V modela, a zapravo ima sve koristi koje donosi pomenuti regresioni model. Sa druge strane, imamo studiju koja se bavila generalizacijom parametara F-V relacije sa jedne mišićne grupe i pokreta, na druge. S tim u vezi, postavlja se pitanje, da li je moguće generalizovati parametre novog modela *dva opterećenja* i u kojoj meri?

Sa druge strane, izokinetička dinamometrija često se prepoznaje kao zlatni standardni metode ispitivanja mehaničkih kapaciteta mišića kod zdravih i fizički aktivnih pojedinaca, kao i kod onih koji se oporavljaju od povreda ili drugih zdravstvenih stanja (Cometti, Maffiuletti, Pousson, Chatard, & Maffulli, 2001; Knezevic, et al., 2014; Paul & Nassis, 2015). Međutim, slično drugim funkcionalnim testiranjima koji obično pružaju jedan ishod ispitivanja (Jaric, 2015), interpretacija rezultata dobijenih izokinetičkom dinamometrijom uvek je bila pomalo izazovna za interpretaciju, kada pričamo o određenim mehaničkim svojstvima testiranih mišića, poput njihovih kapaciteta za ispoljavanje visokih nivoa sile, brzine i snage (odn. proizvod sile i brzine). Autori su tumačili zabeležene sile i obrtne momente prilično proizvoljno, bilo da se radi o uočenim kapacitetima testiranih mišića ili ishodima primenjenih rehabilitacija i intervencija treninga (Aagaard, Simonsen, Magnusson, Larsson, & Dyhre-

Poulsen, 1998; Dvir, 2004; Paasuke, Ereline, & Gapeyeva, 2001). Većina autora barem se implicitno slaže da testovi sprovedeni pri malim ugaonim brzinama zgloba ili čak izometrijskim uslovima, pretežno otkrivaju mišićnu jačinu (odn. silu), dok velike ugaone brzine pretežno otkrivaju mišićnu snagu (Raj, et al., 2010; Van Roie et al., 2013). Kao rezultat toga, rutinski postupci ispitivanja često uključuju nekoliko ugaonih brzina, pri čemu se 60 °/s i 180 °/s mogu smatrati standardnim vrednostima (Dvir, 2004; Raj, et al., 2010; Zemach, et al., 2009). Međutim, takođe je poznato da se maksimalna snaga obično postiže pri velikim ugaonim brzinama izvan standardnih opsega ispitivanja, dok je maksimalna brzina još veća (Van Roie et al., 2011). Kao posledica, uprkos izvesnim pokušajima (Pojednic, et al., 2012), izokinetička testiranja koja se izvode pri standardnim ugaonim brzinama niti prave razliku između mišićne sile i kapaciteta za ispoljavanje snage, niti omogućavaju procenu maksimalne brzine.

Rešenje pomenutog problema moglo bi se zasnivati na mišićnoj F-V relaciji. Naime, iako bi tipična F-V relacija *in vitro* mišića trebalo da bude krivolinijska (Hill, 1938b), opterećeni funkcionalni višezglobni pokreti (npr. skakanje, trčanje, vožnja biciklom, dizanje, bacanje) obično pokazuju snažnu i linearnu F-V relaciju testiranih mišića (Jaric, 2015; Vandewalle, et al., 1987a). Parametri takve relacije direktno otkrivaju maksimalnu F, V i kapacitete za ispoljavanje P testiranih mišića, u teoriji, a rezultati nisu samo pouzdani, već, u najmanju ruku, umereno validni (García-Ramos, et al., 2016; Jaric, 2015; Sreckovic, et al., 2015). Suprotno tome, F-V relacija pojedinačnih mišića testiranih izokinetičkom dinamometrijom, često se smatra krivolinijskom (Colliander & Tesch, 1989; Hortobágyi & Katch, 1990a; Valour, et al., 2003; Wickiewicz, et al., 1984). Međutim, većina dostupnih setova podataka ukazuje na to da takav oblik može pretežno proizlaziti iz uključivanja relativno velike izometrijske sile, dok rasponi ugaonih brzina koji se tipično primenjuju pružaju približno linearni odnos između izmerene F i V (Colliander & Tesch, 1989; Dvir, 2004; Harries & Bassey, 1990; James, et al., 1994; Valour, et al., 2003; Wickiewicz, et al., 1984). Štaviše, ukoliko se odnos F i V pojedinačnih mišićnih grupa pokaže snažnim i približno linearnim u širokom rasponu ugaonih V, sličan pristup nedavno predložene metode *dva opterećenja* može se primeniti u rutinskom testiranju (Jaric, 2016; Zivkovic, et al., 2017a). Konkretno, pokazalo se da funkcionalni pokreti testirani pod samo dva karakteristična opterećenja mogu pružiti gotovo identične ishode kao kada su ti pokreti testirani pod različitim spoljašnjim opterećenjima za koje je neminovno neophodno regresijsko modeliranje, kao i produženi postupak ispitivanja koji je naporniji. Pošto se standardno izokinetičko ispitivanje obično izvodi pri propisanim zglobnim ugaonim brzinama, umesto pod različitim spoljašnjim opterećenjima, izokinetički test sproveden na samo dve karakteristične ugaone brzine takođe može napraviti razliku između mišićnih kapaciteta za ispoljavanje F, V i P testiranog mišića. S tim u vezi, potrebno je dodatno istražiti

da li je zaista mišićna F-V relacija u izokinetičkim uslovima približno linearna i da li je novi model *dva opterećenja*, odnosno *dve brzine* primenljiv u pomenutim uslovima. Potencijalni rezultati mogu dovesti do praktične primene jednostavnog modela *dve brzine*, kao i do boljeg razumevanja mehaničkih mišićnih kapaciteta i funkcije našeg muskulaturnog sistema.

3. Problem, predmet, cilj i zadaci istraživanja

Na osnovu pregleda dostupne literature, analize rezultata i nedostataka dosadašnjih istraživanja, postavljen je problem istraživanja.

Problem istraživanja

Problem ovog istraživanja može biti posmatran iz dva aspekta. Prvi aspekt se odnosi na neistraženost mogućnosti generalizacije parametara F-V relacije novog modela *dva opterećenja* sa jedne mišićne grupe i pokreta na druge. Naime, suštinski pojednostavljeni linearni F-V model u vidu novog modela, predstavlja značajno jednostavniji model sa svim koristima standardnog regresionog modela. U dostupnoj literaturi, postoji samo jedna studija koja je proučavala generalizaciju parametara F-V relacije sa jedne mišićne grupe i pokreta na druge. Iz tog razloga, prvi aspekt problema ovog istraživanja predstavlja pitanje generalizacije parametara novog modela *dva opterećenja* i u kojoj meri. Drugi aspekt problema istraživanja odnosi se na primenu novog modela u izokinetičkim uslovima. Uprkos činjenicama da je pri jednozglobnim pokretima u izokinetičkim uslovima pokazan hiperbolični oblik F-V relacije, pojedini autori su pokazali da pomenuta relacija na izokinetičkom dinamometru ima približno linearan oblik, kada se pri kalkulaciji izuzmu vrednosti izometrijske sile. Iz tog razloga, potrebno je potvrditi linearnost mišićne F-V relacije u izokinetičkim uslovima, kao i primenljivost novog modela *dva opterećenja*, odnosno modela *dve brzine* u izokinetičkim uslovima.

U odnosu na problem, postavljeni su predmet, ciljevi i zadaci istraživanja.

Predmet istraživanja

Predmet istraživanja odnosi se na evaluaciju mehaničkih kapaciteta mišića nogu kod tri različita motorička testa primenom linearne F-V relacije. Naime, procenjene su varijable mišićne sile i brzine prilikom skoka sa počučnjem, kratkog Vingejt testa na bicikl-ergometru i izvođenja opružanja potkolenice na izokinetičkom dinamometru.

Ciljevi istraživanja

Glavni *cilj* istraživanja je prikaz i analiza mehaničkih kapaciteta mišića nogu kod tri različita motorička testa primenom linearne F-V relacije.

Pojedinačni *ciljevi* istraživanja realizovani su kroz dva dela istraživanja.

Cilj 1: Utvrditi linearnost F-V relacije kod tri motorička testa (*Prvi deo*).

Cilj 2: Da se utvrdi konkurentna validnost parametara F_0 , V_0 i P_{\max} modela *dva opterećenja* kod skoka sa počučnjem i kratkog Vingejt testa na bicikl-ergometru (*Prvi deo*).

Cilj 3: Da se utvrdi mogućnost generalizacije, tj. povezanost između istih parametara modela *dva opterećenja* kod tri motorička testa (*Prvi deo*).

Cilj 4: Da se utvrdi konkurentna validnost parametara F_0 , V_0 i P_{\max} modela *dve brzine* kod opružanja potkolenice na izokinetičkom dinamometru (*Drugi deo*).

Zadaci istraživanja

Zadaci sprovedeni kako bi se realizovali postavljeni ciljevi su sledeći:

1. Formirana je grupu ispitanika na osnovu definisanih kriterijuma.
2. Izvršena je procena morfoloških karakteristika ispitanika.
3. Upoznali smo ispitanike sa motoričkim testovima koji će se primeniti.
4. Sprovedeno je testiranje mišića nogu pri tri motorička testa.
5. Izračunate su srednje i maksimalne vrednosti sile, brzine i snage.
6. Evaluiran je oblik F-V relacije.
7. Primenjeni su standardni regresioni model i model *dva opterećenja*.
8. Izračunati su parametri maksimalne sile, brzine i snage iz dobijene F-V relacije.
9. Izvršena je statistička analizu dobijenih podataka.
10. Prikazani su i interpretirani nalazi.

4. Hipoteze istraživanja

Na osnovu osnovu postavljenih ciljeva i detaljne analize dostupne literature, postavljene su hipoteze koje su ispitane kroz dva dela istraživanja.

Prvi deo – Da li je generalizacija parametara novog F-V modela dva opterećenja moguća kod mišića nogu?

Hipoteza 1.1: F-V relacija kod svih motoričkih testova biće približno linearna.

Hipoteza 1.2: Korelacija između istih parametara modela *dva opterećenja* i standardnog linearnog regresionog modela kod skoka sa počučnjem i kratkog Vingejt testa na bicikl-ergometru biće visoka.

Hipoteza 1.3: Povezanost parametara modela *dva opterećenja* F_0 i P_{max} sa varijablama maksimalne sile i snage dobijenih pri standardnim procedurama testiranja *opterećenja* kod skoka sa počučnjem i kratkog Vingejt testa na bicikl-ergometru biće umerena do visoka.

Hipoteza 1.4: Povezanost između istih parametara modela *dva opterećenja* kod tri motorička testa biće umerena do visoka.

Drugi deo – Nova metoda dve brzine za izokinetičko testiranje ekstenzora kolena

Hipoteza 2.1: Korelacija između istih parametara modela *dva opterećenja* i standardnog linearnog regresionog modela *dve brzine* kod opružanja potkolenice na izokinetičkom dinamometru biće visoka.

Hipoteza 2.2: Povezanost parametra F_0 modela *dve brzine* sa maksimalnom silom izmerenom u izometrijskim uslovima pri standardnoj proceduri testiranja kod opružanja potkolenice, biće visoka.

5. Metode

U okviru realizovanog istraživanja, glavna merenja sprovedena su u Metodičko-istraživačkoj laboratoriji (MIL) Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu. Za proveravanje ciljeva istraživanja, korišćene su tenziometrijske platforme, bicikl-ergometar i izokinetički dinamometar.

Prvi deo istraživanja napisan je na osnovu objavljenog rada u vrhunskom međunarodnom časopisu – *International Journal of Environmental Research and Public Health* pod nazivom: “Are the Parameters of Novel Two-Point Force-Velocity Model Generalizable in Leg Muscles?” Drugi deo napisan je na osnovu objavljenog rada u vrhunskom međunarodnom časopisu - *International Journal of Sports Medicine* pod nazivom: “A novel two-velocity method for elaborate isokinetic testing of knee extensors.”

5.1. Prvi deo istraživanja

5.1.1. Ispitanici

Za istraživanje je angažovano 12 fizički aktivnih ispitanika (studentkinje Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja; starosti 21 ± 2 godine, telesne mase $67,4 \pm 6,2$ kg, visine 172 ± 7 cm). Ispitanici nisu prijavili bilo kakve nedavne povrede ili hronične bolesti koje bi mogle uticati na validnost testiranja. Svi ispitanici su bili fizički aktivni tokom akademskog programa, koji se obično sastoji od oko 10 sati nedeljno prosečno umerene fizičke aktivnosti i nijedan od njih nije bio aktivni sportista. Studija je sprovedena u skladu sa Helsinškom deklaracijom i svi ispitanici potpisali su saglasnost za učešće u studiji koju je odobrio Institucionalni etička komisija.

5.1.2. Procedure testiranja

Telesna visina i telesna masa procenjene su standardnim antropometrom i digitalnom vagom. Glavni deo postupka testiranja sastojao se od 3 funkcionalna ispitivanja maksimalnih performansi nožnih mišića izvedenih pod različitim opterećenjima: skokovi sa počučnjem (SKOKOVI), maksimalni sprint na bicikl-ergometru (BICIKL) i maksimalna sila u izokinetičkim uslovima ekstenzora kolena (IZOKINETIKA).

Eksperimentalna procedura primenjena na obe grupe ispitanika sprovedena je kroz 4 sesije, odvojene sa najmanje 3 dana odmora. Prva sesija testiranja sastojala se od antropometrijskih merenja, nakon čega je usledilo upoznavanje sa testovima SKOKOVI, BICIKL i IZOKINETIKA. Druga, treća i četvrta sesija testiranja iskorišćene su za izvođenje svakog testa odvojeno i prikupljanje podataka. Treba imati na umu da je redosled testova bio delimično randomizovan za svakog ispitanika. Sesije su obično trajale oko 90 minuta. Za sve testove osim testa BICIKL, prvo izvođenje se smatralo vežbom, dok je drugo izvođenje bilo korišćeno za dalju analizu. Pre svake sesije, svaki ispitanik imao je 5 minuta zagrevanja na stacionarnom biciklu, a potom 5 minuta aktivnih i pasivnih vežbi istežanja.

Standardni testovi

Test SKOKOVI izveden je na izometrijskoj platformi (AMTI, BP600400; SAD) uz upotrebu prsluka i pojasa sa tegovima (MiR Vest Inc; USA), težine od oko 1 kg kada su prazni. Ispitanici su dobili instrukcije da izvode maksimalne vertikalne skokove iz uspravnog stojećeg položaja, držeći ruke na bokovima (Zivkovic, et al., 2017a). Nisu data posebna uputstva u pogledu dubine počučnja.

Test BICIKL uključivao je procenu maksimalne snage kroz 6-s maksimalni biciklistički sprint (Pazin, Bozic, Bobana, Nedeljkovic, & Jaric, 2011; Zivkovic, et al., 2017a), i izveden je na bicikl-ergometru Monark 894E (Monark, Varberg, Švedska). Ispitanici su na samom početku testiranja dobili instrukcije da „daju sve od sebe” i ostanu da sede tokom čitavog sprinta (Pazin, et al., 2011; Zivkovic, et al., 2017a). Testiranje je započelo sa dominantnom nogom u položaju poluge pedale pod uglom od 45° prema napred. Visina sedišta prilagođavala se za svakog ispitanika na osnovu visine velikog trohatera kada stoje paralelno sa sedištem.

Test IZOKINETIKA izveden je na izokinetičkom dinamometru Kin-Com AP125 (Chatex Corp., Chattanooga, Tennessee, SAD). Ispitanici su sedeli u uspravnom položaju i bili su fiksirani na aparat za testiranje pomoću traka oko karlice, butina i maleolusa. Osa rotacije dinamometra poravnata je sa bočnim femoralnim kondilom. Za izokinetičko ispitivanje ekstenzije kolena podešen je raspon pokreta od 90° do 170° ekstenzije kolena (Brown, et al., 1995).

Za procenu maksimalne sile, brzine i snage (F_{\max} , V_{\max} and P_{\max} , ponaosob) pomoću različitih funkcionalnih testova, izabran je tip spoljašnjeg opterećenja koje se obično primenjuje u standardnim postupcima ispitivanja. Test SKOKOVI izveden je bez prsluka i pojasa. Za test BICIKL korišćeno je spoljašnje opterećenje od 6 kg, što odgovara otprilike 8,9% telesne mase učesnika. Za procenu sile pri testu IZOKINETIKA, ugaona brzina bila je 60 °/s, dok je za maksimalnu snagu ugaona brzina bila 180 °/s (Pazin, et al., 2011).

Model dva opterećenja

Model *dva opterećenja* sastojao se od dva opterećenja ili dve brzine u zavisnosti od testa, za dobijanje parametara maksimalne sile, brzine i snage (F_0 , V_0 , P_0). Veličine su odgovarale najmanjim i najvećim opterećenjima/brzinama korišćenim u našim prethodnim studijama (Jaric, 2015; Zivkovic, et al., 2017a).

Za test SKOKOVI, ispitanici su izveli 4 skoka sa počučnjem (2 opterećenja x 2 pokušaja). Prvo opterećenje sprovedeno je samo sa praznim prslukom i pojasom, dok je drugo sprovedeno sa opterećenjem od 24 kg. Ispitivanje sa najvećom maksimalnom snagom iskorišćeno je za dalju analizu. Postupak upoznavanja pokazao je da su svi ispitanici mogli da skoče sa najtežim opterećenjem (24 kg). Period odmora između dva uzastopna skoka iznosio je 1 minut i oko 3 minuta između različitih nivoa opterećenja (Zivkovic, et al., 2017a).

Za izvođenje testa BICIKL ispitanici su izveli 2 sprinta sa najmanjim spoljašnjim opterećenjem od 2 kg i sa najtežim opterećenjem od 10 kg (2 opterećenja x 1 pokušaj). Period odmora između uzastopnih sprintova bio je 4 minuta (Zivkovic, et al., 2017a).

Kada je u pitanju IZOKINETIKA, model *dva opterećenja* (odnosno *dve brzine*) nije primenjen na najmanjoj i najvećoj brzini koju su ispitanici mogli da izvedu, već na najčešće primenjenim brzinama testiranja - 60 i 180 °/s (2 brzine x 2 pokušaja). Svaki pokušaj sastojao se od jedne kontrakcije izvedene što je jače moguće, a pokušaj sa najvećom maksimalnom snagom korišćen je za dalju analizu. Odmor je trajao 30 sekundi između pokušaja i 1 minut između 2 uzastopne brzine. Vizuelna povratna informacija krivulje trenutno generisane sile u realnom vremenu bila je dostupna tokom procene snage (Andersen & Aagaard, 2006; Knezevic, Mirkov, Kadija, Milovanovic, & Jaric, 2014).

Isti iskusni ispitivač nadgledao je sva testiranja. Detaljno objašnjenje i kvalifikovana demonstracija omogućeni su pre svakog testiranja, a pruženo je i standardizovano verbalno ohrabrenje. Od ispitanika se tražilo da završe dva do tri submaksimalna ponavljanja vežbe pre svake serije testiranja.

5.1.3. Prikupljanje i statistička analiza podataka

Što se tiče testa SKOKOVI, korišćen je posebno izrađen program LabVIEW (National Instruments 2013.; SAD) za dobijanje i obradu vertikalne komponente sile reakcije podloge. Signali su uzorkovani na 1000 Hz i propušteni kroz niskopropusni filter drugog reda, 10 Hz - Butterworth. Integracija signala ubrzanja dobijenog iz F izvedena je za izračunavanje V (Cuk, et al., 2014; Mandic,

Jakovljevic, & Jaric, 2015). Analizirana faza kretanja uključivala je vremenski interval od najnižeg položaja centra mase tela do početka faze leta.

Kada je u pitanju test BICIKL, softverski uređaj (Monark anaerobni test) korišćen je za dobijanje P i podataka frekvencije. Za procenu odgovarajućih linearnih mera, V je izračunat na osnovu frekvencije i dužine poluge, dok je F izračunat kao P podeljen sa V (Zivkovic, et al., 2017a).

U slučaju testa IZOKINETIKA, korišćen je posebno izrađen program LabVIEW (National Instruments 2013.; SAD) za dobijanje i obradu podataka. Krivulje trenutno generisane sile zabeležene su na 500 Hz i propušteni kroz niskopropusni filter (5 Hz) korišćenjem drugog reda (nulta faza kašnjenja) Butterworth filtera. Pošto je F direktno zabeležen, ugaona brzina (rad/s) transformisana je u linearnu brzinu (m/s) množenjem sa dužinom pojedinačnih segmenata, tako da bi rezultati mogli da se upoređuju sa drugim testovima.

Deskriptivna statistika izračunata je kao srednja vrednost i standardna devijacija. Pre statističkih analiza, inicijalno testiranje otkrilo je da nijedna od zavisnih varijabli nije značajno odstupila od svoje normalne distribucije (Kolmogorov-Smirnov test). Varijable: F_{max} , V_{max} i P_{max} procenjene su iz standardnih procedura ispitivanja. Za proveru *Hipoteze 1.1* izračunati su parametri klasičnog F-V modela pomoću linearne regresije, dok su parametri modela *dva opterećenja* F_0 , V_0 i P_0 izračunati upotrebom linearne regresije preko maksimalnih vrednosti podataka F i V dobijenih iz 2 opterećenja, odn. ugaonih brzina, u zavisnosti od testa. F-V relacije su ekstrapolirane kako bi se odredio maksimalan F (F_0 ; F-presecanje) i maksimalan V (V_0 ; V-presecanje), kao i nagib relacije ($a = F_0 / V_0$). Konačno, maksimalan P izračunat je iz proizvoda F_0 i V_0 ($P_0 = F_0 \times V_0 / 4$). Odnos između parametara *dva opterećenja* i maksimalnih vrednosti dobijenih standardnim testovima, kao i parametara standardnog regresionog F-V modela, ispitivan je pomoću Pirsonovih korelacija. Studentov t-test za zavisne uzorke korišćen je za testiranje razlika između parametara *dva opterećenja* i maksimalnih vrednosti dobijenih standardnim testovima (*Hipoteze 1.2 i 1.3*). Pirsonove korelacije i odgovarajući intervali pouzdanosti od 95% (95% CI) korišćeni su za testiranje odnosa između istih varijabli među različitim testovima (*Hipoteza 1.4*). Podaci su analizirani korišćenjem softvera SPSS 20.0 (SPSS Inc. Chicago, IL, SAD). Alfa je postavljen na 0,05.

5.2. Drugi deo istraživanja

5.2.1. Ispitanici

Pošto smo želeli homogenu grupu ispitanika, odabrano je 13 zdravih studentkinja Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja (uzrasta 21 ± 2 godine, telesne mase 64 ± 7 kg, visine 172 ± 7 cm; podaci su predstavljeni kao srednja vrednost \pm SD). Svi oni bili su fizički aktivni kroz akademski program, koji se obično sastoji od oko 10 sati nedeljno prosečno umerene fizičke aktivnosti. Nisu bili aktivni sportisti niti su patili od neuroloških bolesti ili nedavnih povreda. Studija je izvedena u skladu sa Helsinškom deklaracijom i skladu je sa etičkim standardima časopisa (Harriss & Atkinson, 2015). Svi ispitanici potpisali su obrazac saglasnosti za učešće u studiji koje je odobrila Etička komisija institucije.

5.2.2. Procedure testiranja

Sva merenja obavljena su u fakultetskoj istraživačkoj laboratoriji, koristeći Kin-Com AP125 izokinetički dinamometar (Chatek Corp., Chattanooga, Tenesi, SAD). Nakon standardizovanog 10-minutnog zagrevanja koji se sastoji od 5 minuta vožnje biciklom i 5 minuta kalisteničkog i dinamičkog istezanja, ispitanici su seli u uspravnom položaju i bili su fiksirani na aparat za testiranje pomoću traka oko karlice, butina i maleolusa. Osa rotacije dinamometra poravnata je sa bočnim femoralnim kondilom. Isti iskusni ispitivač nadgledao je sva testiranja. Detaljno objašnjenje i kvalifikovana demonstracija omogućeni su pre svakog testiranja, zajedno sa standardizovanim verbalnim ohrabrenjem. Od ispitanika se tražilo da završe 2 do 3 submaksimalna ponavljanja vežbe pre svake serije testiranja.

Maksimalna mišićna F ispitivana je i u izokinetičkim i u izometrijskim uslovima. Prvo je izveden izometrijski test, koji je kasnije služio za procenu istovremene validnosti maksimalne F dobijene iz presecanja F regresionog F-V modela, koji je primenjen na rezultate izokinetičkih ispitivanja. Izometrijski test izveden je pod uglom od 120° ekstenzije kolena (180° odgovara potpunoj ekstenziji) (Knezevic, et al., 2014). Ispitanici su dobili uputstva da ispruže koleno „što brže i što je jače moguće“ (Andersen & Aagaard, 2006). Izvedene su 2 maksimalne kontrakcije sa 30-sekundi mirovanja između kontrakcija.

Za izokinetička ispitivanja ekstenzije kolena podešen je raspon pokreta od 90° do 170° ekstenzije kolena (Brown, et al., 1995). Da bismo dobili F-V relaciju iz širokog raspona podataka o F i V, sproveli smo izokinetičke testove pri 5 ugaonih brzina, sledećim redosledom: 30, 60, 120, 180 i 240 $^\circ$ /s. Treba imati na umu da smo za produženje intervala testiranih V dodali i manju (odn. 30 $^\circ$ /s) i veću

V (240 °/s) u najčešće primenjeni opseg ugaonih V kolena od 60-180 °/s (Dvir, 2004; Raj, et al., 2010; Zemach, et al., 2009). Dva eksperimentalna ispitivanja izvedena su što je jače moguće pri svakoj V, a ispitivanje sa najvećom maksimalnom P iskorišćeno je za dalju analizu. Svi ispitanici bili su u stanju da dostignu unapred postavljene ugaone V, uključujući i one najviše. Odmor je trajao 30 sekundi između pokušaja i 60 sekundi između 2 uzastopne V. Vizuelna povratna informacija krivulje trenutno generisane F u realnom vremenu bila je dostupna tokom procene P (Andersen & Aagaard, 2006; Knezevic, et al., 2014). Budući da ispitanici nisu imali prethodnog iskustva sa izokinetičkim ispitivanjem, sproveden je kratki postupak familijarizacije pre prikupljanja podataka koji se sastojao od 5 pokušaja izvršenih različitim brzinama izvođenja.

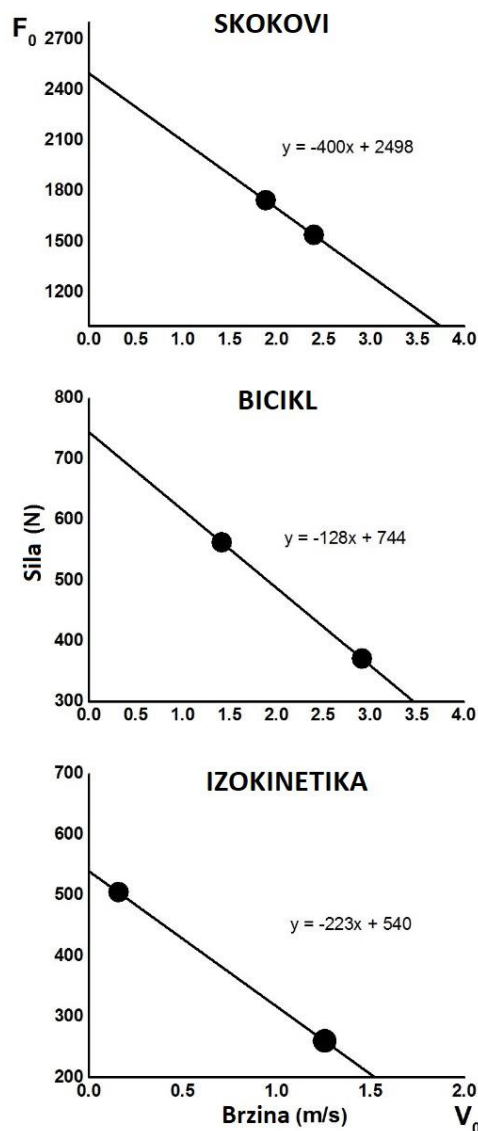
5.2.3. Prikupljanje i statistička analiza podataka

Krive trenutno generisane F zabeležene su na 500 Hz i propuštene kroz niskopropusni filter (5Hz) korišćenjem drugog reda (nulta faza kašnjenja) Butterworth filtera. Pored maksimalne i prosečne mišićne F koja se procenjuje pri svakoj ugaonoj V, zabeležili smo i maksimalnu izometrijsku F_{\max} u okviru istog intervala ugla kolena. Pošto je F direktno zabeležena, za procenu F-V relacije, odabrana ugaona V (u rad/s) transformisana je u linearnu V (m/s) množenjem sa dužinom pojedinačnih poluga. F-V relacije izračunate su upotrebom regresije putem podataka F i V dobijenih iz svih 5 ugaonih brzina (metoda linearne regresije), kao i izračunavanjem regresione linije iz podataka F i V dobijenih samo iz ugaonih brzina od 60 i 180 °/s (metoda *dve brzine*). F-V relacije obe metode su ekstrapolirane kako bi se odredili parametri maksimalne F (F_0 ; presecanje sile) i maksimaln V (V_0 ; presecanje brzine), kao i nagib relacije ($a = F_0/V_0$). Konačno, maksimalna P izračunata je iz proizvoda F_0 i V_0 ($P_0 = F_0 \times V_0/4$).

Nijedan od setova zabeleženih F nije odstupio od normalnosti (svi $P > 0,05$; Kolmogorov-Smirnov test). Studentov t-test za ponovljena merenja korišćen je za ispitivanje razlika između istih parametara dobijenih metodom linearne regresije i metode *dve brzine*, dok je odnos između njih testiran pomoću Pirsonovih korelacija (*Hipoteza 2.1*). Iste korelacije korišćene su za procenu odnosa između parametara metode dva opterećenja F_0 i direktno izmerene maksimalne izometrijske sile F_{\max} (*Hipoteza 2.2*). Standardne greške procene izračunate su za svaki pojedinačni skup podataka u odnosu na vrednosti predviđene odgovarajućim linearnim regresijama. Podaci su analizirani korišćenjem softvera SPSS 20.0 (SPSS Inc. Čikago, IL, SAD). Alfa je postavljen na 0,05.

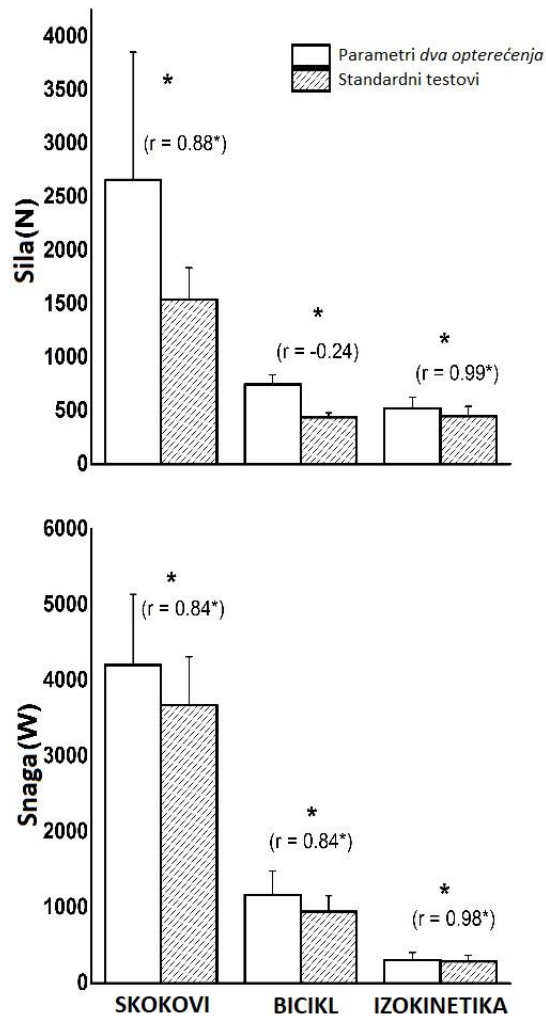
6. Rezultati

Rezultati su pokazali da je F-V relacija dobijena na sva tri testa za procenu mehaničkih kapaciteta mišića nogu približno linearna (za maksimalne vrednosti varijabli F i V: r (SKOKOVI) = 0,964, r (BICIKL) = 0,910, r (IZOKINETIKA) = 0,977; za prosečne vrednosti varijabli F i V: r (SKOKOVI) = 0,957, r (BICIKL) = 0,994, r (IZOKINETIKA) = 0,964).



Slika 10. Model dva opterećenja predstavljen za tri različita funkcionalna testa mišića nogu, prosečno po ispitanicima. Parametri dva opterećenja dobijeni su od 0 kg i 24 kg za SKOKOVE, 2 kg i 10 kg za test BICIKL, i 60 i 180 °/s za IZOKINETIKU.

Slika 10 prikazuje model *dva opterećenja* za tri različita funkcionalna testa mišića nogu. F_0 i V_0 bili su najviši u SKOKOVIMA, a najniži u IZOKINETICI. Strmina nagiba koja predstavlja odnos F i V , ponovo je bila najveća u SKOKOVIMA, dok je bila najniža u testu BICIKL.



Slika 11. Prosečne vrednosti i standardne devijacije između ispitanika kada su u pitanju vrednosti sile (gornja slika) i snage (donja slika) dobijene iz modela dva opterećenja (neispunjenje figure) i standardnih testova (ispunjene figure) za tri različita testiranja za procenu F - V relacije nogu. Koeficijenti korelacije prikazani su u zagradama iznad linije (* $p < 0.05$ – značaj korelacije). Obeležene su značajne razlike između parametara dva opterećenja i maksimalnih vrednosti dobijenih standardnim testovima (* $p < 0,05$).

Na slici 11 prikazane su razlike između veličina istih varijabli posmatranih iz modela *dva opterećenja* i standardnih postupaka testiranja. Rezultati na slici otkrili su značajne razlike ($p < 0.05$; t-test za zavisne

uzorke) za sva tri testa. Najveće vrednosti sile i snage procenjene su u testu SKOKOVI, dok su najniže u IZOKINETICI. Treba imati na umu da su sve vrednosti modela *dva opterećenja* bile više od vrednosti iz standardnih testova. Slika 11 takođe pokazuje korelacije između istih varijabli iz različitih testova. Svi koeficijenti korelacije bili su visoki ($r \geq 0,84$; $p < 0,01$), osim za F pri testu BICIKL, gde je bio nizak i zanemarljiv.

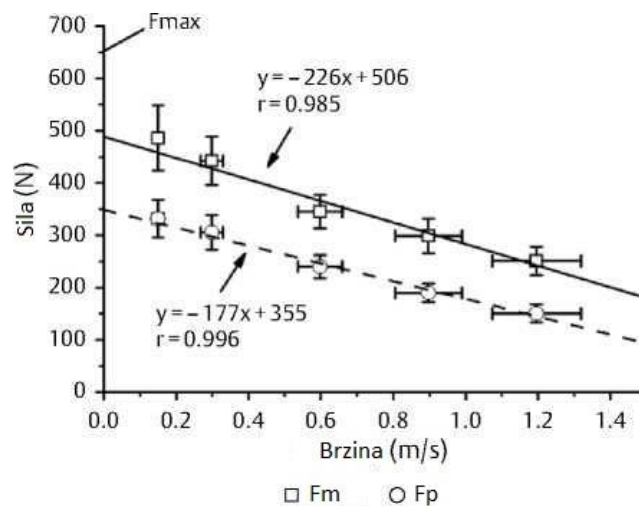
Tabela 1. Pirsonovi koeficijenti korelacije posmatrani između istih parametara *dva opterećenja* i maksimalnih vrednosti dobijenih standardnim testovima između tri različita testiranja nogu.

		<i>Dva opterećenja</i>	Standardni testovi
F	SKOKOVI-BICIKL	0.49 (-0.12 - 0.83)	0.55 (-0.04 - 0.85)
	SKOKOVI-IZOKINETIKA	0.23 (-0.39 - 0.71)	0.49 (-0.12 - 0.83)
	BICIKL-IZOKINETIKA	-0.47 (-0.14 - 0.82)	0.57 (-0.01 - 0.86)
P	SKOKOVI-BICIKL	0.49 (-0.12 - 0.83)	0.66* (0.14 - 0.89)
	SKOKOVI-IZOKINETIKA	0.72** (0.25 - 0.92)	0.78** (0.37 - 0.94)
	BICIKL-IZOKINETIKA	0.66* (0.14 - 0.89)	0.77** (0.35 - 0.93)

U zagradama su prikazani 95% CI za odgovarajući koeficijent korelacije (* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$ - značaj korelacija).

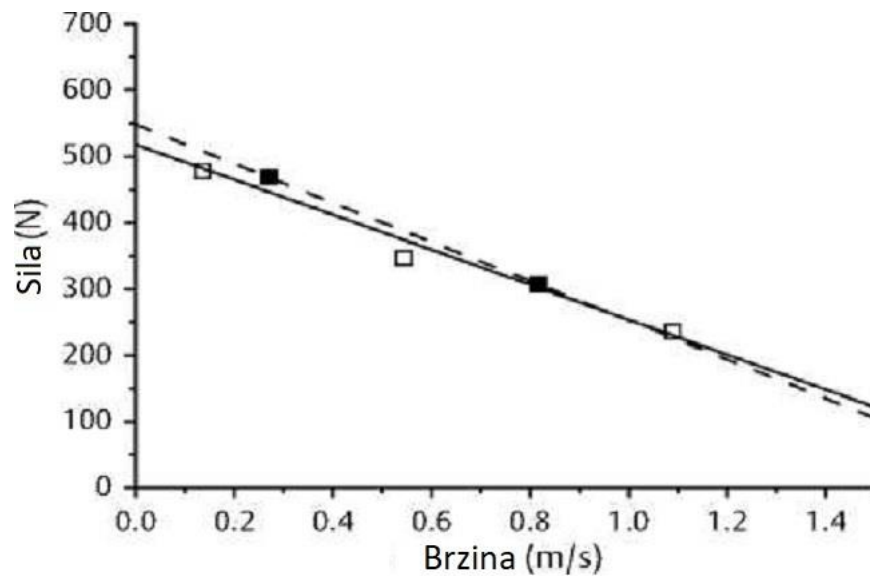
Tabela 1 prikazuje generalizaciju parametara *dva opterećenja* i maksimalnih vrednosti iz standardnih testova kroz korelaciju istih varijabli dobijenih iz tri različita testa. Uopšteno govoreći, koeficijenti korelacije kretali su se od umerenih do jakih. Konkretno, korelacije su bile više između P nego između F varijabli i nešto više među standardnim testovima u odnosu na parametre *dva opterećenja*.

Slika 12 prikazuje i maksimalne i prosečne vrednosti F i V kod ispitanika. Iako su ugaone brzine fiksne, nešto drugačije pojedinačne poluge rezultiraju u određenom odstupanju izračunate brzine. Međutim, od najveće važnosti je to da, iako su podaci dobijeni iz širokog raspona brzina, metoda linearne regresije otkrila je izuzetno jake veze kod oba skupa promenljivih.



Slika 12. Prosečne vrednosti iz maksimalnih varijabli (kvadratići; puna linija) i prosečne vrednosti iz srednjih vrednosti (krugovi; isprekidana linija) F i V ekstenzora kolena koje su služile za procenu F - V relacije (linije greške označavaju SD). F_{max} prikazuje zabeleženu maksimalnu izometrijsku silu koja nije uključena u regresijsko modeliranje.

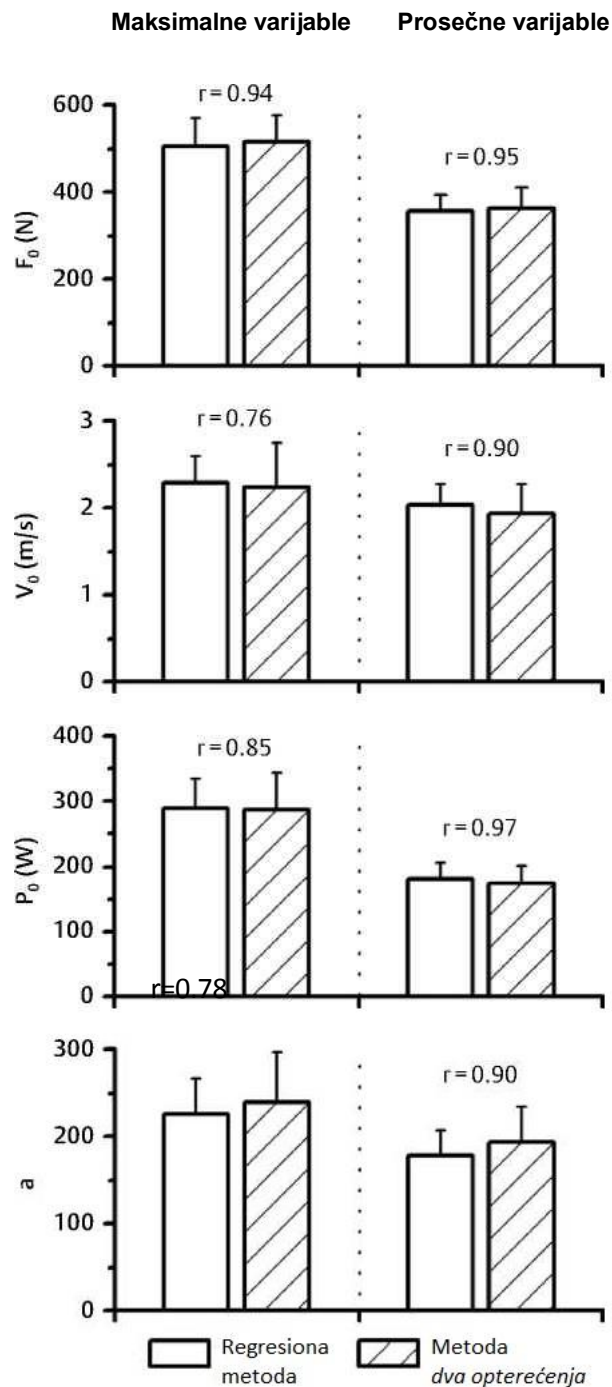
Dok Slika 12 prikazuje F - V relacije dobijene iz prosečnih vrednosti kod ispitanika, iste relacije dobijene su i iz svakog pojedinačnog skupa podataka (videti punu liniju prikazanu na Slici 12 kao primer) korišćenjem metode linearne regresije. Srednje vrednosti koeficijenata korelacije bile su 0,978 (raspon 0.960-0.990) i 0.991 (0.982-0.998) za maksimalne i prosečne vrednosti varijabli F i V , po vrsti, što sugeriše snažne pojedinačne odnose. Isti zaključak može se izvesti iz relativno niskih pojedinačnih standardnih grešaka procene. Konkretno 23,1N (13,1-31,8N) otkrivena je za maksimalnu silu i 11,2N (5,1 - 16,6N) za prosečnu silu (podaci su predstavljeni kao srednja vrednost i opseg). Međutim, F - V relacija takođe je dobijena primenom metode *dve brzine*. Jednostavno rečeno, relacija je dobijena povlačenjem linije kroz podatke dobijene samo od vrednosti ugaone brzine 60 i 180 °/s (videti isprekidanu liniju na Slici 13). Ovde je od najveće važnosti to da se linije dobijene primenom linearne regresije i modela *dve brzine* gotovo preklapaju.



Slika 13. Reprezentativni skup pojedinačnih podataka koji ilustruje visok nivo podudarnosti između rezultata metode linearne regresije (puna linija; uključeno je svih 5 podataka) i metode sa dve brzine (isprekidana linija; uključeni su samo podaci označeni ispunjenim kvadratićima).

Odnos pojedinačnih parametara F-V relacije dobijene pomoću metode pojedinačne linearne regresije i odgovarajuće metode *dve brzine* predstavljen je na Slici 13. Ovde je važno ne samo što nije bilo značajnih razlika u njihovim veličinama (svi $P > 0.05$; upareni t-testovi), već i u tome što su veličine bile snažno povezane ($0.76 < R < 0.97$; sve $P < 0.001$; Slika 14).

Konačno, treba imati na umu da zabeležena maksimalna izometrijska sila $F_{\max} = 647 \pm 114\text{N}$ (vrednost označena strelicom na Slici 12) ne samo da je znatno iznad F_0 posmatranog iz prosečne vrednosti, već i od F_0 posmatranog iz varijabli maksimalne F i V (videti Sliku 12 radi pojašnjenja). Međutim, korelacija F_{\max} sa F_0 dobijenom metodom linearne regresije i metodom *dve brzine* iznosila je 0.80 i 0.84 za relacije dobijene iz varijabli maksimalne F, i 0.80 i 0.68 za relacije dobijene iz varijabli srednje F (svi $P \leq 0.01$).



Slika 14. Parametri F - V relacije (prosečni podaci po ispitanicima; srednje vrednosti sa SD linijama grešaka) dobijeni iz maksimalnih i prosečnih varijabli F i V pomoću linearne regresije i metode dve brzine. Korelacije između rezultata pomenuta dva modela navedene su u zagradama (svi $p < 0,001$).

7. Diskusija

U ovoj studiji istraživali smo parametre dobijene iz modela *dva opterećenja*, pri različitim funkcionalnim testovima za mišiće nogu. U okviru prvog dela istraživanja, postavili smo tri cilja. Što se tiče prvog cilja, primenom linearnog regresionog modela, pokazali smo visoku linearnost F-V relacije pri sva tri motorička testa. U okviru drugog cilja, uporedili smo parametre sa direktno izmerenim mehaničkim kapacitetima mišića procenjenim kroz standardne postupke testiranja. Rezultati su otkrili da su parametri *dva opterećenja* bili veći od direktno izmerenih varijabli za sve testove. Takođe, korelacija između njih pokazala se jakom, osim sile prilikom testa BICIKL, koja je bila mala i zanemarljiva. Pored toga, korelacija modela *dva opterećenja* i standardnog regresionog modela bila je visoka. Naš treći cilj bio je da utvrdimo u kojoj meri se parametri modela *dva opterećenja* mogu generalizovati prilikom izvođenja različitih motoričkih testova mišića nogu. Rezultati su pokazali da su koeficijenti korelacije između istih parametara *dva opterećenja* različitih testova nogu varirali od umerenih do jakih. Konkretno, korelacije su bile više između P nego između F varijabli i nešto više među standardnim testovima u odnosu na parametre *dva opterećenja*.

Iako su nedavne studije sugerisale da se F-V relacije mogu koristiti u rutinskom testiranju (Jaric, 2015; Djuric et al., 2016; Sreckovic et al., 2015; Cuk et al., 2014), samo nekoliko njih je istraživalo model *dva opterećenja* (odn. *dve tačke*). Rezultati pomenutih studija pokazali su da parametri dobijeni iz modela *dva opterećenja* u velikoj meri odgovaraju parametrima dobijenim iz linearne F-V relacije (Zivkovic et al., 2017b). Pored toga, druge studije (Pérez-Castilla, García-Ramos, Feriche, Padijal, & Jaric, 2016b) su otkrile je da su se pouzdanost i validnost bile najviše kada je korišćen najudaljeniji par opterećenja (odn., 20% i 70% 1RM) među svim procenjenim metodama *dva opterećenja*. Na osnovu ove činjenice i prema našoj prethodnoj studiji (Zivkovic, et al., 2017a) primenili smo određene veličine opterećenja u trenutnoj studiji (opisano u metodama). Rezultati su pokazali da su parametri *dva opterećenja* bili viši od direktno izmerenih varijabli sile i snage za SKOKOVE, BICIKL i IZOKINETIKU. Štaviše, pokazalo se da je korelacija između njih jaka, osim između parametra F_0 i F_{max} prilikom testa BICIKL, gde je bila niska i zanemarljiva. Mogući razlog za ovakav rezultat mogao bi biti taj da je standardni postupak ispitivanja koji je uključivao opterećenje od 6 kg (što je odgovaralo 8,9% telesne mase ispitanika) predstavljao optimalno opterećenje za razvijanje maksimalne snage (Pazin, et al., 2011; Pérez-Castilla, et al., 2016b), a ne maksimalnu silu. Treba imati na umu da je varijabla brzine isključena, pošto se u IZOKINETICI može smatrati konstantnom. Takođe, potrebno je napomenuti da je udaljenost između primenjenih opterećenja bila najudaljenija u

IZOKINETICI, u poređenju sa druga dva ispitivanja (videti Sliku 10). To bi moglo objasniti najveću korelaciju između parametara *dva opterećenja* i direktno izmerenih varijabli F ($r = 0,99$) i P ($r = 0,98$) u ovom testiranju.

U rutinskom testiranju postoji pretpostavka da se rezultati dobijeni iz nekoliko mišića mogu delimično generalizovati na čitav mišićni sistem (Bohannon, 2008.; Pojednic i dr., 2012.). Naši rezultati u vezi sa korelacijom između standardnih testova nogu podržavaju ovakve zaključke. Naročito, P može biti generalizovana između različitih testova nogu, dok F može biti samo delimično generalizovana. Koliko nam je poznato, odnose između mišićnih kapaciteta procenjenih pomoću linearnih F-V parametara (F_0 , V_0 , P_0) dobijenih pomoću različitih testiranja, do sada su predstavili samo Živković i dr. (2016.). Autori su pokazali da generalizacija parametara dobijenih iz standardnog regresionog modela nije bila konzistentna za testove mišića ruku i nogu. Uopšteno, rezultati su pokazali da je korelacija bila veća između P nego između F varijabli. Zaključeno je da se posmatrani parametri mogu samo delimično generalizovati. Slični zaključci u vezi sa testovima mišića nogu dobijeni su u trenutnoj studiji, samo između parametara *dva opterećenja*. Konkretno, primećena je umerena korelacija između testova SKOKOVA i BICIKL za P_0 , dok je visok nivo podudaranja procenjen između IZOKINETIKE i druga dva testa. Ovakvi zaključci mogu se objasniti činjenicom da se IZOKINETIKA smatra rutinskim testom za procenu mišićnih kapaciteta. Slično F-u u standardnim testovima, parametar F_0 može biti samo delimično generalizovan.

Kao zaključak, ova studija je pokazala visok nivo podudarnosti između standardnih testova i novog modela *dva opterećenja*, uopšteno govoreći. Štaviše, rezultati su otkrili da se mehanički kapaciteti mišića nogu mogu delimično generalizovati između različitih funkcionalnih testova. Dodavanje samo još jednog opterećenja ili brzine standardnim funkcionalnim testovima mišićnih kapaciteta moglo bi razlikovati osnovne mehaničke kapacitete testiranih mišića. Prilično dosledan skup podataka uočen prilikom poređenja maksimalne P iz standardnih testova i P_0 iz modela *dva opterećenja*, ukazuje na to da bi se mogli iskoristiti u rutinskom testiranju. Model *dva opterećenja* mogao bi dalje poboljšati protokole testiranja, tako što će pružiti lakšu i bržu procenu maksimalnih F, V i P. Iako su korelacije za iste varijable dobijene iz različitih standardnih testova bile umerene do visoke, potrebno je dalje istraživanje. Dublje ispitivanje trebalo bi da obuhvati više različitih funkcionalnih testova, sprovedenih na različitim uzorcima ispitanika, za buduću procenu validnosti i osetljivosti parametara *dva opterećenja*. Štaviše, za upotrebu modela *dva opterećenja* u praksi,

metodologija bi prvo morala biti standardizovana, što uključuje izbor vrste i veličine opterećenja i brzine uključene u postupke ispitivanja.

Cilj drugog dela studije bio je evaluacija oblika i snage F-V relacije ekstenzora kolena ispitivane pomoću izokinetičke dinamometrije, kao i istraživanje istovremene validnosti jednostavne metode *dve brzine*, primenjene na istom skupu podataka. Uopšteno govoreći, prvo i prilično novo otkriće bilo je to da su posmatrane F-V relacije snažne i približno linearne. Shodno tome, otkrili smo i da se gotovo identične F-V relacije mogu uočiti uz pomoć metode *dve brzine*, zasnovane na ispitivanju ekstenzora kolena pri samo 2 standardne ugaone brzine od 60 i 180 °/s.

Trebalo bi napomenuti da su ispitivanja sprovedena u širokom rasponu brzina u poređenju sa većinom standardnih postupaka ispitivanja (Dvir, 2004; Paasuke, et al., 2001). Međutim, oba skupa promenljivih otkrila su snažne i linearne F-V relacije testiranih ekstenzora kolena. Iako vizuelni pregled relacija posmatranih iz podataka maksimalne F i V ukazuje na to da relacija može biti blago krivolinijska, treba imati na umu da je metoda linearne regresije primenjena bilo na prosečnim ili pojedinačnim F-V relacijama otkrila gotovo savršene relacije. Stoga, ova studija pruža dokaz da F-V relacija jednozglobnih funkcionalnih pokreta može biti približno linearna (Jaric, 2015; Vandewalle, et al., 1987a). Međutim, trebalo bi naglasiti da je direktno zabeležena maksimalna izometrijska F_{\max} bila znatno iznad F_0 kako je predviđeno primenjenim linearnim regresijama. Stoga su naša otkrića svakako u skladu sa onima koji prijavljuju relativno visok nivo F_{\max} -a, koji su motivisali autore da barem implicitno pretpostave da F-V relacija pojedinačnih mišića podvrgnuta standardnom izokinetičkom ispitivanju može biti generalno krivolinijska (Colliander & Tesch, 1989; Hortobágyi & Katch, 1990a; Valour, et al., 2003; Wickiewicz, et al., 1984). Ni naša studija niti studije drugih autora koje su otkrile isto zapažanje, ne pružaju podatke koji bi mogli pomoći u rasvetljavanju razmatrane pojave. Stoga, trenutno možemo samo nagađati da li uočena razlika između predviđene i zabeležene maksimalne izometrijske sile potiče iz oblika F-V relacije, ili razlika u nivou aktiviranja mišića, ili, pak, razlika u uglovima kolena koji pružaju maksimalnu izokinetičku i izometrijsku F, ili iz nečeg drugog.

Što se tiče četvrtog cilja studije, podaci su otkrili visok nivo podudaranja između parametara F-V relacije dobijenih iz metode linearne regresije i metode *dve brzine*. Takođe, treba imati na umu da su izabrane ugaone brzine od 60 i 180 °/s rutinski primenjene u većini standardnih postupaka izokinetičkog ispitivanja (Dvir, 2004; Raj, et al., 2010; Zemach, et al., 2009). Stoga, slično metodi *dva opterećenja* koja se primenjuje kod opterećenih funkcionalnih pokreta (Jaric, 2016), metoda *dve brzine* takođe može značajno pojednostaviti i skratiti procenu F-V relacije pojedinačnih mišića testiranih pomoću izokinetičke dinamometrije. Treba imati takođe na umu da se isti ishodi mogu primetiti kroz F-

V relaciju (odn. gde se F direktno meri, dok se prethodno odabrana ugaona V preračunava u linearnu V; metoda primenjena u ovom istraživanju) i pomoću relacije obrtnog momenta i ugaone V (obrotni momenat direktno se meri, a ugaona V je prethodno izabrana). Visok nivo slaganja između dve metode može se uporediti sa nivoom slaganja posmatranim iz 4 različita funkcionalna ispitivanja, kada je F-V relacija testiranih mišića posmatrana iz više uslova opterećenja pomoću linearnog regresionog modela i sa samo dva opterećenja, odn. metoda *dva opterećenja* (Zivkovic, et al., 2017a). Od posebnog interesa moglo bi biti to da nam metoda *dve brzine* takođe omogućava dobijanje parametara maksimalne sile (odn. F_0), brzine (V_0) i snage (P_0) ekstenzora kolena i potencijalno drugih mišića. Postojeći podaci već sugerišu visoku konkurentnu validnost F_0 u odnosu na direktno zabeleženu F_{max} . Na kraju, treba imati na umu i da nagib relacije ($a = F_0/V_0$) takođe prikazuje F-V profil koji bi trebalo optimizovati, kako bi se maksimizovao određeni učinak pokreta (Samozino, et al., 2014a; Samozino, Rejc, Di Prampero, Belli, & Morin, 2012a).

U okviru ove studije, namerno smo odabrali homogeni uzorak ispitanika i fokusirali se na samo jedan, ali najčešće testirani mišić. Prema tome, kada je u pitanju smer budućeg ispitivanja, od najveće važnosti moglo bi biti sprovođenje slične procene na drugim mišićima, rutinski testiranim pomoću izokinetičke dinamometrije, kao i na raznovrsnoj populaciji. Ukoliko se ostvari, snažna linearnost slična onoj koja je uočena u ovoj studiji, mogla bi omogućiti generalizaciju ovog zaključka na čitav muskulo-skeletni sistem i, posledično, uspostaviti metodu *dve brzine* kao standardni postupak za izokinetičko testiranje. Pored toga, pouzdanost i konkurentna validnost parametara F-V relacije (i, stoga, parametara metode *dve brzine*) zasigurno će zahtevati opširnije istraživanje. Potencijalna “bias” ustaljenog poretka brzina, koji se često koristi u rutinskim postupcima testiranja, takođe zaslužuje pažnju u budućim ispitivanjima. Konačno, rutinska upotreba metode *dve brzine* ubuduće, neizbežno bi zahtevala procenu metodoloških elemenata primenjenih postupaka poput standardizacije uglova zgloba (Osternig, James, & Bercades, 1999) i izbora određenih ugaonih brzina.

Možemo zaključiti da, kada je izometrijska F isključena, F-V relacija ekstenzora kolena testirana izokinetičkom dinamometrijom može biti jaka i linearna, čak i kada se ispituje u širokom rasponu ugaonih brzina kolena. Takav zaključak omogućava novi pristup detaljnoj proceni mehaničkih kapaciteta ekstenzora kolena (odn. metodu *dve brzine*) gde samo dva pokušaja izvedena različitim ugaonim brzinama mogu napraviti razliku između kapaciteta mišića za ispoljavanje F, V i P. Konačno, ukoliko buduće ispitivanje otkrije sličan oblik F-V relacije drugih mišića, metoda *dve brzine* mogla bi se razviti u standardnu metodu za detaljno izokinetičko ispitivanje mehaničkih svojstava mišića i u kliničke i za nekliničke svrhe.

8. Zaključci i značaj istraživanja

Cilj istraživanja bio je da se analiziraju mehanički kapaciteti mišića nogu kod tri različita testa, primenom linearne F-V relacije, kao i primenom novog modela *dva opterećenja*, odnosno *dve brzine*. Ispitivana je linearnost F-V relacije, konkurentna validnost parametara F_0 , V_0 i P_{\max} , kao i mogućnost generalizacije dobijenih parametara novog modela kod sva tri motorička testa. Na osnovu dobijenih rezultata u oba istraživanja, mogu se doneti sledeći zaključci:

- F-V relacije dobijene pri testovima: skok sa počučnjem, kratki Vingejt test na bicikl-ergometru i opružanje potkolenice na izokinetičkom dinamometru, su bile približno linearne (za maksimalne vrednosti F i V: r (SKOKOVI) = 0,964, r (BICIKL) = 0,910, r (IZOKINEITKA) = 0,977; za prosečne vrednosti F i V: r (SKOKOVI) = 0,957, r (BICIKL) = 0,994, r (IZOKINEITKA) = 0,964). Ovim je potvrđena hipoteza 1.1.
- Konkurentna validnost parametara F_0 , V_0 i P_{\max} modela *dva opterećenja* u odnosu na standardni regresioni model kod skoka sa počučnjem i kratkog Vingejt testa na bicikl-ergometru, bila je visoka ($r > 0.93$). Ovim je potvrđena hipoteza 1.2.
- Konkurentna validnost parametara F_0 i P_{\max} modela *dva opterećenja* u odnosu na varijable maksimalne sile i snage dobijene pri standardnim procedurama testiranja kod skoka sa počučnjem i kratkog Vingejt testa bila je visoka ($r \geq 0.84$), dok je za F_0 kod kratkog Vingejt testa na bicikl-ergometru bila niska ($r = -0.24$). Ovim je hipoteza 1.3 delimično potvrđena.
- Mogućnost generalizacije, odnosno povezanost između istih parametara modela *dva opterećenja* kod tri motorička testa bila je uglavnom niska za parametar F_0 ($r \geq 0.23$), odnosno umereno do visoka za parametar P_{\max} ($r \geq 0.49$). Ovim je hipoteza 1.4 delimično potvrđena.
- Konkurentna validnost parametara F_0 , V_0 i P_{\max} modela *dve brzine* u odnosu na standardni regresioni model kod opružanja potkolenice na izokinetičkom dinamometru, bila je umerena do visoka (za maksimalne vrednosti $r \geq 0.76$, za usrednjene $r \geq 0.90$). Ovim je hipoteza 2.1 delimično potvrđena.
- Konkurentna validnost parametara F_0 i P_{\max} modela *dve brzine* u odnosu na varijable maksimalne sile i snage dobijene pri standardnim procedurama testiranja kod opružanja

potkolenice na izokinetičkom dinamometru, bila je visoka ($r \geq 0.98$). Ovim je hipoteza 2.2 potvrđena.

Potencijalni značaj istraživanja u skladu je sa postavljenim ciljevima. Naime, dobijeni rezultati potvrdili su nalaze dosadašnjih istraživanja o približno linearnom obliku F-V relacije kod različitih motoričkih višezglobnih zadataka (osim kada je reč o izokinetičkom testiranju, gde je jednozglobni pokret).

Dobijeni rezultati potvrđuju nalaze prethodnih istraživanja, koji govore u prilog upotrebi modela *dva opterećenja* kao metode koja je daleko jednostavnija, zahteva manje vremena, a daje jednako kvalitetne informacije kao klasičan regresioni model približno linearne mišićne F-V relacije. Doprinos standardizaciji novog modela postignut je utvrđivanjem validnosti parametara relacije novog modela.

Rezultati ovog istraživanja su pokazali da je mogućnost generalizacije sa jedne mišićne grupe na ostale umereno do visoka u zavisnosti od fizičke sposobnosti koja se posmatra. Naime, pokazano je da je mogućnost generalizacije mišićne snage nešto veća u odnosu na mogućnost generalizacije mišićne sile. Ovaj naučni doprinos otvara mogućnost pojednostavljenja testiranja mehaničkih kapaciteta mišića. To bi u praksi značilo da se u budućnosti sportisti, rekreativci ili rekonvalescenti mogu testirati jednim univerzalnim testom kako bi se procenilo opšte stanje njihovih mehaničkih osobina mišića.

Poseban značaj istraživanja ogleda se u razvijanju novog modela *dve brzine* u izokinetičkim uslovima. Nalaz da je F-V relacija u izokinetičkim testiranjima približno linearna, omogućio je razvoj novog modela, pri kom ispitanici izvode samo dva pokušaja (pri dve različite ugaone brzine) kako bi se procenile njihove osnovne mehaničke osobine mišića kao što su maksimalna sila, brzina i snaga. Kao takav, novi test ima veliki potencijal da postane standardna metoda u izokinetičkim testiranjima mehaničkih osobina mišića u kliničkim i nekliničkim uslovima.

9. Literatura

- Aagaard, P., Simonsen, E. B., Magnusson, S. P., Larsson, B., & Dyhre-Poulsen, P. (1998). A new concept for isokinetic hamstring: Quadriceps muscle strength ratio. *The American journal of sports medicine*, 26(2), 231-237.
- Abbott, B., & Wilkie, D. (1953). The relation between velocity of shortening and the tension-length curve of skeletal muscle. *The Journal of Physiology*, 120(1-2), 214.
- Abernethy, P., Wilson, G., & Logan, P. (1995). Strength and power assessment. *Sports medicine*, 19(6), 401-417.
- Agre, J., Magness, J., Hull, S., Wright, K., Baxter, T., Patterson, R., & Stradel, L. (1987). Strength testing with a portable dynamometer: Reliability for upper and lower extremities. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 68(7), 454-457.
- 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.
- Andersen, L. L., & Aagaard, P. (2006). Influence of maximal muscle strength and intrinsic muscle contractile properties on contractile rate of force development. *European journal of applied physiology*, 96(1), 46-52.
- Askew, G. N., & Marsh, R. L. (1998). Optimal shortening velocity (v/v_{max}) of skeletal muscle during cyclical contractions: Length-force effects and velocity-dependent activation and deactivation. *Journal of Experimental Biology*, 201(10), 1527-1540.
- Baechle, T. R., & Earle, R. W. (2008). *Essentials of strength training and conditioning - 3rd edition*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Bemben, M. G., Massey, B. H., Boileau, R. A., & Misner, J. E. (1992). Reliability of isometric force-time curve parameters for men aged 20 to 79 years. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 6(3), 158-164.
- Bobbert, M. F. (2012). Why is the force-velocity relationship in leg press tasks quasi-linear rather than hyperbolic? *J Appl Physiol* (1985), 112(12), 1975-1983.
- Bohannon, R. W. (2008a). Hand-grip dynamometry predicts future outcomes in aging adults. *Journal of geriatric physical therapy*, 31(1), 3-10.
- Bohannon, R. W. (2008b). Hand- grip dynamometry predicts future outcomes in aging adults. *Journal of geriatric physical therapy*, 31(1), 3-10.
- 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.

- Brown, L. E., Whitehurst, M., Gilbert, R., & Buchalter, D. N. (1995). The effect of velocity and gender on load range during knee extension and flexion exercise on an isokinetic device. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 21(2), 107-112.
- Buchheit, M., Spencer, M., & Ahmaidi, S. (2010). Reliability, usefulness, and validity of a repeated sprint and jump ability test. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5(1), 3-17.
- Cavagna, G. A., Dusman, B., & Margaria, R. (1968). Positive work done by a previously stretched muscle. *Journal of applied physiology*, 24(1), 21-32.
- Colliander, E. B., & Tesch, P. A. (1989). Bilateral eccentric and concentric torque of quadriceps and hamstring muscles in females and males. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 59(3), 227-232.
- Cometti, G., Maffiuletti, N., Pousson, M., Chatard, J.-C., & Maffulli, N. (2001). Isokinetic strength and anaerobic power of elite, subelite and amateur french soccer players. *International Journal of Sports Medicine*, 22(01), 45-51.
- Craig, N., Pyke, F., & Norton, K. (1989). Specificity of test duration when assessing the anaerobic lactacid capacity of high-performance track cyclists. *International journal of sports medicine*, 10(04), 237-242.
- 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.
- Davies, C., & Rennie, R. (1968). Human power output. *Nature*, 217(5130), 770.
- De Haan, A. (1998). The influence of stimulation frequency on force-velocity characteristics of insitu rat medial gastrocnemius muscle. *Experimental physiology*, 83, 77-84.
- De Koning, F., Binkhorst, R., Vos, J., & Van't Hof, M. (1985). The force-velocity relationship of arm flexion in untrained males and females and arm-trained athletes. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 54(1), 89-94.

- 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.
- Dobrijevic, S., Ilic, V., Djuric, S., & Jaric, S. (2017). Force-velocity relationship of leg muscles assessed with motorized treadmill tests: Two-velocity method. *Gait & Posture*, 56, 60-64.
- Dotan, R., & Inbar, O. (1977). 30-sec all-out ergometric test-its reliability and validity for anaerobic capacity. Paper presented at the Israel Journal of Medical Sciences.
- 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.
- Dvir, Z. (2004). *Isokinetics: Muscle testing, interpretation, and clinical applications*: Elsevier Health Sciences.
- Feeney, D., Stanhope, S., Kaminski, T., Machi, A., & Jaric, S. (2016). Loaded vertical jumping: Force-velocity relationship, work, and power. *Journal of applied biomechanics*, 32(2).
- Fenn, W., & Marsh, B. (1935). Muscular force at different speeds of shortening. *The Journal of Physiology*, 85(3), 277-297.
- 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).
- García-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.
- García Ramos, A., Torrejón, A., Morales Artacho, A. J., Pérez Castilla, A., & Jaric, S. (2017). Optimal resistive forces for maximizing the reliability of leg muscles capacities tested on a cycle ergometer. *Journal of applied biomechanics*, 1-19.
- 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.
- Grbic, V., Djuric, S., Knezevic, O. M., Mirkov, D. M., Nedeljkovic, A., & Jaric, S. (2017). A novel two-velocity method for elaborate isokinetic testing of knee extensors. *International Journal of Sports Medicine*, 38(10), 741-746.
- Green, S. (1995). Measurement of anaerobic work capacities in humans. *Sports Medicine*, 19(1), 32-42.
- Häkkinen, K., Alen, M., & Komi, P. (1985). Changes in isometric force- and relaxation- time, electromyographic and muscle fibre characteristics of human skeletal muscle during strength training and detraining. *Acta Physiologica*, 125(4), 573-585.
- Häkkinen, K., Komi, P., & Alen, M. (1985). Effect of explosive type strength training on isometric force- and relaxation- time, electromyographic and muscle fibre characteristics of leg extensor muscles. *Acta Physiologica Scandinavica*, 125(4), 587-600.

- Harries, U., & Bassey, E. J. (1990). Torque-velocity relationships for the knee extensors in women in their 3rd and 7th decades. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 60(3), 187-190.
- Harrison, A. J., Jensen, R. L., & Donoghue, O. (2005). A comparison of laser and video techniques for determining displacement and velocity during running. *Measurement in physical education and exercise science*, 9(4), 219-231.
- Harriss, D., & Atkinson, G. (2015). Ethical standards in sport and exercise science research: 2016 update. *International Journal of Sports Medicine*, 36(14), 1121-1124.
- Haugen, T., & Buchheit, M. (2016). Sprint running performance monitoring: Methodological and practical considerations. *Sports Medicine*, 46(5), 641-656.
- Hawkins, D., & Smeulders, M. (1998). Relationship between knee joint torque, velocity, and muscle activation: Considerations for musculoskeletal modeling. *Journal of Applied Biomechanics*, 14, 141-157.
- 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, 253-269.
- Heckman, C., Weytjens, J., & Loeb, G. (1992). Effect of velocity and mechanical history on the forces of motor units in the cat medial gastrocnemius muscle. *Journal of neurophysiology*, 68(5), 1503-1515.
- Hill, A. V. (1938a). The heat of shortening and the dynamic constants of muscle. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 126(843), 136-195.
- Hill, A. V. (1938b). The heat of shortening and the dynamic constants of muscle. *Proceedings of the Royal Society of London. Series 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.
- Hortobágyi, T., & Katch, F. I. (1990a). Eccentric and concentric torque-velocity relationships during arm flexion and extension. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 60(5), 395-401.
- Hortobágyi, T., & Katch, F. I. (1990b). Reliability of muscle mechanical characteristics for isokinetic and isotonic squat and bench press exercise using a multifunction computerized dynamometer. *Research quarterly for exercise and sport*, 61(2), 191-195.
- James, C., Sacco, P., Hurley, M., & Jones, D. (1994). An evaluation of different protocols for measuring the force-velocity relationship of the human quadriceps muscles. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 68(1), 41-47.
- Jaric, S. (2015). Force-velocity relationship of muscles performing multi-joint maximum performance tasks. *International Journal of Sports Medicine*, 36(09), 699-704.
- Jaric, S. (2016). Two-load method for distinguishing between muscle force, velocity, and power-producing capacities. *Sports Medicine*, 46(11), 1585-1589.

- Jarić, S., & Kukolj, M. (1996). Sila (jačina) i snaga u pokretima čoveka. *Fizička 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(03), 192-197.
- Kaneko, M., Fuchimoto, T., Toji, H., & Suei, K. (1983). Training effect of different loads on the force-velocity relationship and mechanical power output in human muscle. *Scand J Sports Sci*, 5(2), 50-55.
- Katz, B. (1939). The relation between force and speed in muscular contraction. *The Journal of Physiology*, 96(1), 45.
- Knezevic, O. M., Mirkov, D. M., Kadija, M., Milovanovic, D., & Jaric, S. (2014). Evaluation of isokinetic and isometric strength measures for monitoring muscle function recovery after anterior cruciate ligament reconstruction. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(6), 1722-1731.
- Kojima, T. (1991). Force-velocity relationship of human elbow flexors in voluntary isotonic contraction under heavy loads. *International journal of sports medicine*, 12(02), 208-213.
- Komi, P. (1973). Measurement of the force-velocity relationship in human muscle under concentric and eccentric contractions *Biomechanics iii* (pp. 224-229): Karger Publishers.
- Kukolj, M. (2006). *Antropomotorika*: Fakultet Sporta i Fizičkog Vaspitanja, Univerziteta u Beogradu.
- Lees, A., Vanrenterghem, J., & De Clercq, D. (2004). Understanding how an arm swing enhances performance in the vertical jump. *Journal of biomechanics*, 37(12), 1929-1940.
- 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.
- Linthorne, N. P. (2001). Analysis of standing vertical jumps using a force platform. *American Journal of Physics*, 69(11), 1198-1204.
- 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.
- Markovic, S., Mirkov, D. M., Knezevic, O. M., & Jaric, S. (2013). Jump training with different loads: Effects on jumping performance and power output. *European journal of applied physiology*, 113(10), 2511-2521.
- 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.
- McMahon, T. A. (1984). *Muscles, reflexes, and locomotion*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- 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.

- Nikolaidis, P. (2012a). 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.
- Nikolaidis, P. (2012b). Age-and sex-related differences in force-velocity characteristics of upper and lower limbs of competitive adolescent swimmers. *Journal of human kinetics*, 32(2012), 87-95.
- Offenbacher, E. L. (1970). Physics and the vertical jump. *American Journal of Physics*, 38(7), 829-836.
- Osternig, L. R., James, C. R., & Bercades, D. (1999). Effects of movement speed and joint position on knee flexor torque in healthy and post-surgical subjects. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 80(2), 100-106.
- Paasuke, M., Ereline, J., & Gapeyeva, H. (2001). Knee extension strength and vertical jumping performance in nordic combined athletes. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 41(3), 354.
- Paul, D. J., & Nassis, G. P. (2015). Testing strength and power in soccer players: The application of conventional and traditional methods of assessment. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(6), 1748-1758.
- 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.
- Pérez-Castilla, A., García-Ramos, A., Feriche, B., Padial, P., & Jaric, S. (2016a). Reliability and validity of the “two-load method” to determine leg extensors maximal mechanical capacities. *Current research in motor control V. Bridging motor control and biomechanics. Stomka, Kajetan J. Juras, G, ed.. Katowice*, 219-225.
- Pérez-Castilla, A., García-Ramos, A., Feriche, B., Padial, P., & Jaric, S. (2016b). Reliability and validity of the “two-load method” to determine leg extensors maximal mechanical capacities. *Current Research in Motor Control V. Bridging Motor Control and Biomechanics. Katowice, Poland: BiuroTEXT*, 219-225.
- Pérez-Castilla, A., Jaric, S., Feriche, B., Padial, P., & García-Ramos, A. (2018). Evaluation of muscle mechanical capacities through the two-load method: Optimization of the load selection. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 32(5), 1245-1253.
- Perrine, J. J., & Edgerton, V. R. (1978). Muscle force-velocity and power-velocity relationships under isokinetic loading. *Medicine and science in sports*, 10(3), 159-166.
- 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.
- 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.
- Raj, I. S., Bird, S. R., & Shield, A. J. (2010). Aging and the force–velocity relationship of muscles. *Experimental gerontology*, 45(2), 81-90.

- Ravier, G., Grappe, F., & Rouillon, J. (2004a). Application of force-velocity cycle ergometer test and vertical jump tests in the functional assessment of karate competitor. *J Sports Med Phys Fitness*, 44(4), 349-355.
- Ravier, G., Grappe, F., & Rouillon, J. (2004b). Application of force-velocity cycle ergometer test and vertical jump tests in the functional assessment of karate competitor. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 44(4), 349.
- Sahaly, R., Vandewalle, H., Driss, T., & Monod, H. (2001). Maximal voluntary force and rate of force development in humans—importance of instruction. *European Journal of Applied Physiology*, 85(3-4), 345-350.
- Samozino, P., Edouard, P., Sangnier, S., Brughelli, M., Gimenez, P., & Morin, J.-B. (2014a). Force-velocity profile: Imbalance determination and effect on lower limb ballistic performance. *International Journal of Sports Medicine*, 35(06), 505-510.
- Samozino, P., Rejc, E., Di Prampero, P. E., Belli, A., & Morin, J.-B. (2012a). Optimal force–velocity profile in ballistic movements—altius. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 44(2), 313-322.
- Samozino, P., Rejc, E., Di Prampero, P. E., Belli, A., & Morin, J.-B. (2012b). Optimal force–velocity profile in ballistic movements. Altius: Citius or fortius? *Medicine and science in sports and exercise*, 44(2), 313-322.
- Samozino, P., Rejc, E., di Prampero, P. E., Belli, A., & Morin, J.-B. (2014b). Force–velocity properties’ contribution to bilateral deficit during ballistic push-off. *Med Sci Sports Exerc*, 46(1), 107-114.
- Sanford, J., Moreland, J., Swanson, L. R., Stratford, P. W., & Gowland, C. (1993). Reliability of the fugl-meyer assessment for testing motor performance in patients following stroke. *Physical therapy*, 73(7), 447-454.
- Schutz, Y., & Herren, R. (2000). Assessment of speed of human locomotion using a differential satellite global positioning system. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(3), 642-646.
- Seo, D.-i., 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 & medicine*, 11(2), 221.
- 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, 215-215.
- 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, N. A., Cotter, J. D., Stanley, S. N., & Marshall, R. N. (1991). Functional torque-velocity and power-velocity characteristics of elite athletes. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, *62*(2), 116-121.
- Townshend, A. D., Worringham, C. J., & Stewart, I. B. (2008). Assessment of speed and position during human locomotion using nondifferential gps. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *40*(1), 124-132.
- Valour, D., Ochala, J., Ballay, Y., & Pousson, M. (2003). The influence of ageing on the force–velocity–power characteristics of human elbow flexor muscles. *Experimental gerontology*, *38*(4), 387-395.
- 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.
- Van Roie, E., Bautmans, I., Boonen, S., Coudyzer, W., Kennis, E., & Delecluse, C. (2013). Impact of external resistance and maximal effort on force-velocity characteristics of the knee extensors during strengthening exercise: A randomized controlled experiment. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *27*(4), 1118-1127.
- Van Roie, E., Verschueren, S. M., Boonen, S., Bogaerts, A., Kennis, E., Coudyzer, W., & Delecluse, C. (2011). Force-velocity characteristics of the knee extensors: An indication of the risk for physical frailty in elderly women. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, *92*(11), 1827-1832.
- Vandewalle, H., Péérès, G., & Monod, H. (1987a). Standard anaerobic exercise tests. *Sports Medicine*, *4*(4), 268-289.
- Vandewalle, H., Peres, G., Heller, J., Panel, J., & Monod, H. (1987b). Force-velocity relationship and maximal power on a cycle ergometer. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, *56*(6), 650-656.
- Wickiewicz, T. L., Roy, R. R., Powell, P. L., Perrine, J. J., & Edgerton, V. R. (1984). Muscle architecture and force-velocity relationships in humans. *Journal of Applied Physiology*, *57*(2), 435-443.
- Wilkie, D. (1949). The relation between force and velocity in human muscle. *The Journal of physiology*, *110*(3-4), 249-280.
- Wilson, G. J., & Murphy, A. J. (1996). The use of isometric tests of muscular function in athletic assessment. *Sports Medicine*, *22*(1), 19-37.
- Yamauchi, J., & Ishii, N. (2007). Relations between force-velocity characteristics of the knee-hip extension movement and vertical jump performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *21*(3), 703.
- 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.
- Zaciorski, V. (1969). Fizičke sposobnosti sportiste. *Jugoslovenski zavod za fizičku kulturu i Fakultet za fizičko vaspitanje, Beograd*.
- Zeevi, D. (1995). Muscle testing interpretation and clinical applications. *Churchill Livingstone NYUSA*, 52-53.
- Zemach, L., Almoznino, S., Barak, Y., & Dvir, Z. (2009). Quadriceps insufficiency in patients with knee compromise: How many velocities should an isokinetic test protocol consist of? *Isokinetics and Exercise Science*, 17(3), 129-133.
- Zivkovic, M. Z., Djuric, S., Cuk, I., Suzovic, D., & Jaric, S. (2017a). Muscle force-velocity relationships observed in four different functional tests. *Journal of human kinetics*, 56(1), 39-49.
- Zivkovic, M. Z., Djuric, S., Cuk, I., Suzovic, D., & Jaric, S. (2017b). 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.

Biografija

Kandidat Vladimir Grbić, rođen je u Zrenjaninu 14.12.1970 u 17h. Osnovnu školu završio je u Kleku, a srednju školu u Novom Sadu biološki smer. Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja upisao je 2005, diplomirao 2014 i iste godine upisao doktorske studije.

Pored domaćih klubova - Vojvodine iz Novog Sada i Mladosti iz Zagreba, gde je osvojio dve titule prvaka i 3. mesto u Kupu šampiona odlazi u Italiju gde počinje dugu klupsku karijeru. Padova, Kuneo, Rim i Latina, Sakai, Solun, Moskva, Suzano i Istanbul - Klubovi u kojima je igrao i osvojio prvenstva i kupove tih država, kao i Superkup Evrope, 3 Kupa CEV i Kup Kupova. Sa reprezentacijom osvojio Olimpijsko i evropsko zlato, evropsko i svetsko srebro, 2 evropske bronzne, srebro i 2 bronzne u Svetskoj ligi i bronzu na svetskom kupu. Proglašen 2 puta za najbolju šestorku sveta i najboljim odbojkašem Evrope 2000.

U izboru Olimpijskog Komiteta 1996 i 2000 najbolji sportista godine, a JSL Sport proglasio ga je za najboljeg sportistu 1999 i 2000 godine. U najboljoj postavi u izboru FIVB (Svetska odbojkaška federacija) 1996 i 2000. Osvajač je najboljeg poena u istoriji odbojke ostvarenog tokom finala OI u Sidneju 2000. Nosilac je ordena Nemanje II reda - najvećeg odlikovanja naše države u civilstvu i ambasador dobre volje. Trenutno je globalni ambasador odbojke za specijalnu olimpijadu – osobe sa intelektualnim disabilitetom i član Sportske komisije FIVB (Svetska odbojkaška federacija) i asistent na fakultetu sporta i fizičkog vaspitanja u Beogradu. Pored ovoga još je i pokretač projekta revitalizacije autohtonog zaštićenog drinskog lososa i same reke Drine. Otac je tri ćerke Ine, Une i Mile, sina Lazara i suprug naše najuspešnije karatistkinje Sare Grbić. Potiče iz “odbojkaške” porodice. Njegov otac Miloš je prvi nosilac evropske medalje za našu odbojku (1975), kao i brat Nikola, sa kojim je zajedno osvojio sve reprezentativne i neke klupske trofeje. Njih trojica zajedno igrali su 50 godina za A selekciju Jugoslavije i Srbije.

Od 2011. godine u Kući slavnih, a u Aleji velikana od 2013. Takođe, 2013. godine dobio je nagradu za životno delo od CEV-a (evropska odbojkaška konfederacija) kao i nagradu srbski vitez.

Prilog 1

FORMULAR ZA SAGLASNOST SA EKSPERIMENTALNOM PROCEDUROM Istraživački projekat: Mišićni i neuralni faktori humane lokomocije

Istraživači: Red. prof. dr Slobodan Jarić
Van. prof. dr Goran Nešić
Doktorand Vladimir Grbić
Doktorand Saša Đurić
Doktorand Nikola Majstorović

IME I PREZIME ISPITANIKA: _____

1. NAMENA I OPIS ISTRAŽIVANJA

Vi ste zamoljeni da učestvujete u istraživačkom projektu čiji je cilj utvrđivanje mišićnih i neuralnih faktora humane lokomocije. Važan deo tog projekta tiče se utvrđivanja adaptivnih mehanizama na različite vrste testova kao što su skokovi i vožnja bicikla i opružanje potkolenice na izokinetičkom dinamometru. Upravo to će biti glavni predmet ovog istraživanja.

Vi ćete biti jedan od najmanje 20 zdravih učesnika starih između 18-30 godina. Mi ćemo meriti izlaz sile, brzine i snage kod skokova i kratkog Witngate sprint testa na bicikli, kao i na izokinetičkom dinamometru pri 5 različitih nivoa opterećenja. Pratićemo relaciju između sile i brzine kod ovih testova i uporediti ih sa rezultatima dobijenih direktnim merenjem na mišićima ekstenzorima nogu. Pre testiranja, uradiće se procena telesnog sastava.

Vaše učešće u ovom projektu obuhvata dva odvojena dolaska u trajanju od sat vremena:

1. Prva sesija: Meri se telesni sastav i upoznaje sa procenom sile, brzine i snage na testovima baziranih na maksimalnim skokovima, vožnji bicikle, izokinetičkom dinamometru.

2. Druga sesija: Testiranje skokova

3. Treća sesija: Testiranje na bicikl ergometru

4. Četvrta sesija: Testiranje na izokinetičkom dinamometru

2. USLOVI UČEŠĆA U EKSPERIMENTU

Svi dobijeni rezultati i informacije ove studije biće tretirane 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 primićete prvu pomoć. Ako Vam bude potrebna dodatna medicinska pomoć, vi ćete biti za nju odgovorni. Imaćete pravo da prekinete vaše učešće u eksperimentu bilo u kom trenutku.

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

FORMULAR ZA SAGLASNOST SA EKSPERIMENTALNOM PROCEDUROM
Istraživački projekat: Mišićni i neuralni faktori humane lokomocije

3. KRITERIJUMI ZA UČEŠĆE U STUDIJI

Nećete moći da učestvujete kao ispitanik u studiji ukoliko patite od bilo kakvih kardiovaskularnih ili neuroloških oboljenja, ili bilo kakvih povreda koje mogu da utiču na rezultat eksperimenta ili mogu da budu pogoršane vašim učešćem.

4. RIZIK

MOGUĆI BENEFITI: S obzirom na karakter studije, možete steći nova znanja o testiranjima mehaničkih osobina mišića, a dobićete i povratnu informaciju o svom trenutnom fizičkom stanju i telesnoj kompoziciji.

MOGUĆI RIZIK: Kao kod bilo kakvog testiranja i fizičke aktivnosti, postoji rizik mišićnog zamora, upale, kao i povrede. Međutim, prva dva faktora su prolazna i bez posledica, dok je verovatnoća za povređivanje u ovom slučaju svedena na minimum.

5. KONTAKTI

U slučaju da imate bilo kakvo pitanje u vezi sa studijom, pozovite asistenta Vladimira Grbica, Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu (011-3531137). Pitanja u vezi vaših prava kao učesnika eksperimenta mozete postaviti šefu Etičke komisije Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja, Univerziteta u Beogradu (011-3531100).

6. POTVRDA ISPITANIKA

Pročitao sam ovaj dokument i priroda svog učešća, i zahtevi, rizici i beneficije su mi objašnjeni. Svestan sam rizika i razumem da mogu da povučem svoj pristanak za učešće u eksperimentu u svakom trenutku i bez ikakvih konsekvenci i gubitka beneficija. Kopija ovog dokumenta mi je data.

7. POTPISI

Potpis ispitanika: _____

Ime ispitanika (štampanim slovima) _____ Datum: _____

Prilog 2

ODOBRENJE ETIČKOG KOMITETA

UNIVERZITET U BEOGRADU
FAKULTET SPORTA I FIZIČKOG VASPITANJA
ETIČKA KOMISIJA

Република Србија
УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ФАКУЛТЕТ СПОРТА И ФИЗИЧКОГ ВАСПИТАЊА
02 Бр. 35-2
28.01. 2016. год
БЕОГРАД Београдска Пастрњичка 14

Predmet - Na zahtev zaveden pod brojem 02-35-1 od 14. 01. 2016. godine, koji je podneo Vladimir Grbić, Etička komisija Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu daje

S A G L A S N O S T

Za realizaciju istraživanja „Relacija sila-brzina mišića nogu kod odbojkaša i netreniranih ispitanika različitog pola“ u okviru projekta pod nazivom „Mišićni i neuralni faktori humane lokomocije i njihove adaptivne promene“ (broj IO175037, rukovodilac van. prof. dr Aleksandar Nedeljković) odobrenog i finansiranog od Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

O b r a z l o ž e n j e

Na osnovu uvida u nacrt istraživanja koje se realizuje u okviru projekta „Mišićni i neuralni faktori humane lokomocije i njihove adaptivne promene“ (broj IO175037), Etička komisija Fakulteta iznosi mišljenje da se, kako u konceptu tako i u planiranju realizacije istraživanja i primene dobijenih rezultata, polazilo od principa koji su u skladu sa etičkim standardima, čime se obezbeđuje zaštita ispitanika od mogućih povreda njihove psiho-socijalne i fizičke dobrobiti.

U skladu sa iznetim mišljenjem Etička komisija Fakulteta daje saglasnost za realizaciju istraživanja planiranog u gore navedenom projektu.

U Beogradu 20. 01. 2016.

Za Etičku komisiju

Članovi

1. red. prof. dr Dušanka Lazarević

2. red. prof. dr Dušan Ugarković

3. red. prof. dr Vladan Koprivica

Prilog 3

IZJAVA O AUTORSTVU

Ime i prezime autora: Vladimir Grbić

Broj indeksa: 5005/2014

IZJAVLJUJEM

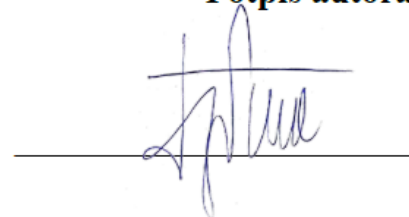
da je doktorska disertacija pod naslovom:

Evaluacija mehaničkih kapaciteta mišića nogu primenom linearne relacije sila-brzina

- rezultat sopstvenog istraživačkog rada;
- da disertacija u celini ni u delovima nije bila predložena za sticanje druge diplome prema studijskim programima drugih visokoškolskih ustanova;
- da su rezultati korektno navedeni i
- da nisam kršio autorska prava i koristio intelektualnu svojinu drugih lica

U Beogradu, 16.11.2020

Potpis autora

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'V. Grbić', is written over a horizontal line.

Prilog 4

IZJAVA O ISTOVETNOSTI ŠTAMPANE I ELEKTRONSKE VERZIJE DOKTORSKOG RADA

Ime i prezime autora: Vladimir Grbić

Broj indeksa: 5005/2014

Studijski program: Eksperimentalne metode istraživanja humane lokomocije

Naslov rada: **Evaluacija mehaničkih kapaciteta mišića nogu primenom
linearne relacije sila-brzina**

Mentor: Red. prof. dr Goran Nešić

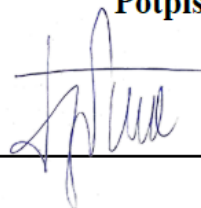
Izjavljujem da je štampana verzija mog doktorskog rada istovetna elektronskoj verziji koju sam predao radi pohranjivanja u **Digitalnom repozitorijumu Univerziteta u Beogradu**.

Dozvoljavam da se objave moji lični podaci vezani za dobijanje akademskog naziva doktora nauka, kao što su ime i prezime, godina i mesto rođenja i datum odbrane rada.

Ovi lični podaci mogu se objaviti na mrežnim stranicama digitalne biblioteke, u elektronskom katalogu i u publikacijama Univerziteta u Beogradu

U Beogradu, 16.11.2020

Potpis autora



Prilog 5

IZJAVA O KORIŠĆENJU

Ovlašćujem Univerzitetsku biblioteku „Svetozar Marković“ da u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Beogradu umese moju doktorsku disertaciju pod naslovom:

Evaluacija mehaničkih kapaciteta mišića nogu primenom linearne relacije sila-brzina

koja je moje autorsko delo.

Disertaciju sa svim priložima predao sam u elektronskom formatu pogodnom za trajno pohranjivanje.

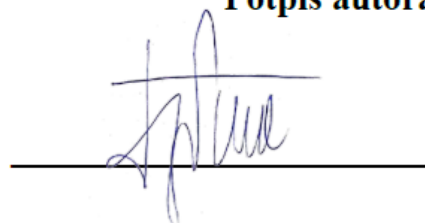
Moju doktorsku disertaciju pohranjenu u Digitalnom repozitorijumu Univerziteta u Beogradu i dostupnu u otvorenom pristupu mogu da koriste svi koji poštuju odredbe sadržane u odabranom tipu licence Kreativne zajednice (Creative Commons) za koju sam se odlučio.

1. Autorstvo (CC BY)

2. Autorstvo – nekomercijalno (CC BY-NC)
3. Autorstvo – nekomercijalno – bez prerada (CC BY-NC-ND)
4. Autorstvo – nekomercijalno – deliti pod istim uslovima (CC BY-NC-SA)
5. Autorstvo – bez prerada (CC BY-ND)
6. Autorstvo – deliti pod istim uslovima (CC BY-SA)

U Beogradu, 16.11.2020


Potpis autora



KOPIJA NASLOVNE STRANE OBJAVLJENOG RADA IZ PRVOG DELA
ISTRAŽIVANJA

Article

Are the Parameters of Novel Two-Point Force-Velocity Model Generalizable in Leg Muscles?

Saša Đurić¹ , Vladimir Grbić², Milena Živković², Nikola Majstorović² and Vedrana Sember^{1,*}

¹ Faculty of Sports, University of Ljubljana, 1000 Ljubljana, Slovenia; sasa.djuric@fsp.uni-lj.si

² Faculty of Sport and Physical Education, University of Belgrade, 1000 Ljubljana, Slovenia;

zver70@gmail.com (V.G.); milena.zix@gmail.com (M.Z.); nikola.majstorovic@fsfv.bg.ac.rs (N.M.)

* Correspondence: vedrana.sember@fsp.uni-lj.si; Tel.: +386-51268263

Abstract: The two-point force-velocity model allows the assessment of the muscle mechanical capacities in fast, almost fatigue-free conditions. The aim of this study was to investigate the concurrent validity of the two-point parameters with directly measured force and power and to examine the generalization of the two-point parameters across the different functional movement tests of leg muscles. Twelve physically active participants were tested performing three functional lower limb maximal tests under two different magnitudes of loads: countermovement jumps, maximal cycling sprint, and maximal force under isokinetic conditions of the knee extensors. The results showed that all values from the two-point model were higher than the values from the standard tests ($p < 0.05$). We also found strong correlations between the same variables from different tests ($r \geq 0.84$; $p < 0.01$), except for force in maximal cycling sprint, where it was low and negligible ($r = -0.24$). The results regarding our second aim showed that the correlation coefficients between the same two-point parameters of different lower limb tests ranged from moderate to strong ($r = -0.47$ to 0.72). In particular, the relationships were stronger between power variables than between force variables and somewhat stronger between standard tests and two-point parameters. We can conclude that mechanical capacities of the leg muscles can be partially generalized between different functional tests.

Keywords: exercise; resistance; performance; biomechanics; two-point model; force-velocity relationship



Citation: Đurić, S.; Grbić, V.; Živković, M.; Majstorović, N.; Sember, V. Are the Parameters of Novel Two-Point Force-Velocity Model Generalizable in Leg Muscles? *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2021**, *18*, 1032. <https://doi.org/10.3390/ijerph18031032>

Academic Editor: Paul B. Tchounwou
Received: 10 November 2020
Accepted: 22 January 2021
Published: 25 January 2021

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Muscle mechanical properties and their evaluation are known to be complex [1], as muscle strength depends on the current level of neural excitation, muscle contraction and time elapsed since the change in muscle excitation [1,2]. The slower a skeletal muscle shortens, the more force is generated during contraction (also force-velocity relationship), [3,4] is a basic principle of skeletal physiology [4]. Studies have been carried out first on isolated muscles and later on single and multi-joint movements [5]. Nevertheless, the expansion of scientific knowledge about the force-velocity relationship (F-V) began several years ago with the study of Jaric in 2015 [1], who proposed that F-V follows a linear form in multi-joint movements [5].

The standard testing procedures applied for the assessment of leg muscle capacities often consider the performance of a single external testing load [6,7] and therefore assessment in a single mechanical condition. Consequently, the outcomes observed in this way do not allow differentiation among different muscle capacities, such as those for generating high force (F), velocity (V) and power (P) [1,8]. In addition, standard testing procedures often include movements that are not specific to sports or daily activities [9], or they may cause excessive strain on the musculoskeletal system. The outcomes of most routine testing procedures have been of limited informational value and therefore a number of issues in research have originated from arbitrarily interpreted experimental findings on specific muscle capacities.

KOPIJA NASLOVNE STRANE OBJAVLJENOG RADA IZ DRUGOG DELA ISTRAŽIVANJA

Training & Testing

Thieme

A Novel Two-Velocity Method for Elaborate Isokinetic Testing of Knee Extensors

Authors

Vladimir Grbic¹, Sasa Djuric¹, Olivera M. Knezevic², Dragan M. Mirkov¹, Aleksandar Nedeljkovic¹, Slobodan Jaric³

Affiliations

- 1 University of Belgrade, Faculty of Sport and Physical Education, The Research Centre, Belgrade, Serbia
- 2 University of Belgrade, Institute for Medical Research, Department of Neurophysiology, Belgrade, Serbia
- 3 Kinesiology and Applied Physiology, & Biomechanics and Movement Science, University of Delaware, Newark, United States

Key words

muscle, force, velocity, power, quadriceps, linear regression

accepted after revision 22.05.2017

Bibliography

DOI <https://doi.org/10.1055/s-0043-113043>
Published online: 2.8.2017
Int J Sports Med 2017; 38: 741–746
© Georg Thieme Verlag KG Stuttgart · New York
ISSN 0172-4622

Correspondence

Dr. Slobodan Jaric
Health, Nutrition, and Exercise Sciences
University of Delaware
5415. College Ave.
19716, Newark
United States
Tel.: +49/302/831 6174, Fax: +49/302/8313 693
jaric@udel.edu

ABSTRACT

Single outcomes of standard isokinetic dynamometry tests do not discern between various muscle mechanical capacities. In this study, we aimed to (1) evaluate the shape and strength of the force-velocity relationship of knee extensors, as observed in isokinetic tests conducted at a wide range of angular velocities, and (2) explore the concurrent validity of a simple 2-velocity method. Thirteen physically active females were tested for both the peak and averaged knee extensor concentric force exerted at the angular velocities of 30°–240°/s recorded in the 90°–170° range of knee extension. The results revealed strong ($0.960 < R < 0.998$) linear force-velocity relationships that depict the maximum muscle force (i.e. the force-intercept), velocity (velocity-intercept), and power (their product). Moreover, the line drawn through only the 60° and 180°/s data (the '2-velocity method') revealed a high level of agreement with the force-velocity relationship obtained ($0.76 < R < 0.97$; all power < 0.001); while the force-intercept highly correlated ($0.68 < R < 0.84$; all power ≤ 0.01) with the directly measured isometric force. The 2-velocity method could therefore be developed into a standard method for isokinetic testing of mechanical capacities of knee extensors and, if supported by further research, other muscles. This brief and fatigue-free testing procedure could discern between muscle force, velocity, and power-producing capacities.

Introduction

Isokinetic dynamometry has often been recognized as the gold standard method for testing muscle mechanical capacities in healthy and physically active individuals, as well as in those recovering from injuries or other medical conditions [5, 15, 18]. However, similar to other functional tests that typically provide a single testing outcome [13], the interpretation of the results obtained from isokinetic dynamometry has always been somewhat challenging to interpret regarding particular mechanical properties of the tested muscles, such as their capacities to produce high levels of the force, velocity and power (i.e. the product of force and velocity) outputs. The authors have interpreted the recorded forces and torques rather arbitrarily, with regard to either the observed capacities of the tested muscles or the outcomes of the applied re-

habilitation and training interventions [1, 6, 17]. Most of the authors at least implicitly agree that the tests conducted at low joint angular velocities or even isometric conditions predominantly reveal muscle 'strength' (i.e. force), while high angular velocities predominantly reveal muscle power [20, 25]. As a result, routine testing procedures often include several joint velocities, where 60°/s and 180°/s could be considered as the standard values [6, 20, 29]. However, it is also known that the maximum power is typically obtained at high angular velocities outside the standard testing ranges, while the maximum velocity is even higher [26]. As a consequence, despite some attempts [19], the isokinetic tests conducted at standard angular velocities neither discern between muscle force and power-producing capacities, nor allow for assessment of maximum velocity.