

UNIVERZITET U BEOGRADU
FAKULTET SPORTA I FIZIČKOG VASPITANJA

Sreten P. Srećković

**Procena mehaničkih osobina mišića ruku
tokom izvođenja složenih pokreta**

Doktorska disertacija

Beograd, 2019

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF SPORT AND PHYSICAL EDUCATION

Sreten P. Sreckovic

**Evaluation of mechanical properties
of the arm muscles
when the complex movements are performed**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2019

INFORMACIJE O MENTORU I ČLANOVIMA KOMISIJE

Mentor:

dr **Aleksandar Nedeljković**, redovni profesor

Univerzitet u Beogradu, Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja

Članovi komisije:

dr **Stanimir Stojiljković**, redovni profesor

Univerzitet u Beogradu, Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja

dr **Goran Prebeg**, docent

Univerzitet u Beogradu, Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja

dr **Ivan Ćuk**, docent

Univerzitet Singidunum, Fakultet za fizičku kulturu i menadžment u sportu

dr **Dragan Radovanović**, redovni profesor

Univerzitet u Nišu, Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja

Datum odbrane: _____

Zahvalnice

Izrada ove doktorske disertacije je izazov u koji sam sam ušao. Međutim, njeno otelotvorenje je zapravo rezultat uložene energije i truda, pomoći i podrške velikog broja ljudi koji su dali svoj direktan ili indirektan, ali u svakom slučaju specifičan doprinos, kako bi ova disertacija dobila konačnu formu. Tim povodom:

Zahvaljujem se mentoru, prof. dr Aleksandru Nedeljkoviću na uloženom trudu, a pre svega na strpljenju, razumevanju i podršci pri izradi ove disertacije, ali i tokom celokupnog trajanja doktorskih studija.

Zahvaljujem se prof. dr Stanimiru Stojiljkoviću na saradnji tokom mog celokupnog školovanja na Fakultetu sporta i fizičkog vaspitanja univerziteta u Beogradu.

Zahvaljujem se doc. dr Goranu Prebegu, ne samo kao kolegi i saradniku, već pre svega kao prijatelju, čija nepresušna energija mi je davala snagu u momentima kada je to bilo najpotrebnije.

Zahvaljujem se doc. dr Ivanu Čuku, kolegi i prijatelju koji je beskompromisno učestvovao u svim fazama izrade ove disertacije, kao i kolegi i prijatelju dr Saši Đuriću na uloženom trudu oko pripreme i sprovođenja testiranja u okviru ove disertacije.

Zahvaljujem se prof. dr Draganu Radovanoviću na saradnji tokom izrade ove disertacije.

Zahvaljujem se profesorima i kolegama sa Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja univerziteta u Beogradu koji su mi nesebično pomagali i pružali podršku kada god mi je to bilo potrebno. Takođe, zahvaljujem se i kolegama studentima, koji su odvojili svoje slobodno vreme i uložili napor kako bi uspešno sproveli testiranje u okviru ove disertacije.

Zahvaljujem se svim prijateljima koji su mi bili moralna podrška u teškim momentima.

Na kraju sa dužnim poštovanjem zahvaljujem se svojoj porodici. Majci Grozdani i ocu Paunu koji su mi večni uzor i koji su imali vere u mene tokom svih ovih godina. Posebno se zahvaljujem supruzi Aniti na razumevanju i ljubavi koju je uložila u negovanje mojih najvećih motivatora Nikole, Nine i Alekse, kojima se ovom prilikom i izvinjavam zbog svih neodigranih igara i neproživljenih zajedničkih trenutaka, zbog izrade ove disertacije!

Beskrajno, hvala svima!

*Doktorsku disertaciju posvećujem **prof. dr Slobodanu Jariću.***

Čoveku koji me je vodio kroz nauku. Čoveku koji je postavio temelje ove disertacije, a koji nas je, na žalost, napustio pre nego što je ova disertacija ugledala svetlost dana.

Taj odlazak je, zapravo samo promena forme njegovog bića. To drago lice više ne srećemo između laboratorije i kabineta, ali njegov duh bdi nad svima nama koji smo ga poznavali i imali čast da saradujemo sa njim.

Pred sve nas je postavio visoke kriterijume! Ne samo u naučnom smislu. To se podrazumeva, jer je bio najveći. Već u onom drugom, bitnijem, životnom smislu, kako da se odnosimo prema svojim bližnjima, prema svojim učenicima, prema saradnicima... u smislu kako da budemo dobri ljudi!

Hvala mu na tome!

Procena mehaničkih osobina mišića ruku tokom izvođenja složenih pokreta

Rezime:

Mehaničke osobine mišića - sila, snaga i brzina, su predmet istraživanja primenjene fiziologije i humane lokomocije već decenijama unazad, a među najznačajnijim istraživanjima su zavisnost mišićne sile i snage u odnosu na brzinu, bilo da se posmatraju pri skraćanju pojedinačnog mišića ili pri izvođenju složenih motoričkih zadataka. Ova svojstva se nazivaju relacija sila-brzina (F - V relacija) i relacija snaga-brzina (P - V relacija). Treba imati na umu da pošto je snaga proizvod sile i brzine, obrazac posmatrane F - V relacije direktno određuje obrazac P - V relacije.

Sa povećanjem ispoljene sile mišića, mogućnost za ispoljavanje brzine njegovog skraćanja se smanjuje i obratno. Ovaj odnos sile i brzine, u prvobitnim istraživanjima, je predstavljen kao nelinearni (približno hiperboličan). Međutim novije studije su pokazale da bi njihov odnos, dobijen primenom spoljašnjih opterećenja, pri izvođenju složenih motoričkih zadataka, mogao biti predstavljen približno linearno. Iako ove studije po pitanju oblika dobijenih F - V relacija pokazuju priličnu doslednost, ipak ostaje pitanje u kojoj meri su linearne F - V i parabolične P - V relacije povezane. To se jasno može videti na mišićima ruku i ramenog pojasa. Takođe, ostaje otvoreno pitanje pouzdanosti i validnosti njihovih parametara, kao i konkurentne validnosti dobijenih parametara.

Iz tih razloga ciljevi studije su bili: (1) da se proceni linearnost i jačina F - V , kao i jačina proisteklih P - V relacija; (2) da se proceni pouzdanost parametara F - V i P - V relacija; (3) da se uporede parametri varijabli dobijenih iz prosečnih i maksimalnih vrednosti; (4) da se proveri konkurentna validnost dobijenih parametara sa direktno izmerenim vrednostima sile, brzine i snage.

Da bi se rešili navedeni problemi, testirana je relativno homogena grupa od 12 ispitanika, koji su na Smit mašini vršili izbačaj sa grudi, sa opsegom 20 kg do 70 kg (6 opterećenja). Pri tome je dobijen niz prosečnih i maksimalnih vrednosti za silu i brzinu, koji su omogućavali primenu različitih regresionih modela na F - V i pripadajuću P - V relaciju. Iz linearne F - V relacije dobijeni su parametri sile (F_0), brzine (V_0) i snage (P_0), kao i parametar nagiba relacije (α). Iz parabolične P - V relacije dobijen je parametar maksimalne snage (P_{max}). Pored parametara relacija ispitanicima je izvršena direktna procena maksimalne sile pri potisku sa grudi kroz test jedno maksimalno ponavljanje (IRM) na istoj Smit mašini, kao i direktna procena maksimalne brzine i maksimalne snage pri bacanju medicinke (od 450 g i 3 kg).

Rezultati studije pokazuju da su F - V relacije približno linearne i visoko povezane, za individualne podatke sile i brzine, bilo da su uzete kao prosečne ($r = 0,985$) ili maksimalne ($r = 0,988$) vrednosti. Posledično su dobijene P - V relacije koje imaju paraboličan oblik i koje su takođe visoko povezane ($r = 0,954$ za prosečne i $r = 0,970$ za

maksimalne vrednosti). Nalazi ove studije otkrivaju izuzetno jaku povezanost i za grupne i za individualne kako $F-V$, tako i $P-V$ relacije, dobijene iz prosečnih i maksimalnih vrednosti sile i brzine.

Pouzdanost parametara $F-V$ i $P-V$ relacija je visoka za parametar sile i snage (F_0 , P_0 i P_{max}), dok je za parametre brzine i nagiba (V_0 i a) umerena. Takođe, nije bilo značajne razlike između rezultata u dva ponovljena merenja.

Poređenjem parametara dobijenih iz prosečnih, u odnosu na parametre dobijene iz maksimalnih vrednosti sile i brzine, uočavaju se značajne razlike (svi $p < 0,01$). Vrednosti parametara sile, brzine i snage su više, dok je vrednost nagiba linearne regresije niži, kada su izvedeni iz maksimalnih u odnosu na prosečne vrednosti sile i brzine i obratno. Najveća procentualna razlika uočena je kod parametara snage (P_0 i P_{max}), dok je najniža kod parametra sile (F_0).

Po pitanju konkurentne validnosti parametar sile otkriva visoku povezanost sa IRM -om i za prosečne ($r = 0,796$) i maksimalne ($r = 0,723$) vrednosti. Parametri brzine i snage poređeni sa direktno izmerenim vrednostima brzine i snage imaju umerene do visoke vrednosti koeficijenata korelacije, kada su poređeni sa bacanjem teže medicinke i niske u poređenju sa bacanjem lakše medicinke.

Ovi nalazi doprinose dokazu da se mehanička svojstva mišića mogu istraživati pri izvođenju složenih motoričkih zadataka, koji će dati jednostavne linearne $F-V$ i parabolične $P-V$ relacije. Ovi motorički zadaci se mogu razviti u relativno jednostavne i ekološki validne testove za procenu kapaciteta sile, snage i brzine mišićnog sistema.

Ključne reči: regresija, izbačaj sa grudi, snaga, pouzdanost, validnost, testiranje

Naučna oblast: Fizičko vaspitanje i sport

Uža naučna oblast: Nauke fizičkog vaspitanja, sporta i rekreacije

UDK broj: 796.012:612.766 (043.3)

Evaluation of mechanical properties of the arm muscles when the complex movements are performed

Summary:

Mechanical properties of muscles - force, power and velocity, have been research subjects of applied physiology and human locomotion for decades now, and among the most important are dependence of muscle force and the power on the velocity, of either muscle shortening or when performing complex multi-joint tasks. These properties are referred to as the force-velocity (F - V) and power-velocity (P - V) relationship. It should be noted that since power is a product of force and velocity, the pattern of the observed F - V relationship directly determines the P - V relationship pattern.

With increase of the manifested muscle force, a possibility for manifesting velocity of its shortening is decreased and vice versa. In seminal studies, this force and velocity relationship has been known as non-linear (approximately hyperbolic). However, recent studies have shown that their relationship, obtained by application of external loads when performing complex multi-joint tasks, could be presented as approximately linear. Although these studies regarding the shape of obtained F - V relationships have been fairly consistent, it still remains questionable to what extent both linear F - V and parabolic P - V relationships are associated. We can clearly see that in the arm and shoulder muscles. Furthermore, an open question remains regarding reliability and validity of their parameters, as well as concurrent validity of the obtained parameters.

For those reasons, the aims of the study were: (1) to evaluate linearity and strength of F - V , as well as the strength of the associated P - V relationship; (2) to assess the reliability of F - V and P - V relationship parameters; (3) to compare variable parameters obtained from average and maximum values; (4) to check the concurrent validity of obtained parameters with directly measured values of force, velocity and power.

To address the stated problems, a relatively homogeneous group of 12 subjects was tested on the Smith machine, on the loaded bench press throws, with the range of 20 kg to 70 kg (6 loads). A series of average and maximum force and velocity values was obtained and these data allowed applying various regression models to the F - V and associated P - V relationship. Linear F - V relationship provided parameters of force (F_0), velocity (V_0) and power (P_0), as well as the relationship slope parameter (α). Parabolic P - V relationship provided maximum power parameter (P_{max}). Besides the relationship parameters, direct assessment of the maximum force with bench press through a test of one maximum repetition ($1RM$) was performed on the subjects, on the same Smith machine, as well as direct evaluation of maximum velocity and power with medicine ball throw tests (from 450 g to 3 kg).

Results of the study show that F - V relationships, for individual force and velocity data, are approximately linear and exceptionally strong, taken either as average ($r = 0,985$) or maximum ($r = 0,988$) values. Consequently, P - V relationships that are strong and are with parabolic shape ($r = 0,954$ for mean and $r = 0,970$ for maximum values) were obtained. Findings of this study reveal exceptionally strong association, both for group and individual, both for F - V and P - V relationships obtained from mean and maximum force and velocity values.

Reliability of F - V and P - V parameter relationships is high for parameters of force and power (F_0 , P_0 and P_{max}), while being medium for parameters of velocity and slope parameters (V_0 and α). Also, there was no significant difference between the results in two consecutive testings.

Comparison of parameters obtained from mean, in relation to parameters obtained from maximum force and velocity values, shows significant differences (all $p < 0,01$). Note that values of force, velocity and power parameters are higher, while value of the linear regression slope is lower when derived from maximum, in comparison to average force and velocity values and vice versa. The greatest percentage difference has been noted with power parameter, while the lowest was with force parameter.

As for concurrent validity, force parameter reveals high association with IRM , both for average ($r = 0,796$) and maximum ($r = 0,723$) values. Compared to the directly measured velocity and power values, velocity and power parameters have medium to low correlation coefficient values when compared with heavier medicine ball throws, and low in comparison with lighter medicine ball throws.

The present findings add to the evidence that the muscle mechanical properties could be studied through loaded multi-joint tasks that provide relatively simple linear F - V and parabolic P - V relationships, as well as that the same tasks could be developed into a relatively simple and ecologically valid test of strength, power, and velocity producing capacities of the muscular system.

Key Words: Regression, Bench press throw, Strength, Reliability, Validity, Testing

Scientific field: Physical Education and Sport

Narrow scientific field: Science of Physical Education, Sports and Recreation

UDC number: 796.012:612.766 (043.3)

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1 MIŠIĆI I MIŠIĆNA KONTRAKCIJA.....	2
1.1.1 Vršenje pokreta kao posledice mišićne aktivacije	2
1.1.2 Mišići i građa mišića.....	3
1.1.3 Mehanizam mišićne kontrakcije	5
1.1.4 Mišićna aktivacija	8
1.2 MEHANIČKE OSOBINE MIŠIĆA	10
1.2.1 Sila	11
1.2.2 Brzina.....	12
1.2.3 Snaga.....	13
1.2.4 Faktori koji utiču na ispoljavanje mehaničkih osobina mišića	15
1.2.4.1 Uslovi rada	15
1.2.4.2 Neurološki faktori	16
1.2.4.3 Morfološke karakteristike mišića.....	18
1.2.4.4 Mehanički faktori.....	20
1.3 RELACIJE SILA-BRZINA I SNAGA-BRZINA.....	25
1.3.1 Relacija sila-brzina	25
1.3.2 Relacija snaga-brzina	27
1.3.3 Mogućnosti praktične primene relacija sila-brzina i snaga-brzina	29
2. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA	31
2.1 MODELI RELACIJA.....	34
2.1.1 Hiperbolični model relacije.....	34
2.1.2 Linearni model relacije	35
2.1.3 Procena linearne F-V i parabolične P-V relacije složenih pokreta.....	38
2.1.4 Procena linearne F-V i parabolične P-V relacije mišića ruku.....	40
2.2 NEDOSTACI DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA.....	42
3. PROBLEM, PREDMET, CILJ I ZADACI ISTRAŽIVANJA	44
4. HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA	46

5. METODE ISTRAŽIVANJA	47
5.1 UZORAK ISPITANIKA	47
5.2 EKSPERIMENTALNI PROTOKOL	48
5.3 EKSPERIMENTALNE PROCEDURE	48
5.4 PRIKUPLJANJE I OBRADA PODATAKA	53
5.5 STATISTIČKA ANALIZA	54
6. REZULTATI ISTRAŽIVANJA.....	55
7. DISKUSIJA.....	75
7.1 METODOLOŠKA RAZMATRANJA	76
7.2 OBLIK I POVEZANOST F-V I P-V RELACIJA	78
7.3 POUZDANOST PARAMETARA F-V I P-V RELACIJA.....	79
7.4 POREĐENJE PROSEČNIH I MAKSIMALNIH VREDNOSTI VARIJABLI.....	80
7.5 KONKURENTNA VALIDNOST PARAMETARA F-V I P-V RELACIJA	81
8. ZAKLJUČCI.....	83
8.1 POTENCIJALNI ZNAČAJ ISTRAŽIVANJA.....	84
8.2 SMERNICE ZA BUDUĆA ISTRAŽIVANJA.....	85
9. LITERATURA	86
10. PRILOZI	92
PRILOG 1: KOPIJA NASLOVNE STRANE OBJAVLJENOG RADA	92
PRILOG 2: KOPIJA ODOBRENJA ETIČKOG KOMITETA FAKULTETA SPORTA I FIZIČKOG VASPITANJA ZA REALIZACIJU PREDLOŽENIH EKSPERIMENATA.....	93
PRILOG 3: KOPIJA UPITNIKA ZA PROCENU NIVOVA FIZIČKE AKTIVNOSTI ISPITANIKA	94
PRILOG 4: KOPIJA FORMULARA SAGLASNOSTI ISPITANIKA ZA UČEŠĆE U EKSPERIMENTU U SAGLASNOSTI SA HELSINŠKOM DEKLARACIJOM	96
PRILOG 5: KOPIJA IZJAVE O AUTORSTVU	98
PRILOG 6: KOPIJA IZJAVE O ISTOVETNOSTI ŠTAMPANE I ELEKTRONSKE VERZIJE DOKTORSKOG RADA	99
POGOVOR	101

Lista skraćenica

$F-V$ relacija	–	Relacija sila-brzina
$P-V$ relacija	–	Relacija snaga-brzina
F	–	Sila
F_0	–	Parametar maksimalne sile $F-V$ relacija
F_{MAX}	–	Direktno izmerena maksimalna sila
V	–	Brzina
V_0	–	Parametar maksimalne brzine $F-V$ relacija
V_{MAX}	–	Direktno izmerena maksimalna brzina
P	–	Snaga
P_0	–	Parametar maksimalne snage $F-V$ relacija
P_{max}	–	Parametar maksimalne snage $P-V$ relacija
P_{MAX}	–	Direktno izmerena maksimalna snaga
a	–	Parametar nagiba $F-V$ relacije
$1RM$	–	Test 1 maksimalan potisak tega sa grudi, ležeći na ravnoj klupi
IZB	–	Test izbačaj tega sa grudi, ležeći na ravnoj klupi
MED_{450g}	–	Test bacanje medicinke (450g) sa obe ruke iz sedećeg položaja
MED_{3kg}	–	Test bacanje medicinke (3kg) sa obe ruke iz sedećeg položaja
MAX	–	Maksimalna vrednost
AVG	–	Prosečna vrednost
SV	–	Srednja vrednost
SD	–	Standardna devijacija
CV	–	Koeficijent varijacije
CI	–	Interval pouzdanosti
ICC	–	Intraklasni koeficijent korelacije
SEM	–	Standardna greška merenja
r	–	Koeficijent korelacije
R^2	–	Koeficijent determinacije
η^2	–	Eta kvadrat
ANOVA	–	Analiza varijanse
TV	–	Telesna visina
TM	–	Telesna masa
PM	–	Procenat masti
BMI	–	Indeks telesne mase – telesna kompozicija
N	–	Njutn
t	–	Vreme
l	–	Dužina
s	–	Sekund
m	–	Metar
g	–	Gram
kg	–	Kilogram

1. UVOD

Savremeni sport, rekreacija, rehabilitacija i razne druge oblasti u kojima je prisutan pokret, imaju sve veću potrebu da ga istražuju i naučno potkrepe pretpostavke i tvrdnje vezane za njegovo funkcionisanje. Da bi se pokret izučio neophodno je dopreti do uzročnika njegovog nastanka, a to je određena sila. S obzirom da je predmet ovog istraživanja humana lokomocija čoveka, u prvi plan pada mišićna sila. Međutim, pojavu mišićne sile treba posmatrati zajedno sa brzinom skraćanja datog mišića, a samim tim i njihovim proizvodom, koji se može predstaviti kao mišićna snaga. Mišićna sila, brzina i snaga se definišu kao motoričke sposobnosti, koje opisuju pokret i kretanje u celini, a da bi se lakše izučavale, moraju se posmatrati prvenstveno kao mehaničke osobine.

Mehaničke osobine mišića su sve više predmet naučnih istraživanja. Razlog tome je njihov značaj u razumevanju građe i načina funkcionisanja mišićno-skeletnog sistema čoveka. Tome se mora pridodati i iznalaženje novih mogućnosti primenjivih u trenažnom procesu, kao i za poboljšanje efikasnosti intervencija u rehabilitaciji. Istraživanja koja se tiču ove tematike uglavnom su usmerena na proučavanje mišićnog sistema u smislu ispoljavanja velike sile (F) pri izvođenju pokreta velikom brzinom (V), čime se ispoljava adekvatna snaga (P). Izučavanje ovih parametara i odnosa koji među njima vladaju, opisuje se kroz relacije sila-brzina (F - V relacije) i relacije snaga-brzina (P - V relacije) i predstavljaće predmet ove disertacije.

Značajan udeo u ukupnoj lokomociji čoveka imaju pokreti koji se vrše rukama jer, mišići ruku imaju jedinstvenu ulogu u obavljanju najrazličitijih manipulativnih zadataka. Oni se mogu odnositi na vršenje finih pokreta, kao što su pisanje ili sviranje nekog instrumenta, preko pokreta u kojima se razvija velika sila prilikom suprotstavljanja spoljašnjem opterećenju, kao što je prenošenje teških predmeta, pa do izvođenja brzih i eksplozivnih pokreta, kao što su bacanja ili udarci. U okviru aktivnosti koje čovek obavlja rukama, razvoj velike sile u što kraćem vremenu predstavlja značajan činilac za ostvarivanje radnih zadataka i za prevenciju povreda.

Iz pomenutih razloga proučavanje mehaničkih osobina na mišićnom sistemu ruku, preko F - V i P - V relacija i parametara koji ih sačinjavaju, doprinosi se razvoju naučnih oblasti vezanih za sport, fiziologiju, fizikalnu medicinu i rehabilitaciju.

1.1 MIŠIĆI I MIŠIĆNA KONTRAKCIJA

1.1.1 Vršenje pokreta kao posledice mišićne aktivacije

Potreba za kretanjem je jedno od osnovnih svojstava svih živih bića, a pokret je osnovna karakteristika života kojom se izražavaju osećanja, uspostavlja verbalna i gestovna komunikacija ili ovladava najrazličitijim veštinama u cilju opstanka, razvoja i usavršavanja. Svaka ljudska delatnost, odnosno rad, izražava se kroz pokret i kretanje. Ponavljanjem pokreta poboljšava se motorika čoveka, usvajaju navike i stvara mogućnost za izvođenje još složenijih pokreta i kretanja uopšte. Najjednostavnije, pokret možemo definisati kao pomicanje ili pomeranje pojedinih delova (segmenata) tela ili celog tela u prostoru. Prema Kukolju (2006) pokret se može sagledati kao *osnovni pokret* ili kao *složeni sistem pokreta i kretanja* različitog intenziteta i trajanja, sa mogućnošću primene različitih sprava i rekvizita. Osnovni pokret predstavlja uslove u kojima se vrši pomeranje u jednom zglobu i oko jedne ose obrtanja. Složeni pokreti predstavljaju uslove u kojima se vrši pomeranje u više zglobova ili u jednom zglobu sa više osa obrtanja (Kukolj, 2006). Međutim, treba naglasiti da stanje mirovanja tela ne može biti narušeno, a pokret ne može nastati, niti se kretanje uspostaviti, ukoliko ne postoji dejstvo neke sile.

Sa biomehaničkog aspekta vršenje pokreta predstavlja interakciju sila nastalih unutar mišićnog sistema i spoljašnjih sila koje na ovaj sistem deluju. Čovek uglavnom nema direktan uticaj na većinu ovih sila, ali na neke od njih može da deluje indirektno. Jedina sila nad kojom čovek ima direktnu kontrolu, putem svog nervnog sistema jeste mišićna sila. Generisanje mišićne sile je posledica mišićne aktivacije, a njeno ispoljavanje se vrši preko pripoja na kostima u sistemu poluga.

U telu čoveka se nalazi oko 600 skeletnih mišića (Earle i Baechle, 2004) koji se sastoje od velikog broja mišićnih vlakana, grupisanih na razne načine. Mišićna vlakna imaju jedinstveno svojstvo da se usled fizičko-hemijskih procesa, koji se u njima odvijaju, grče (kontrahuju) i opuštaju, pa za mišiće kažemo da predstavljaju mehanizme koji hemijsku energiju pretvaraju u mehaničku (Nikolić, 2003; Frontera i Ochela, 2015). Da bi upoznali osobenosti skeletnih mišića, najpre moramo upoznati njihovu strukturu i način njihovog funkcionisanja.

1.1.2 Mišići i građa mišića

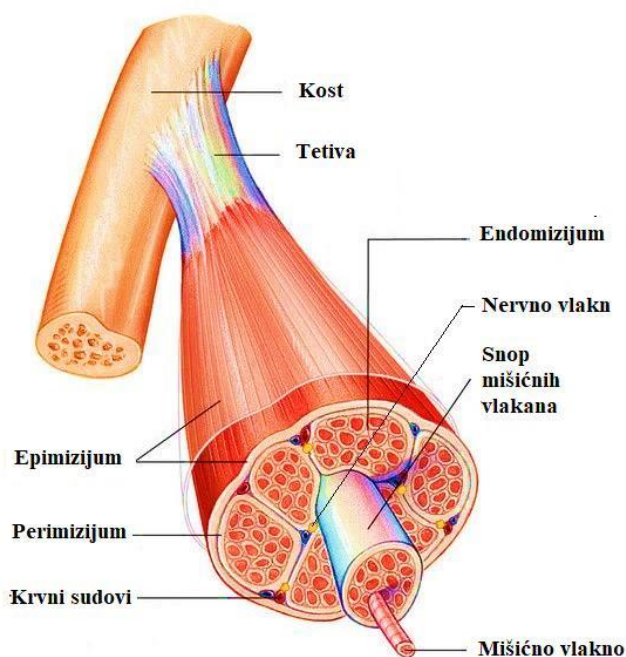
Ako pogledamo ljudsko telo, možemo zaključiti da značajan njegov deo čine mišići. Prema različitim izvorima taj udeo ide i do 50 % njegove ukupne mase (Guyton, 1989; Nikolić, 2003), i daju mu oblik i volumen. Mišićno tkivo je odgovorno za svaki oblik kretanja ljudskog tela, kao i za njegovo funkcionisanje, bilo da je reč o treptaju oka ili trčanju, ili pak o varenju hrane ili protoku krvi kroz organizam. Dakle, mišićno tkivo je to koje pokreće telo ili neke njegove delove u odnosu na okruženje, ali i pokreće određene materije ili sisteme organa u okviru samog tela.

Mišićni sistem možemo podeliti na tri grupe. To su *poprečno-prugasti* ili *skeletni mišići*, *glatki mišići* i *srčani mišići*. Iako sve tri grupe mišića imaju važnu ulogu u funkcionisanju celokupnog sistema zvanog čovek, ovom prilikom ćemo se baviti samo analizom poprečno-prugastih, odnosno skeletnih mišića (*slika 1.1*), pa ćemo ih u nastavku rada skraćeno oslovljavati sa mišići.



Slika 1.1: Skeletni mišići (https://picswe.net; 2019)

Prema stručnoj literaturi iz oblasti fiziologije (Guyton, 1989; Nikolić, 2003) mišić predstavlja snop grupisanog tkiva, povezanog u funkcionalnu celinu (slika 1.2). Najjednostavnija podela ovog tkiva je na *mišićno tkivo* i *vezivno tkivo*. Međutim, kao osnovnu morfološko-funkcionalnu jedinicu svakog mišića možemo uzeti *mišićno vlakno*. To je tanka, dugačka cilindrična ćelija sa više jedara. Dužina vlakna može biti od 1 mm pa do dužine celog mišića (preko 30 cm u *m. sartorius*-u). Sva vlakna u jednom mišiću ne moraju biti iste dužine. Dijametar mišićnog vlakna je od 10 do 100 μm i u srazmeri je sa silama koje se u tom mišiću razvijaju pri njegovoj kontrakciji, tako da je prečnik mišićnih vlakana u mišićima oka mnogo manji nego kod butnog mišića. Svako mišićno vlakno je obavijeno tankim slojem vezivnog tkiva koji se naziva *endomizijum* (McComas, 1996).



Slika 1.2: Struktura mišića (<https://www.realx3mforum.com>; 2019; modifikovano)

Mišićna vlakna su grupisana u snopove koje obavija vezivno tkivo zvano *perimizijum*. Od funkcije mišića zavisice broj snopova. Tako se manji mišići mogu sastojati od samo nekoliko snopova, kao što je sačinjen mišić uzengije (*m. stapedijus*), koji pokreće sićušnu ušnu kost, dok veliki mišići mogu imati na stotine snopova, kao npr. veliki sedalni mišić (*m. gluteus maximus*), jer ima važnu ulogu u hodu čoveka i stabilizaciji kuka.

Ceo mišić je obavijen spoljnom ovojnicom vezivnog tkiva zvanom *epimizijum* (McComas, 1996). Mišić se na svojim krajevima spaja sa vezivnim vlaknima tetiva. One imaju ulogu da mišić povežu sa odgovarajućim kostima. Mišić je uglavnom postavljen bliže centralnom delu tela u odnosu na zglob u kome vrši pokret. Sa te strane tetiva je obično kraća od tetive koja prelazi preko zgloba i koja se vezuje za odgovarajuću kost na udaljenijem kraju. Na taj način grčenjem mišića dolazi do pomeranja pripojene kosti i pokreta u zglobu (Kukolj, 2006; Jarić, 1997).

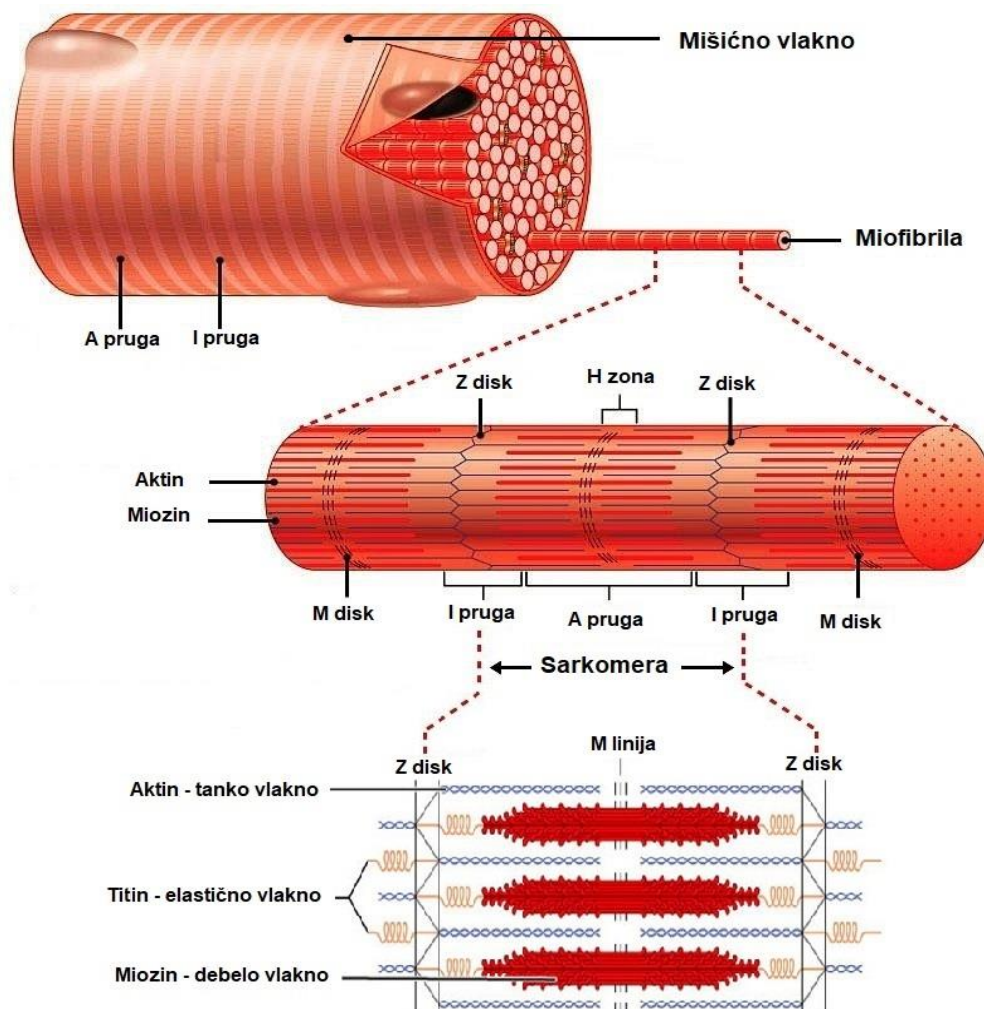
Za funkcionisanje mišićnog sistema potrebni su energija i inervacija. Zato kroz vezivne pregrade prolaze krvni sudovi i nervi. Krvni sudovi dopremaju krv u mišić, u kojoj se nalaz materije neophodne za rad mišićnih ćelija i koja odnosi negativne produkte njihovog metabolizma. Do svake mišićne ćelije dopire i nervno vlakno. Nervi polaze od kore velikog mozga i centara koji kontrolišu motoriku pokreta, prolaze kroz kičmu, granaju se u pojedinačne nerve i tako dopiru do odgovarajućih mišića. To je razlog što jedan mišić može vršiti samo jednu vrstu pokreta, te se zato mišići udružuju u funkcionalne grupe koje imaju antagonističko dejstvo (npr. *m. biceps brachii* sa prednje strane nadlaktka pregiba ruku, dok je *m. triceps brachii* sa zadnje strane opruža). Kontakt između nervnog i mišićnog vlakna se naziva neuro-mišićna ili motorna ploča i u njoj se vrši prenos impulsa. Svaki pojedinačni mišić je inervisan posebnim nervom.

Mišići sadrže i grupu receptora koji registruju jačinu mišićne kontrakcije i mere istezanje tetiva. Ove informacije se putem aferentnih (senzornih) nerava prenose do odgovarajućih centara, koji su bitni za kontrolu mišićne aktivnosti.

1.1.3 Mehanizam mišićne kontrakcije

Mišićna kontrakcija je vekovima bila zagonetka i tema koju su mnogi pokušavali da reše. Samim tim postojale su i različite teorije koje su je objašnjavale. Međutim, pre nešto više od pola veka postavljena je **teorija klizajućih niti** (Huxley, 1957; Huxley i Simmons, 1971), koja je do sada neopovrgnuta i prihvaćena je od strane savremenih teoretičara koji se bave ovom tematikom, te je svoje mesto našla i u udžbenicima fiziologije.

Kako bismo teoriju klizajućih niti sagledali, najpre moramo mišićno vlakno razložiti na delove (slika 1.3). Dakle, mišićno vlakno se sastoji od skupa kontraktilnih organela, koje se nazivaju *miofibrile*. To su tvorevine cilindričnog oblika sa naizmeničnim tamnijim i svetlijim segmentima poprečno raspoređenim u odnosu na njenu uzdužnu osu. Miofibrile su pravilno grupisane, tako da se istobojni segmenti podudaraju. To mišićnom vlaknu, a samim tim i mišiću u celini daje poprečno-prugasti izgled. Tamnija pruga se naziva anizotropna ili A-pruga, dok se svetlija pruga naziva izotropna ili I-pruga. Sredinom I-pruge prolazi Z-linija.



Slika 1.3: Mišićno vlakno (<https://www.realx3mforum.com/>; 2019; modifikovano)

Prostor između dve Z-linije predstavlja *sarkomera* osnovna strukturalna i funkcionalna jedinica miofibrile. Upravo je sarkomera mesto u kome se vrši generisanje mišićne sile, a glavnu ulogu u tome imaju *filamenti aktin i miozin*.

Aktin i miozin predstavljaju proteinsku građu, koja vrši kontrakcije, pa se zato nazivaju i kontraktilni proteini. Filamenti aktina, koji liče na dvostruku spiralu, su svojim spoljašnjim krajem pričvršćeni za krajeve sarkomere, odnosno za Z-liniju, dok im je unutrašnji kraj slobodan i završava se u blizini središnjeg dela sarkomere. Okolo aktina nalaze se upleteni proteini troponina i tropomiozina i tako čine osnovu ovih filamena koji se još nazivaju i tanke niti.

Debele niti, u čiji sastav ulazi protein miozin, su vretenastog oblika. Unutrašnjim i širim delom pričvršćeni su za M-liniju, koja se nalazi u središnjem delu sarkomere zvanom H-zona. Na spoljašnjim, slobodnim krajevima debelih niti, nalaze se kuglasti izdanci, zvani glavice, kojima se vezuje za niti aktina (*Geeves i sar.*, 2005).

Ove niti su pravilno i naizmenično raspoređene duž mišićnog vlakna, a njihovo prožimanje je delimično, što ima za posledicu karakteristična optička svojstva poprečne prugavosti, koju smo već pominjali.

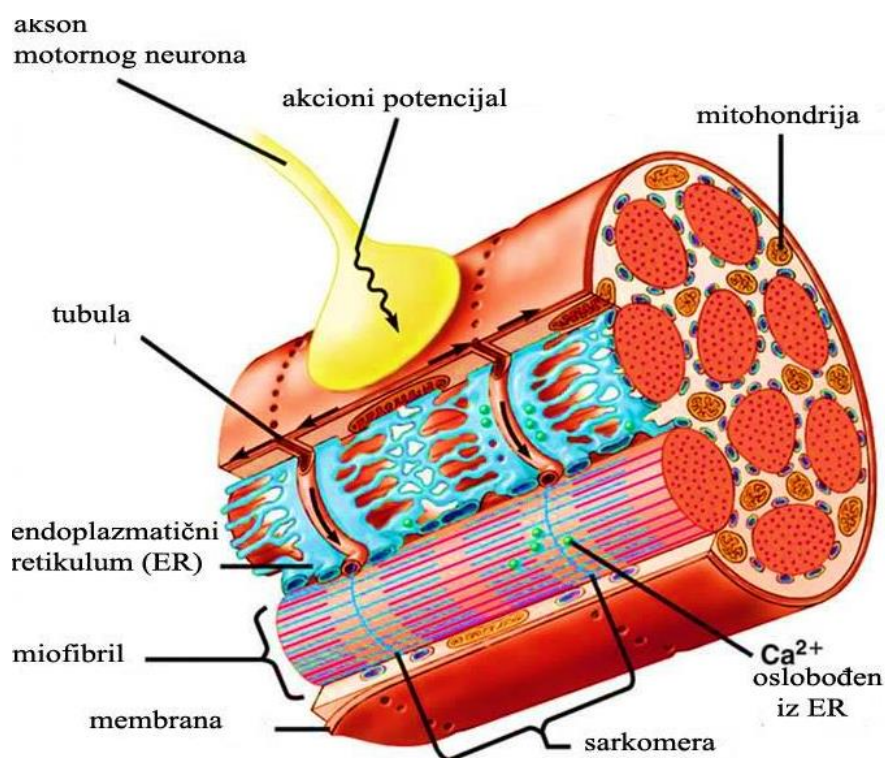
Ako sagledamo poprečni presek mišićnog vlakna, uočićemo da se svako miozinsko vlakno nalazi u centru šestougla kroz čija temena prolaze tanke niti aktina, odnosno jednu aktinsku nit okružuju tri pripadajuće miozinske niti.

Strukturu sarkomere čini još protein titin. On povezuje Z-liniju sa M-linijom i tako sprečava izduživanje sarkomere generisanjem pasivne sile (*Monroy i sar.*, 2012).

Skeletni mišići veoma efikasno hemijsku energiju pretvaraju u mehanički rad, pri čemu se 30 – 50 % energije gubi u obliku toplote (*Westerblad, 2010*). Mehanički rad je zapravo rezultat mišićne kontrakcije. Tokom mišićne kontrakcije aktinske niti se podvlače pod miozinske. To objašnjava činjenicu da se tokom mišićne kontrakcije dužina svetle pruge smanjuje, dok tamna pruga ostaje iste dužine. Interakcija određenih miozinskih i pripadajućih aktinskih filamenata uzrokuje skraćenje sarkomere, a time i miofibrila. U sumarnom pogledu dolazi do skraćenja mišićnih ćelija i mišića u celini.

1.1.4 Mišićna aktivacija

Proces mišićne kontrakcije je voljni proces, koji se nalazi pod uticajem centralnog nervnog sistema. Obrasci komande odgovorne za mišićnu aktivnost nastaju u motornoj zoni kore velikog mozga i manifestuju se u vidu nervnih impulsa. Odatle putem eferentnih nervnih vlakana, odnosno preko alfa-motoneurona, koji se nalaze u kičmenoj moždini, dolaze do motornih ploča odgovarajućih mišićnih vlakana. Tu izazivaju oslobađanje medijatora, *acetilholina*, koji na postsinaptičkoj membrani menja polaritet što dovodi do generisanja akcionog potencijala na mišićnoj membrani tj. *sarkolemi* (slika 1.4)



Slika 1.4: Mišićna aktivacija (<https://www.znanje.org>;2019)

Akcioni potencijal se potom širi duž cele mišićne ćelije putem nabora membrane koji se zovu *T-tubuli* (Sorrentino i Gerli, 2003) Pri tome dolazi do oslobađanja jona kalcijuma (Ca^{2+}) iz *sarkoplazmatičnog retikuluma*, koji predstavlja sistem kanala i koji okružuje svako mišićno vlakno, pa se tako razliva po sarkoplazmi. Ovakva organizaciona struktura omogućava da se sve sarkomere kontrahuju istovremeno.

Različiti joni kalcijuma (Ca^{2+}) se potom vezuju za protein *troponin* i menjaju njegov oblik. To dovodi do povlačenja proteina *tropomiozina* čime se oslobađaju aktivna mesta na *aktinu*, na kojima se vrši spajanje sa glavicama *miozina*.

Za spajanje aktina sa glavicama miozina i formiranje tzv. *poprečnih mostova* koristi se energija dobijena hidrolizom *adenozintrifosfata (ATP)*. Ova energija se dalje koristi kako bi miozinska vlakna napravila *efekat zaveslaja* i aktinske niti povukle ka sredini sarkomere. Na taj način dolazi do skraćivanja sarkomere, a samim tim i do skraćivanja mišića i generisanja sile u njemu.

Kada prestane dejstvo akcionog potencijala, joni kalcijuma (Ca^{2+}) se vraćaju u cisterne sarkoplazmatičnog retikuluma, putem jonskih pumpi. Protein troponin vraća svoj prvobitni oblik, a protein tropomiozin ponovo prekriva aktivna mesta na aktinu, čime se prekidaju spojevi s glavicama miozina. Do sledećeg nervnog impulsa, koji će ponovo pokrenuti ceo ciklus, mišićno vlakno se relaksira.

Iz navedenog se može zaključiti da veličina sile koja se generiše unutar svake sarkomere zavisi direktno od broja stvorenih poprečnih mostova (*Fitts, 2008*). Odnosno, broj stvorenih poprečnih mostova zavisi direktno od koncentracije jona kalcijuma (Ca^{2+}) u citoplazmi, a koja je direktno uslovljena učestalošću nervnih signala koje alfa-motoneuron šalje u mišićno vlakno (*Gehlert, 2015*).

Da bi generisana sila bila veća, učestalost poslatih signala treba da je takva, da novi signal, odnosno novi akcioni potencijal, pristigne pre nego što dejstvo prethodnog prestane. Na taj način se obezbeđuje dovoljna koncentracija jona kalcijuma (Ca^{2+}) u citoplazmi, čime se omogućava ne samo stvaranje većeg broja poprečnih mostova, već i njihovo duže trajanje, a od toga direktno zavisi veličina generisane sile po svakom poprečnom mostu (*Nedeljković, 2016*).

1.2 MEHANIČKE OSOBINE MIŠIĆA

Svaki oblik kretanja koji je kontrolisan mehanizmima centralnog nervnog sistema i lokomotorng aparata, ispoljava se u obliku određenih motoričkih radnji. Uspešnost ispoljavanja motoričkih radnji opisuje se kao motorička sposobnost i od fundamentalnog je značaja za praćenje i analizu svih motoričkih manifestacija i za ocenu postignutog uspeha. Pod pojmom motoričke sposobnosti se podrazumeva ukupnost čoveka posmatrana sa aspekta mišićnog naprezanja u određenim aktivnostima (Kukolj, 2006).

„Motoričke sposobnosti predstavljaju kompleksne mogućnosti čoveka za manifestaciju kretnih struktura koje objedinjuju psihološke karakteristike, biohemijske i funkcionalne procese. U koordinativnom smislu, ovi procesi su limitirani karakteristikama nervnog i 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“ (Zaciorski, 1969).

Brojni teoretičari na različite načine su definisali motoričke sposobnosti. Od teorije koja definiše samo samo jednu, generalnu motoričku sposobnost (Brace, 1927), preko hipoteze specifičnosti (Henry, 1958), došlo se do podele na čak 21 motoričku sposobnost (Fleishman, 1964). Iz toga se može zaključiti da se radi o multidimenzionalnom prostoru sa kompleksnom strukturom, u okviru koje pojedine motoričke sposobnosti dominiraju u odnosu na druge, prilikom izvođenja određenih pokreta i motoričkih zadataka, pa se nazivaju dominantama uspeha. Motoričke sposobnosti čoveka u značajnoj meri su definisane silom, brzinom i snagom, zato ih moramo povezati i sa mehaničkim svojstvima mišićnog sistema.

Mehanička svojstva (osobine) mišića, Zatsiorsky (2000) je definisao kao ona mišićna svojstva koja se mogu izmeriti mehaničkim veličinama i naglasio da su to sila, brzina i snaga. Iz navedenih razloga silu brzinu i snagu moramo posmatrati i kao mehaničke osobine mišića i kao motoričke sposobnosti čoveka.

1.2.1 Sila

Sila predstavlja jednu od mehaničkih osobina mišića. S obzirom da je rečeno da mehaničke osobine mišića mogu biti posmatrane sa mehaničkog i sa motoričkog aspekta, na taj način ćemo i silu sagledati.

Sila (F) posmatrana sa mehaničkog aspekta se definiše kao proizvod mase (m) i ubrzanja (a). Ova definicija se predstavlja u obliku jednačine:

$$F = m \cdot a \quad (\text{jednačina 1.1})$$

pri čemu m predstavlja masu, dok a predstavlja ubrzanje.

Jedinica za merenje sile prema SI sistemu¹ je njutn (N), koji se definiše kao količina sile koja je potrebna da se masa jednog kilograma ubrza za jedan metar u sekundi na kvadrat ($kg \cdot m / s^2$).

Međutim, u teorijskom smislu pored mehaničkog aspekta silu možemo smatrati i ljudskom sposobnošću (Bompa, 2009). Sa tog aspekta silu definišemo kao motoričku sposobnost kojom se čovek suprotstavlja ili deluje na objekte iz svog okruženja, pri čemu se mišićno naprezanje sistemom poluga prenosi na telo u vidu ispoljene sile (Željaskov, 2004).

Treba naglasiti da neki autori kao sinonim za silu koriste izraz jačina ili jakost. Tako se može reći da je jačina² sposobnost ispoljavanja mišićne sile (Abernethy i sar., 1995), odnosno to je sposobnost mišića da ispolji veliku silu pri statičkim (izometrijskim) uslovima rada, ili da se suprotstavi velikom spoljašnjem otporu, kada su brzine mišićnog skraćivanja male (Kukolj, 2006). Takođe se može reći da je jakost primena sile, koja kao takva, predstavlja neuromuskularnu sposobnost savladavanja spoljašnjeg i unutrašnjeg otpora (Bompa, 2009).

Sve prethodno rečeno navodi na činjenicu da sila predstavlja jednu od osnovnih motoričkih sposobnosti čoveka.

¹ SI sistem predstavlja internacionalni sistem mernih jedinica.

² U literaturi na engleskom jeziku pojam jačina se sreće kao *strenght*.

1.2.2 Brzina

Pojam brzine (V) u naučno metodološkoj literaturi takođe, možemo posmatrati sa dva aspekta. U mehaničkom smislu, brzina predstavlja kretanje tela u prostoru i vremenu, a meri se pređenim putem za jedinicu vremena. U obliku jednačine, pojam brzine možemo predstaviti kao:

$$V = \frac{s}{t} \quad (\text{jednačina 1.2})$$

pri čemu s predstavlja pređeni put, dok t predstavlja proteklo vreme.

U motoričkom smislu brzina predstavlja sposobnost da se pokret ili kretanje izvedu maksimalnom brzinom, pri čemu je spoljašnji otpor mali, a aktivnost ne traje dugo, kako ne bi došlo do pojave zamora (Zaciorski, 1969). Pri ovome treba uzeti u obzir da složenost kretnog zadatka ne sme da bude velika, kako bi akcenat prilikom njegovog izvođenja bio na brzini, a ne na načinu kojim je izveden. (Kukolj, 2006).

Za brzinu kao motoričku sposobnost treba dati par napomena. Na prvom mestu treba reći da zahteva visok nivo neuromišićne aktivacije, koja je praćena dobrom koordinacijom pokreta (Mayr i Zaffagnini, 2015). Pored toga treba napomenuti i da je u velikoj meri određena genetskim faktorom (Malacko i Rađo, 2004).

Brzina u motoričkom smislu se ispoljava u svoja tri oblika. To su *brzina reagovanja*, *brzina pojedinačnog pokreta* i *frekvencija pokreta*. Pod brzinom reagovanja podrazumeva se vreme koje protekne od momenta javljanja stimulusa, pa do početka izvođenja pokreta. Brzina pojedinačnog pokreta predstavlja najkraće vreme koje je potrebno da bi se određeni pokret izvršio. Frekvencija pokreta predstavlja učestalost ponavljanja pokreta u jedinici vremena, koja se ogleda u brzom i naizmeničnom uključivanju i isključivanju antagonističkih grupa mišića.

Imajući na umu pomenute činjenice, treba biti obazriv prilikom testiranja brzine, kao motoričke sposobnosti.

1.2.3 Snaga

Snaga (P) se takođe može posmatrati na dva načina. U mehaničkom smislu definiše se kao rad (A) izvršen u jedinici vremena (t), što se može primeniti i na snagu mišića i zapisati jednačinom:

$$P = \frac{A}{t} \quad (\text{jednačina 1.3})$$

Pošto je mišićni rad srazmeran proizvodu njegove sile (F) i dužine njegovog skraćenja pod dejstvom te sile (s):

$$A = F \cdot s \quad (\text{jednačina 1.4})$$

Iz toga možemo izvesti obrazac:

$$P = \frac{F \cdot s}{t} \quad (\text{jednačina 1.5})$$

Ako uzmemo da je količnik dužine skraćenja mišića (s) i proteklog vremena (t) jednak brzini njegovog skraćenja (V):

$$V = \frac{s}{t} \quad (\text{jednačina 1.6})$$

Konačno, transformisanjem jednačine 1.5 dobićemo oblik:

$$P = F \cdot V \quad (\text{jednačina 1.7})$$

To znači da snaga mišića (P) može da se izračuna iz sile mišića (F) i brzine njegovog skraćenja (V).

Prema SI sistemu, jedinica kojom se izražava snaga je vat (W), što se kroz formulu može izraziti kao:

$$W = N \cdot m^2 \cdot s^{-3} \quad (\text{jednačina 1.8})$$

U motoričkom smislu snaga predstavlja sposobnost mišića da se umerenom spoljašnjem otporu suprotstavi relativno velikom silom i velikom brzinom skraćanja (Kukolj, 2006), pa se može zaključiti da snaga predstavlja optimalan odnos sile i brzine (Cormie i sar., 2011a).

Iz navedenog proizilazi da mišićne sposobnosti zavise u mnogome od mehaničkih osobina mišića (Zatsiorsky, 2000), a poznavanje mehaničkih osobina mišića doprinosi boljem razumevanju dizajna i funkcionisanja lokomotornog sistema čoveka (McMahon, 1984).

Ispoljavanje mišićne sile, brzine i snage je prisutno u svakodnevnim aktivnostima, ali i pri obavljanju radnih zadataka, ili u težnji za postizanjem visokih sportskih dostignuća. Bilo da ih posmatramo sa motoričkog ili mehaničkog aspekta, uviđamo da su veoma složene i kao takve, da su predmet istraživanja u različitim naučnim oblastima, decenijama unazad, jer otvaraju mogućnost da se kroz njih upozna i razume građa i funkcija, kako samog mišića, tako mišićno-skeletnog sistema.

Ako se vratimo unazad, zaključićemo da su mehaničke osobine mišića sastavni deo motoričkih sposobnosti čoveka, koje dolaze do izražaja prilikom izvođenja voljnih pokreta, nastalih usled mišićne aktivacije. S tim u vezi, ukoliko želimo da se bavimo analizom mehaničkih osobina mišića, moramo sagledati i brojne faktore koji utiču na ispoljavanje ovih osobina.

1.2.4 Faktori koji utiču na ispoljavanje mehaničkih osobina mišića

Ispoljavanje mehaničkih osobina mišića zavisi od *uslova rada* u kojima mišić deluje, ali prvenstveno od *neuroloških* i *morfoloških faktora* mišićnog sistema, koji u sadejstvu sa samim *mehaničkim karakteristikama* mišića čine prediktore za ispoljavanje ovih osobina.

1.2.4.1 Uslovi rada

Uslovi rada predstavljaju skup okolnosti u kojima se određena radnja sprovodi. Tako se i mišićna aktivnost sprovodi pod određenim uslovima, čije promene mogu uticati na karakteristike samog mišića, a time i na ispoljavanje njegovih mehaničkih osobina (Cormie i sar., 2011a). Pod uslovima rada podrazumevaju se promene *hormonskog statusa*, promene uzrokovane *zamorom* i promene u *temperaturi mišića*.

Hormonski status

Akutne promene hormonskog statusa utiču na trenutno ispoljavanje mehaničkih osobina mišića (Cormie i sar., 2011a). Od njega zavise adaptacioni mehanizmi mišića, koji direktno uslovljavaju ispoljavanje mišićne sile i snage (Hakkinen, 1989).

Zamor

Zamor može izazvati niz promena u ispoljavanju mehaničkih osobina mišića. Usled zamora dolazi do promena u akcionom potencijalu, što prouzrokuje disbalans jona u vanćelijskom prostoru, kao i disbalans jona i metabolita u samoj ćeliji (Enoka, 1995). Zamor utiču na ispoljavanje snage mišića, jer direktno utiču na generisanje sile i brzine mišićnog skraćenja tokom kontrakcije (Cormie i sar., 2011a).

Temperatura mišića

Promene radne temperature mišića takođe utiče na ispoljavanje mehaničkih osobina mišića (Cormie i sar., 2011a). Brojna istraživanja su pokazala negativan uticaj smanjenja radne temperature mišića na brzinu njegovog skraćenja i količinu generisane sile, a samim tim i na ispoljavanje maksimalne mišićne snage.

1.2.4.2 Neurološki faktori

Neurološki faktori podrazumevaju brojne i složene aktivnosti kojima nervni sistem deluje na motorne jedinice u cilju aktivacije mišića. Primarna kontrola mišićne aktivacije ogleda se u vidu *unutarmišićne koordinacije* i *međumišićne koordinacije*. Ipak, pre svega se treba upoznati sa *mišićnom aktivacijom*.

Mišićna aktivacija

Generisanje mišićne sile, direktno je uslovljeno stepenom mišićne aktivacije, pa se nameće potreba za detaljnijim objašnjenjima. Naime, već smo rekli da se svaki mišić sastoji od mišićnih vlakana, koje inervišu alfa-motoneuroni. Jedan alfa-motoneuron istovremeno može da inerviše veći broj mišićnih vlakana i ovaj skup čini motornu jedinicu. Kada nerv prenese signal, sva mišićna vlakna pripadajuće motorne jedinice počnu da razvijaju silu. Jedan nervni signal generiše uvek isti nivo sile. Međutim, sa povećanjem učestalosti nervnih signala, nivo generisane sile raste (*Cormie i sar.*, 2011a), jer ukoliko novi nervni signal pristigne do mišićnog vlakna pre nego što se nivo prethodno generisane sile vratio na početnu vrednost, doći će do generisanja nove sile koja se dodaje na već postojeću. Pošto je svaki mišić sačinjen od većeg broja motornih jedinica, očigledno je da će sila mišića zavisiti od broja motornih jedinica koje su aktivirane i frekvencije nervnih signala koji do njih dolaze. Tako generisanje maksimalne sile se postiže postojanjem dovoljno velike učestalosti nervnih signala koji dovode do slivanja kontrakcija u jednu složenu kontrakciju, zvanu tetanička kontrakcija (*McMahon*, 1984).

Stepen mišićne aktivacije može da varira u širokom opsegu. Od pasivnog stanja, pri kojoj nervna aktivacija ne postoji (sem minimalne, neophodne za mišićni tonus), pa do maksimalne nervne aktivacije u aktivnom stanju, kada je stepen nervne ekscitatorne aktivnosti maksimalan. Pošto je vršenje pokreta voljni proces, onda možemo govoriti o maksimalnoj voljnoj aktivaciji, a samim tim i o maksimalnoj voljnoj kontrakciji.

Za optimalnu procenu motoričkih sposobnosti mišića, neophodno je tražiti od ispitanika, prilikom testiranja, da zadatak izvrše maksimalnim angažovanjem i naporom, odnosno, da ispolje maksimalnu voljnu kontrakciju.

Unutarmišićna koordinacija

Unutarmišićna koordinacija je prvenstveno vezana za aktivaciju motornih jedinica. Ispoljavanje mišićne sile direktno je vezano za tip mišićnih vlakana i broj motornih jedinica uključenih u kontrakciju mišića. Pri voljnoj kontrakciji mišića aktivacija motornih jedinica se vrši sistematskim redosledom, što dovodi do postepenog povećanja sile prema tzv. *principu veličine* (Faulkner i sar., 1986b, Cormie i sar., 2011a). Princip veličine podrazumeva da se za potrebe razvoja manjeg nivoa mišićne sile najpre aktiviraju mali alfa-motoneuroni, koji vrše inervaciju sporih mišićnih vlakana (tipa I). Međutim, ukoliko je potreban veći nivo mišićne sile, nakon sporih mišićnih vlakana, dolazi do postepene aktivacije većih alfa-motoneurona i brzih mišićnih vlakana (tipa II). Princip veličine je zakonitost koja važi za sve tipove mišićne kontrakcije (Cormie i sar., 2011a).

Na unutarmišićnu koordinaciju uticaj ima i *frekvencija paljenja* motornih jedinica. To predstavlja učestalost prenošenja nervnih impulsa sa alfa-motoneurona na mišićna vlakana tokom kontrahovanja mišića. Odnosno, generisanje mišićne sile se povećava sa povećanjem frekvencije paljenja motornih jedinica, a takođe, od frekvencije paljenja motornih jedinica zavisi i brzina prirasta sile tokom mišićne kontrakcije (Cormie i sar., 2011a).

Značajan uticaj na unutarmišićnu koordinaciju ima i *sinhronizacija rada* motornih jedinica. Ona podrazumeva istovremeno aktivirane dve ili više motornih jedinica i predstavlja veoma bitan faktor od koga zavise veličina i brzina generisane sile mišića (Cormie i sar., 2011a).

Međumišićna koordinacija

Međumišićna koordinacija se može objasniti kao kombinacija aktivacije odgovarajućeg intenziteta i sinhronizovanje rada agonističkih, sinergističkih i antagonističkih grupa mišića tokom izvođenja pokreta (Sale, 2003). Iz toga proizilazi da u ekonomičnom i efikasno izvedenom pokretu, aktivaciju agonista treba da prati aktivacija sinergista i koaktivacija antagonista (Sale, 2003), odnosno njihova koordinisana aktivnost (Sale, 2003, Cormie i sar., 2011a).

1.2.4.3 Morfološke karakteristike mišića

Ispoljavanje mehaničkih osobina mišića tokom vršenja pokreta je uslovljeno kontraktilnim kapacitetima, koji su pod direktnim uticajem niza morfoloških faktora. Kao najvažniji izdvajaju se *tip mišićnih vlakana* i *arhitektura mišića*. Međutim, sastavni deo svakog mišića su njegove tetive, pa se mora sagledati i uticaj *osobina tetiva* na kontraktilne elemente i njihovu funkciju unutar mišićno-tetivnih jedinica.

Tip mišićnih vlakana

Osnovna podela mišićnih vlakana je na spora i brza mišićna vlakna. Međutim, ako sagledamo histohemijske, morfološke i fiziološke karakteristike mišićnih vlakana, možemo ih podeliti na (*Cormie i sar.*, 2011a):

- Spora oksidativna mišićna vlakna (tip I);
- Brza oksidativna mišićna vlakna (tip IIa)
- Brza glikolitička mišićna vlakna (tip IIb)

Svaki od navedenih tipova odlikuje se karakteristikama koje definišu njihovu zastupljenost u celokupnoj strukturi mišića, a koje se reflektuju na ispoljavanje njihovih mehaničkih osobina. Naime, dokazano je da mišićna vlakna tipa II imaju tri puta veći potencijal za razvoj maksimalne brzine i četiri puta veći potencijal za razvoj maksimalnu snagu, u odnosu na mišićna vlakna tip I (*Faulkner i sar.*, 1986a). Takođe, dokazano je i da mišićna vlakna tipa II mogu razviti veću silu od mišićnih vlakana tipa I. Ovi dokazi su izvedeni posmatranjem pojedinačnih mišićnih vlakana odgovarajućeg tipa, ali i poređenjem mišića koji imaju dominantan procenat brzih, u odnosu na mišiće sačinjene uglavnom od sporih mišićnih vlakana (*Cormie i sar.*, 2011a).

Dakle, razlike uočene u ispoljavanju mehaničkih osobina mišića kod različitih tipova mišićnih vlakana zasnovane su na relativnim razlikama ispoljene sile i brzine, njihovim međusobnim odnosima, a time i dobijene snage. Za ispoljavanje maksimalne snage veći uticaj imaju razlike u nivou maksimalne brzine u odnosu na razlike u nivou maksimalne sile. Takođe, treba napomenuti i mogućnost transformisanja mišićnih vlakana iz jednog u drugi tip ili podtip.

Arhitektura mišića

Pod arhitekturom mišića se podrazumeva *površina fiziološkog preseka, dužina mišića i ugao pripajanja mišićnih vlakana* (Cormie i sar., 2011a).

Površina fiziološkog preseka mišića je u direktnoj vezi sa ispoljenom silom, jer maksimalna sila koju generiše pojedinačno mišićno vlakno je u direktnoj srazmeri sa njegovim poprečnim presekom, bez obzira kom tipu pripada (Edgerton i sar., 1986). Pošto je snaga direktno uslovljena silom, to znači da mišićno vlakno većeg poprečnog preseka može da proizvede veću snagu (MacIntosh i Holash, 2000). Kao zaključak sledi da mišić sa većim fiziološkim presekom može razviti veću silu, a time i snagu.

Od *dužine mišića* zavisiće brzina njegovog skraćanja. Dokazano je da različiti tipovi mišićnih vlakana imaju različitu brzinu skraćanja sarkomera. Takođe, je dokazano da maksimalna brzina kojom se mišićno vlakno može skratiti je u srazmeri sa njegovom dužinom (Edgerton i sar., 1986; MacIntosh i Holash, 2000). Hipotetički posmatrano, poređenjem dva mišićna vlakna različite dužine, pri konstantnoj brzini skraćanja sarkomera, veću brzinu skraćanja će razviti duže mišićno vlakno. Pošto je razvoj snage direktno uslovljen brzinom, proizlazi da duža mišićna vlakna imaju veći potencijal za razvoj mišićne snage (Edgerton i sar. 1986; MacIntosh i Holash, 2000).

Ugao pripajanja mišićnih vlakana je takođe bitan faktor čiji se fiziološki efekti direktno prenose na mehaničke osobine mišića. Definišu ga uzdužna osa mišićnog vlakna i linija pripajanja na aponeurozi ili tetivi mišića. Veći ugao pripajanja uslovljava veći broj sarkomera postavljenih u paralelan položaj, a time se stvara uslov da se ispolji veća sila (Cormie i sar., 2011a). Međutim, veći ugao pripajanja ima negativan uticaj na brzinu mišićne kontrakcije, odnosno na brzinu skraćanja mišićnih vlakana.

Osobine tetiva

Osobine tetiva podrazumevaju interakciju između tetive i mišićne fascije, odnosno interakciju elastičnih i kontraktilnih elemenata. Drugim rečima osobine tetiva se opisuju kao unutrašnja popustljivost tetive, koja zapravo uslovljava promenu dužine mišićne fascije, koja ima direktan uticaj na definisanje relacija sila-dužina i sila-brzina, time i na ispoljavanje mišićne snage (Cormie i sar., 2011a).

1.2.4.4 Mehanički faktori

Mehanički faktori su veoma bitni za razumevanje mehaničkih osobina mišića. Čine ih *tipovi mišićne kontrakcije, komponente mišićne sile i relacija sila-dužina*.

Tipovi mišićne kontrakcije

Osnovna karakteristika mišićnog tkiva jeste da reaguje na stimulus povećavajući napetost i skraćujući se, što se naziva kontrakcijom (Nikolić, 2003). Različiti autori (Jarić, 1997; Newton, 1997; Zatsiorsky, 2000; Željaskov, 2004) koji su se bavili ovom problematikom slažu se da postoje tri osnovna tipa mišićne kontrakcije. To su koncentrična mišićna kontrakcija, ekscentrična mišićna kontrakcija i izometrijska mišićna kontrakcija. Međutim, u literaturi, ali i u praksi često se sreće i izokinetička mišićna kontrakcija.

Koncentrična mišićna kontrakcija se javlja pri skraćivanju mišića. Pri njoj ispoljena mišićna sila je veća u odnosu na spoljašnji otpor, pa kretanje ima savlađujući karakter. Iz toga proizilazi da dejstvo mišićne sile i pokret imaju isti pravac kretanja. Karakteristične aktivnosti u kojima se javlja su bacanja, dizanja, odskoci, guranja.

Ekscentrična mišićna kontrakcija se ispoljava kada se mišić izdužuje. Kod ove kontrakcije pravac delovanja mišićne sile je suprotan u odnosu na pravac pokreta, jer su spoljašnje sile, u vidu sopstvene težine, ili sile interakcije sa okruženjem, veće od unutrašnjih sila generisanih u nervno-mišićnom aparatu. Ekscentrična mišićna kontrakcija može se videti na primeru doskoka u čučanj.

Izometrijska mišićna kontrakcija ima ulogu da uspostavi ravnotežu između spoljašnjih i unutrašnjih sila. U ovom slučaju miofibrili u mišiću se skraćuju, a istovremeno elastični elementi mišića rastežu, što dovodi do mišićnog naprezanja i proizvodnje sile, ali se ukupna dužina mišića ne menja. Iako pri izometrijskoj kontrakciji, sa mehaničkog aspekta nema vršenja rada, energetska potrošnja je prisutna. Primeri ove mišićne kontrakcije su različite vrste stavova ili izdržaja.

Pored prethodno navedenih mišićnih kontrakcija, koje možemo smatrati osnovnim, treba da pomenemo i *izokinetičku mišićnu kontrakciju*. Ona se može stvoriti u specijalnim uslovima i pomoću specijalnih trenažnih sprava može se održati na

određenom nivou. Izokinetičku mišićnu kontrakciju određuje spoljašnji otpor, koji zavisi od brzine pokreta. Tako se stvaraju uslovi za maksimalno opterećenje mišića tokom celog pokreta, pri čemu je otpor proporcionalan primenjenoj sili u svim tačkama radnog opsega. Veličina sile, koja se može realizovati u svim fazama pokreta, zavisi od trenutne brzine i od uglova u odgovarajućim zglobovima.

U realnim uslovima, bilo da se radi o svakodnevnim kretnim zadacima ili sportskim aktivnostima, retko se koriste pokreti sa izolovanim mišićnim kontrakcijama. Kretne aktivnosti najčešće podrazumevaju sukcesivno kombinovanje ekscentričnih i koncentričnih mišićnih kontrakcija, u kojima se mišićna vlakna najpre izdužuju, a potom skraćuju. Prema tome ciklus u kome se naizmenično smenjuju ove kontrakcije se naziva ciklus izduženja-skraćenja³. Pomenute ekscentrična i koncentrična kontrakcija predstavljaju najčešću kombinaciju pri vršenju pokreta, ali ne treba zanemariti ni izometrijsku, koja se može kombinovati zajedno sa njima ili pojedinačno sa svakom od njih. Sposobnost mišića da ispolji određene karakteristike uslovljeno je tipom mišićne kontrakcije uključene u pokret. U uslovima rada kada se mišićno vlakno najpre izduži, a odmah potom brzo skrati, nivo generisane sile je veći nego pri izolovanoj koncentričnoj kontrakciji (Komi, 1992). Iz toga proizilazi da je i maksimalna snaga mišića veća, ako nastane u pokretu koji uključuje ciklus izduženje-skraćenje (Newton, 1997; Cormie i sar. 2011a). Povećanje sile, a samim tim i snage, tokom koncentrične kontrakcije nakon izduženja, proizilazi iz relacije sila-brzina koja se pomera ka većim silama, pri istoj zadatoj dužini (Chapman, 1985).

Komponente mišićne sile

Mišićne kontrakcije, bez obzira kom tipu pripadale, prouzrokuju stvaranje sile, koja nije rezultat pojedinačnog fiziološkog ili mehaničkog procesa koji se u njemu odvija, već sadejstva više nezavisnih komponenti (Nikolić, 2003; Jarić, 1997).

Najvažnije komponente mišićne sile su aktivna, pasivna i viskozna komponenta mišićne sile.

³ Ciklus izduženje-skraćenje poznat je u literaturi pod engleskim nazivom *The Stretch-shortening cycle*.

Aktivna komponenta mišićne sile - Ova komponenta predstavlja rezultat interakcije aktinskih i miozinskih filamenata. To znači da je mesto njenog delovanja u mišićnom vlaknu, ali samo kada je ono pod dejstvom nervne aktivacije, odnosno razvija se samo pri aktivnom stanju mišića. Ova komponenta isključivo deluje u smeru mišićnog skraćenja.

Pasivna komponenta mišićne sile - Ova komponenta nastaje u vezivno-potpornom tkivu mišića. Nastaje prilikom opiranja njegovom prekomernom izduženju. Zbog toga se javlja samo pri većim izduženjima mišića. Kada je mišić maksimalno izdužen vrednosti pasivne komponente mogu nadmašiti vrednosti aktivne komponente uzrokovane maksimalnom voljnom aktivacijom, što može da dovede do oštećenja ili pucanja mišića ili tetive. Iz navedenog se može zaključiti da se ova komponenta razvija unutar mišića, u njegovim ovojnica i u tetivama mišića. Pasivna komponenta mišićne sile deluje samo u smislu skraćenja mišića.

Viskozna komponenta mišićne sile - Razlozi nastajanja ove komponente jesu viskozna svojstva mišića. To se može objasniti činjenicom, da pri kontrakciji mišića dolazi do međusobnog klizanja aktinskih i miozinskih filamenata, što dovodi do izvesnog unutrašnjeg trenja, pa se mišićno tkivo u izvesnom smislu može posmatrati kao fluid. Mišić se suprotstavlja promeni svog oblika, odnosno dužine, unutrašnjom mehaničkom silom. Samim tim ova komponenta je locirana u mišićnim vlaknima. Dakle, viskozna komponenta mišićne sile postoji samo ako dolazi do promene dužine mišića, a od brzine ove promene zavisiće njena veličina. S obzirom da se promena dužine mišića može odvijati u smislu skraćenja (koncentrična kontrakcija) ili izduženja, (ekscetrična kontrakcija) viskozna komponenta može delovati u oba smera, za razliku od aktivne ili pasivne komponente, koje deluju samo u smeru skraćenja. Smer delovanja viskozne komponente suprotan je od smera delovanja mišićne sile, što znači, da ako neka spoljašnja sila izdužuje mišić, viskozna komponenta će se tome opirati i delovati silom u smeru skraćenja. U suprotnom slučaju, ako se mišić skraćuje, viskozna komponenta će se takođe opirati i delovati silom u smeru izduživanja.

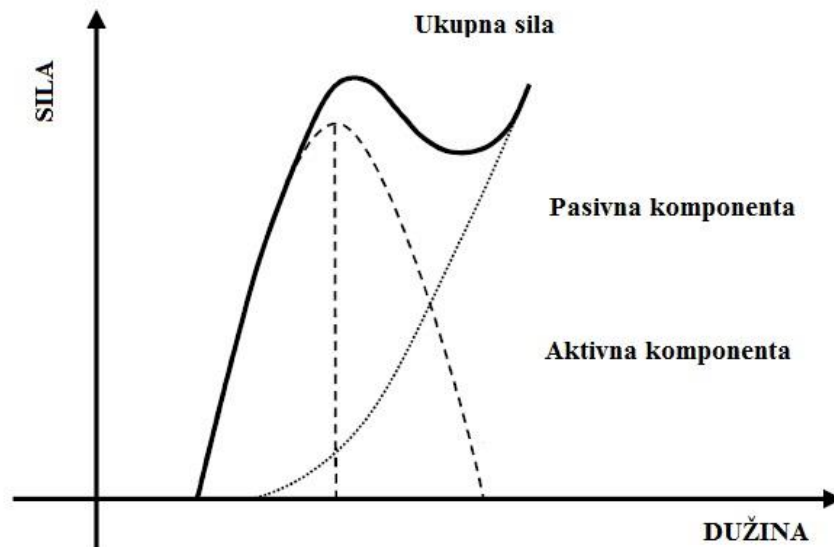
Iz gore navedenog mogu se izvesti zaključci bitni za razumevanje mehaničkih osobina mišića, ali i vršenje pokreta uopšte. Generalno, ispoljavanje komponenti mišićne sile zavisiće od režima mišićnog rada.

Režim rada mišića deluje tako što u izometrijskim uslovima deluju aktivna i pasivna komponenta, za razliku od viskozne koja u ovim uslovima ne postoji, jer nema skraćenja ili izduženja mišića. U pasivnom stanju mišića, kada je on u izometrijskom režimu rada deluje samo pasivna komponenta. Međutim, kada je mišić u pasivnom stanju, ali u koncentričnom ili ekscentričnom režimu rada tada deluju viskozna i pasivna komponenta. Pasivna komponenta se javlja pri velikim dužinama mišića, a pri dužinama blizu maksimalnih može biti znatno veća od preostale dve. Promene dužine mišića utiču na viskoznu komponentu, koja je veća pri bržim kontrakcijama. Aktivna komponenta se javlja isključivo pri nervnoj aktivaciji mišića. Nivo aktivacije direktno utiče na aktivnu komponentu, dok na pasivnu i viskoznu nema uticaja.

Već je rečeno da je mišićna sila najvažnija u odnosu na sve ostale sile koje učestvuju u kretanju čoveka, jer samo na nju čovek može direktno da utiče. Međutim, sagledavši komponente mišićne sile zaključujemo zapravo da čovek, odnosno njegov nervni sistem, direktno upravlja samo aktivnom komponentom mišićne sile, dok pasivna i viskozna komponenta nisu pod direktnom kontrolom nervnog sistema, već zavise od oblika i strukture, kao i trenutnih uslova rada mišića (*Jarić, 1997*).

Relacija sila-dužina

Relacija sila-dužina (*slika 1.5*) predstavlja jednu od relacija koja opisuje mehaničke osobine mišića. Ova relacija se ogleda u sposobnosti mišića da generiše silu. Međutim, generisanje mišićne sile direktno je uslovljeno dužinom sarkomere (*Newton, 1997; Cormie i sar., 2011a*). Najveći potencijal za generisanje sile na poprečnim mostovima dešava se u momentu kada dužina sarkomere obezbeđuje optimalno preklapanje između aktinskih i miozinskih vlakana. Optimalna dužina sarkomere omogućava najveću interakciju na poprečnim mostovima, što dovodi do generisanja najveće sile. U suprotnom, ako su sarkomere previše izdužene ili skraćene, generisanje sile biće umanjeno, jer u tim slučajevima interakcija između poprečnih mostova nije maksimalna (*Cormie i sar., 2011a*). Iz toga se može zaključiti da aktivna komponenta mišićne sile, sa konstantnim stepenom aktivacije, najveću silu razvija pri srednjoj dužini mišića (*Jarić, 1997; Cormie i sar., 2011a*). S obzirom da relacija sila-dužina direktno utiče na razvoj sile, samim tim i snage vidimo da ima važnu ulogu u ispoljavanju mehaničkih osobina mišića.



Slika 1.5: Relacija sila-dužina, odnosno zavisnost ukupne mišićne sile od njegove dužine (Jarić, 1997, modificirano)

Ako sagledamo značenje reči osobina, vidimo da je to nešto što opisuje, određuje, daje formu ili karakter određenom pojmu. Tako i mehaničke osobine mišića predstavljaju njegovu ličnu kartu u mehaničkom smislu, a skup ovih osobina mu daje identitet. Međutim, to je samo deskriptivni oblik posmatranja. U praktičnom smislu ove osobine se ispoljavaju istovremeno, pa je neophodno posmatranje njihovog udruženog delovanja i njihovih međusobnih odnosa i relacija. Ovi odnosi i relacije su veoma kompleksni, a u tom složenom odnosu se kriju brojni odgovori vezani za ocenu samih mehaničkih osobina mišića, ali i za praktičnu primenu u modelovanju i optimizaciji motoričkih zadataka u trenažnom procesu ili rehabilitaciji. Iz tih razloga procena ovih relacija je veoma bitna, pa ćemo se u nastavku ove teze baviti njima.

1.3 RELACIJE SILA-BRZINA I SNAGA-BRZINA

1.3.1 Relacija sila-brzina

Posmatranje odnosa sile koju mišić ispoljava i brzine njegovog skraćanja u datom momentu privlači pažnju naučnika gotovo jedan vek unazad. Ova zavisnost sile mišića od brzine njegovog skraćanja se naziva relacijom sila-brzina (F - V relacija).

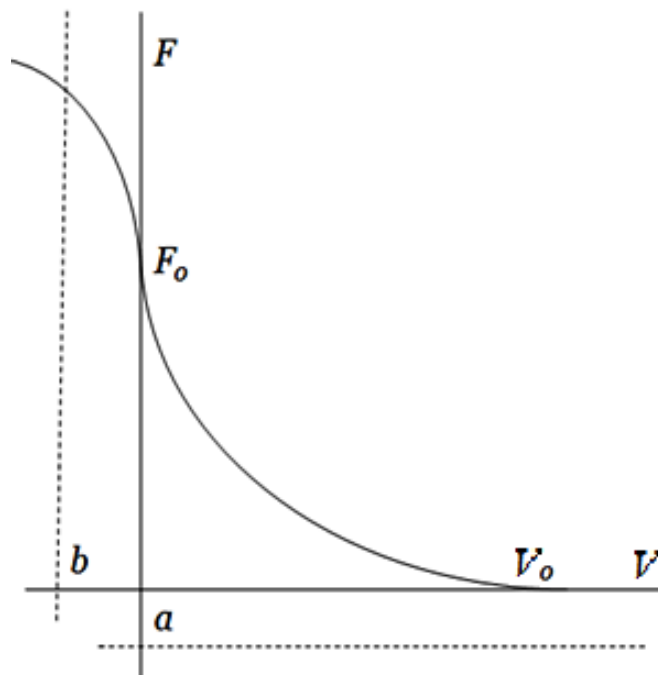
Odavno je poznato da sa povećanjem brzine skraćanja, mišić ispoljava sve manju mogućnost za ispoljavanje sile i obrnuto. Pri čemu se podrazumeva da je stepen aktivacije mišića konstantan. Za ovaj fenomen uzroke možemo tražiti u kontraktilnim mehanizmima mišića i u njegovim viskozim svojstvima. U prvom slučaju uzroke vidimo u interakciji između poprečnih mostova aktinskih i miozinskih vlakana. Ako uzmemo u obzir da je za stvaranje poprečnih mostova između aktinskih i miozinskih vlakana potrebno određeno vreme, njihov ukupan broj se smanjuje sa povećanjem brzine mišićnog skraćanja. Na osnovu toga se može zaključiti da mišićna sila zavisi od broja ostvarenih veza između aktinskih i miozinskih vlakana, pa se sa većom brzinom skraćanja njihov broj smanjuje, a samim tim i kapacitet za ispoljavanje sile (Nikolić, 2003; Hong i Bartlett, 2008; Cormie i sar., 2011a). Drugi uzrok izazivaju viskozna svojstva mišića. To je karakteristika mišića da se suprotstavlja promeni svoje dužine. Smer dejstva viskozne komponenta je uvek suprotan smeru promene dužine mišića, a intenzitet sile ove komponente raste sa brzinom promene dužine mišića.

F - V relacija je proučavana na različitim organizacionim nivoima. Od izolovanih mišića, preko jednozglobnih pokreta, do nivoa složenih pokreta. Sva ova istraživanja, iako imaju različite pristupe, mogu da predstavje zavisnosti sile mišića od brzine njegovog skraćanja istom jednačinom:

$$F = \frac{F_0 \cdot b - a \cdot V}{V + b} \quad (\text{jednačina 1.9})$$

U navedenom obrascu F predstavlja silu mišića pri njegovoj optimalnoj dužini, F_0 predstavlja parametar maksimalne sile mišića, V predstavlja brzinu skraćanja mišića, dok a i b predstavljaju konstante sile i brzine.

Prikazani obrazac može se predstaviti grafički, u vidu hiperbolične krive (slika 1.6), koja opisuje inverznu relaciju između sile i brzine (Hill, 1938). Drugim rečima, odnos sile i brzine (predstavljen punom linijom) pri koncentričnoj kontrakciji mišića ukazuje, da sa povećanjem brzine mišićnog skraćanja ($V > 0$), mogućnost za generisanje sile opada, sve do momenta dostizanja maksimalna brzina (V_0), pri kojoj mišić više ne može da razvije silu, tokom date kontrakcije.



Slika 1.6: Hilova kriva relacije sila-brzina (Jarić, 1997)

Na slici 1.6 F_0 predstavlja parametar sile, odnosno maksimalnu izometrijsku silu mišića, što znači u odsustvu brzine ($V = 0$). V_0 predstavlja parametar brzine, odnosno maksimalnu brzinu skraćanja neopterećenog mišića ($F = 0$), dok a i b određuju asimptote parabole.

Prvi koji je relaciju sila-brzina opisao matematičkim obrascem bio je britanski naučnik *Arčibald Vivian Hil*, po kome je predstavljena jednačina dobila naziv *Hilova jednačina*, a karakteristična kriva koja opisuje ovu relaciju *Hilova kriva*. Iako je radio na izolovanom mišiću (*m. sartorius*) žabe (Hill, 1938), komplementarnost i primenljivost ovog modela je kasnije dokazana i na voljnim pokretima čoveka (Bosco i Komi, 1979; Kaneko i sar., 1983; Cormie i sar., 2011a).

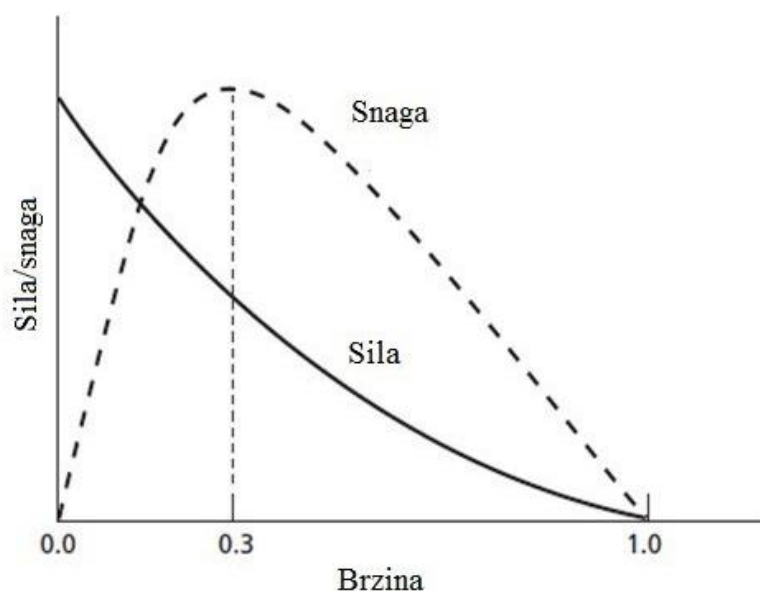
1.3.2 Relacija snaga-brzina

Relacija snaga-brzina (P - V relacija) predstavlja osobinu mišića koja diktira kapacitete mišića za ispoljavanje njegove snage. To znači da se iz F - V relacije mogu direktno dobiti informacije o snazi mišića. Posmatranjem ispoljavanja snage kao motoričke sposobnosti, uočava se njen direktan uticaj na efikasnost izvođenja kretnih zadataka (skokova, bacanja, udaraca, promena pravaca, ubrzanja, usporenja...) koji su važni za uspeh u brojnim takmičarskim situacijama u različitim sportovima, u radnim, ali i svakodnevnim aktivnostima (Newton i Kraemer, 1994; Newton, 1997).

U poglavlju 1.2.1 već je dat obrazac za izračunavanje snage:

$$P = F \cdot V \quad (\text{jednačina 1.7})$$

To znači da se snaga mišića (P) može izračunati iz sile mišića (F) i brzine njegovog skraćenja (V). Pošto vrednosti ova dva parametra direktno određuju F - V relaciju, možemo zaključiti da za svaku promenu brzine mišića možemo izračunati njegovu snagu kao proizvod te brzine i sile koja se pri njoj razvija. Odatle sledi da iz F - V relacije (puna linija, na slici 1.7) direktno proizilazi P - V relacija (isprekidana linija).



Slika 1.7: Relacije sila-brzina i snaga-brzina pri koncentričnoj kontrakciji mišića (Zatsiorsky, 2000)

Pri maksimalnoj aktivaciji mišića, o relacijama $F-V$ i $P-V$ i njihovoj povezanosti, možemo izvesti sledeće zaključke. Ukoliko je mišić u izometrijskom režimu rada ili deluje maksimalnom brzinom u koncentričnom režimu rada, snaga koju će generisati biće jednaka nuli. U prvom slučaju razlog leži u brzini skraćanja mišića, koja je jednaka nuli, dok u drugom slučaju razlog predstavlja mišićna sila koja je jednaka nuli.

Pošto je intenzitet mišićne sile, a samim tim i režim mišićnog skraćanja određen spoljnim opterećenjem, mišići najveće brzine skraćanja mogu da ostvare bez ili pri minimalnim spoljašnjim opterećenjima. Sa druge strane, mišići najvećom silom deluju protiv velikih spoljašnjih opterećenja, u izometrijskom režimu, ili pri malim brzinama skraćanja. U oba slučaja proizvod rezultira malom snagom.

Međutim, kada mišići deluju protiv umerenih opterećenja, tada mogu da razviju veće brzine skraćanja, a samim tim i veću snagu, uprkos manjoj sili (Hill, 1938). Na prikazanoj slici vidimo da sa povećanjem brzine skraćanja mišića, sila opada, nasuprot snazi koja raste do najveće svoje vrednosti (P_0), koju razvija negde pri 1/3 maksimalne brzine svog skraćanja, a potom će njene vrednosti opadati zajedno sa vrednostima sile. Iz toga proizilazi da se sila i snaga mišića razvijaju različito pri istim brzinama skraćanja i istim režimima mišićne kontrakcije.

Zbog međusobne povezanosti mišićne sile i brzine mišićnog skraćanja, maksimalna snaga predstavlja proizvod idealne kombinacije submaksimalne sile i pripadajuće brzine (McMahon, 1984; Cormie i sar., 2011a). To znači da pri savladavanju određenog opterećenja mišić ne može podjednako razviti i brzinu i silu. Pri tome najveću snagu mišić ostvaruje u uslovima u kojima je brzina 30 – 40 % od maksimalne brzine, a sila oko 30 % od maksimalne sile, (Hill, 1938; Nikolić, 2003; Zatsiorsky, 2009), dok neki podaci govore da se može kretati i do 50 % od maksimalne sile (Yamauchi i Ishii, 2007; Yamauchi, 2009).

1.3.3 Mogućnosti praktične primene relacija sila-brzina i snaga-brzina

U okviru mehaničkih osobina mišića najčešće se posmatra zavisnost mišićne sile i snage u odnosu na brzinu mišićnog skraćanja, bilo da se radi o skraćanju pojedinačnog mišića ili izvođenju složenih motoričkih zadataka (McMahon, 1984). Mehaničke osobine mišića i njihove međusobne odnose u smislu praktične primene Zatsiorsky (2009), sagledava kroz sledeće :

- Vrednosti maksimalne sile u dinamičkim uslovima, su veće kada se pokret izvodi pri relativno velikom opterećenju, malom brzinom. Odnosno maksimalna sila ispoljena u uslovima promenljivog intenziteta, tokom izvođenja motoričkog zadatka, određuje silu koja se može ispoljiti u dinamičkim uslovima;
- U veoma brzim pokretima nije moguće ispoljiti veliku silu. Ako se prva faza pokreta izvede suviše brzo, smanjiće se mogućnost za primenu velike sile tokom druge faze pokreta. Kao primer, može se uzeti vežba mrtvo dizanje, pri kojoj ako se podizanje tega sa poda započne prebrzo, dešava se da se maksimalna sila ne proizvede u najvažnijem položaju, odnosno kada je teg u nivou kolena;
- Maksimalna snaga se postiže kada su sila i brzina u opsegu srednjih vrednosti. Pošto su sila i brzina obrnuto proporcionalne, maksimalna snaga se može razviti u srednjem opsegu vrednosti sile i brzine, tj. približno pri polovini maksimalne sile i trećini maksimalne brzine. Teorijski gledano, maksimalna snaga je približno jednaka šestini vrednosti proizvoda maksimalne sile i maksimalne snage.

Takođe naglašava da je merenje $F-V$ relacije tokom izvođenja pokreta u *in vivo* uslovima veoma komplikovan zahvat. Uzroke tome treba tražiti u različitom odnosu mišićnih vlakana u strukturi mišića, u anatomskim karakteristikama zglobova u kojima se pokret izvodi, u nivou neuralne aktivacije (Zatsiorsky, 2009). Međutim, i pored ovih ograničenja, istraživanja $F-V$ i $P-V$ relacija u složenim pokretima daju veoma bitne informacije o kapacitetima neuromišićnog sistema dok funkcioniše pod različitim opterećenjima. Ova informacije imaju esencijalni značaj za razumevanje mehaničkih osobina mišića tokom izvođenja složenih pokreta.

Iako je još odavno prihvaćena činjenica da mehaničke osobine mišića u velikoj meri određuju uspeh u ostvarenju sportskih dostignuća, istraživanja vezana za mišićnu mehaniku su i dalje u povoju. Za tu pojavu u velikoj meri su odgovorni sledeći faktori (Zatsiorsky, 2000):

- Čak i najosnovnije mišićne osobine je veoma teško odrediti *in vivo*, odnosno neinvazivno;
- Mehaničke osobine mišića uglavnom nemaju linearni karakter, pa je njihov matematički prikaz veoma kompleksan;
- Vremenski tokovi promena mehaničkih osobina mišića gotovo da su nepoznati (na primer sa povećanjem zamora).

Iz pomenutih razloga predmet istraživanja ovog rada će, između ostalog biti iznalaženje načina za prevazilaženje navedenih nedostataka, u cilju stvaranja potpunije slike o mehaničkim osobinama mišića.

Kao zaključak ovog poglavlja može se izvesti da mišićna sila, brzina mišićnog skraćanja i ispoljena snaga imaju veoma važnu ulogu u humanoj lokomociji. Za analizu i unapređenje motoričkih zadataka čoveka treba istražiti pomenute mehaničke karakteristike mišića prilikom vršenja različitih motoričkih zadataka.

2. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

Prethodno poglavlje se bavilo upoznavanjem sa mehaničkim osobinama mišića, koje zapravo i opisuju sam mišić. U cilju boljeg razumevanja ovih osobina, u njemu je dat osvrt na sam mišić i njegovu ulogu u humanoj lokomociji, kao i pregled faktora koji utiču na ispoljavanje mehaničkih osobina mišića.

Mehaničke osobine mišića opisivane su u brojnim udžbenicima biomehanike, fiziologije, teorije sportskog treninga i sl. One su predmet i brojnih naučnih istraživanja, koja donose nova saznanja o njima. Posebno mesto i značaj za opisivanje mehaničkih osobina mišića pripada F - V i P - V relacijama. Iz tog razloga ovo poglavlje će se baviti analizom naučne literature, u kojoj su izučavane mehaničke karakteristike mišića. Dakle, u njemu će biti analizirane F - V i P - V relacije kod složenih pokreta, metode za procenu ovih relacija, kao i značaj parametara koji ih čine. Takođe, u njemu će biti predstavljeni i nedostaci uočeni u dosadašnjim istraživanjima, koji ukazuju na potreba za novim istraživanjima, kako bi se razrešile određene nedoumice vezane za mehaničke osobine mišića uopšte. Ono na šta ćemo posebno skrenuti pažnju jesu mehaničke osobine mišića ruku i ramenog pojasa.

Dvadesetih godina prošlog veka javili su se prvi radovi vezani za mehaničke osobine mišića (*Hill* 1922; *Gasser i Hill* 1924; *Levin i Wyman* 1927; *Fenn i Marsh* 1935; *Hill* 1938), koji su pobudili interesovanje naučne javnosti za ovim fenomenom. Od tada, pa do danas, to interesovanje se nije smanjilo. Ovaj dugi period interesovanja doneo je brojna istraživanja. Međutim, ako sagledamo eksperimentalne modele koji su pri tome korišćeni, sva istraživanja F - V relacija mogu da se podele na tri specifične grupe:

- istraživanja F - V relacije na izolovanom mišiću,
- istraživanja F - V relacije pri izvođenju jednozglobnih pokreta i
- istraživanja F - V relacije pri izvođenju složenih pokreta.

Studije koje su rađene na izolovanim mišićima podrazumevale su merenje njenih varijabli *in vitro*, odnosno van njihovog biološkog okruženja. U tom smislu, mišićni snop ili ceo mišić, najpre su hirurškim putem vađeni iz neke životinje, kako bi u eksperimentalnom okruženju bila vršena njihova dalja kinetička i kinematička analiza. Potom bi njihove krajeve pričvrstili za merni instrument, koji je mogao da meri jednu od dve varijable, odnosno ili silu ili brzinu, a vrednost druge bila bi strogo kontrolisana, kao i dužina mišića. Kako bi se izazvala kontrakcija, mišić je maksimalno stimulisan hemijskim ili električnim nadražajima. U ovim studijama, vrednosti varijabli su dobijane direktno. Odnosno vrednosti sile su one koje se generišu unutar samog mišića, dok je brzina predstavljala brzinu njegovog skraćanja. S obzirom da odnos između sile i brzine zavisi od tipa mišićnih vlakna (Hill, 1938), nalazi dobijeni u studijama na izolovanom mišiću, mogli su se međusobno neznatno razlikovati (Claflin i Faulkner, 1989), jer se zna da svaki mišić predstavlja svojevrsnu kombinaciju mišićnih vlakana različitog tipa.

Grupu studija na jednozglobnim pokretima karakteriše metoda merenja u kojoj su sila i brzina merene pri izvođenju pokreta samo u jednom zglobu. Studije rađene na jednozglobnim pokretima podrazumevale su merenja sile i brzine *in vivo*. To znači da su merenja vršena na živim organizmima u njihovom netaknutom biološkom okruženju. U ovim studijama sila koja se dobija merena je na izlazu i predstavlja ispoljenu silu, a ne silu generisanu u samom mišiću. Samim tim na njenu veličinu utiče moment mišićne sile, odnosno mehanički faktori, koji predstavljaju odnos krakova spoljašnje i mišićne sile. Kod jednozglobnih pokreta brzina se meri kao ugaona brzina odgovarajućeg zgloba.

U studijama koje su ispitivale složene pokrete sila i brzina su merene pri izvođenju složenih motoričkih zadataka, koje odlikuju pokreti u više zglobova. U njima se, kao i kod jednozglobnih pokreta, merenja vrše *in vivo*, odnosno na živim organizmima, u njihovom netaknutom biološkom okruženju. Samim tim, u studijama na složenim pokretima za dobijanje podataka o sili meren je momenat mišićne sile, dobijen na izlazu, a za dobijanje podataka o brzini, najčešće je merena brzina ispoljena na kraju kinetičkog lanca, ili brzina centra mase datog sistema, ili srednja ugaona brzina dobijena na osnovu istovremeno zabeleženih ugaonih brzina u više odgovarajućih zglobova.

Složeni među segmentalni odnosi koji se javljaju pri izvođenju složenih pokreta, mogu biti predstavljeni sa više aspekata. Međutim ovi odnosi predstavljaju i glavni razlog zbog kojih je oblik F - V relacija zabeležen na složenim pokretima, različit u odnosu na oblike F - V relacije dobijene na izolovanim mišićima ili jednozglobnim pokretima (Jarić, 2015).

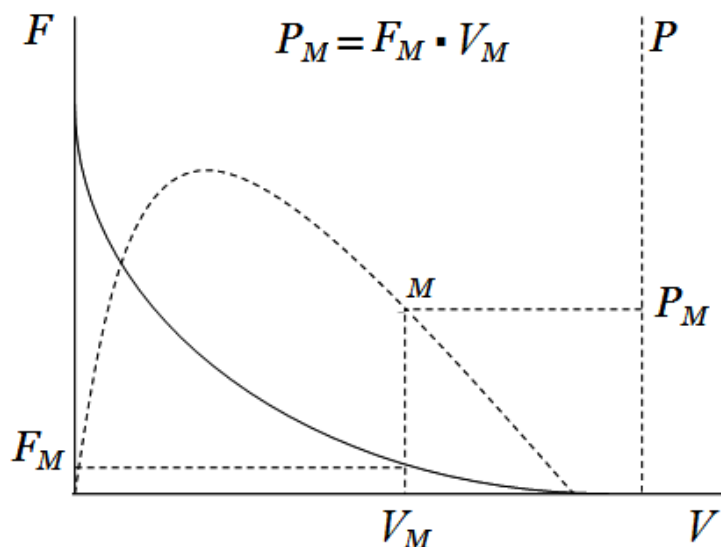
Kako Nedeljković (2016) navodi, nezavisno od eksperimentalnog modela koji je primenjivan, istraživanja F - V relacija generalno su podrazumevala primenu sledeće procedure:

1. Merenje sile mišića i brzine njegovog skraćanja u uslovima delovanja nasuprot spoljašnjim opterećenjima različite veličine.
2. Grafičko prikazivanje izmerenih vrednosti sile i brzine, njihovim istovremenim postavljanjem na dve različite ose zadanog koordinatnog sistema [F (sila) – V (brzina)].
3. Povlačenje odgovarajuće regresione linije kroz dobijene koordinatne tačke i predstavljanje povučene linije regresionom jednačinom, čime se, u konačnom, matematički definiše zavisnost sile mišića od brzine njegovog skraćanja.

2.1 MODELI RELACIJA

2.1.1 Hiperbolični model relacije

Istraživanja koja su postavila temelje F - V i P - V relacijama bila su istraživanja koja su sproveli *Fenn i March* (1935) i *Hill* (1938). Ova istraživanja bazirana su na *in vitro* posmatranju izolovanih mišića. U njima je dokazano da mišićna sila opada sa povećanjem brzine njegovog skraćanja, čineći pri tome nelinearni, odnosno približno hiperbolični model (slika 2.1). S obzirom da je u njima F - V relacija predstavljena kao hiperbolična, iz toga proizilazi da i pripadajuća P - V relacija ima kompleksan oblik. Tako se maksimalna snaga dobija delovanjem umerenog spoljašnjeg opterećenja, pri srednjim brzinama mišićnog skraćanja. Kasnije su se javila istraživanja u kojima su F - V relacije predstavljene u vidu hiperboličnih modela, u studijama koje su rađena *in vivo*. Kompleksan oblik F - V relacije najpre je posmatran pri testiranju osoba sa invaliditetom koji su izvodili maksimalne voljne kontrakcije pri različitim nivoima opterećenja (*Ralston i sar.*, 1949). Potom je hiperbolični model F - V relacije posmatrano kod pregibača u zglobu lakta, pri čemu je u obzir uzeto ubrzanje i inercija podlaktka (*Wilkie*, 1950). Izokinetički ergometri takođe nalaze svoju primenu u proučavanju odnosa sile i ugaone brzine i to najčešće kod opružača i pregibača u zglobu kolena (*Perrine i Edgerton*, 1978), koji date relacije posmatraju na isti način.



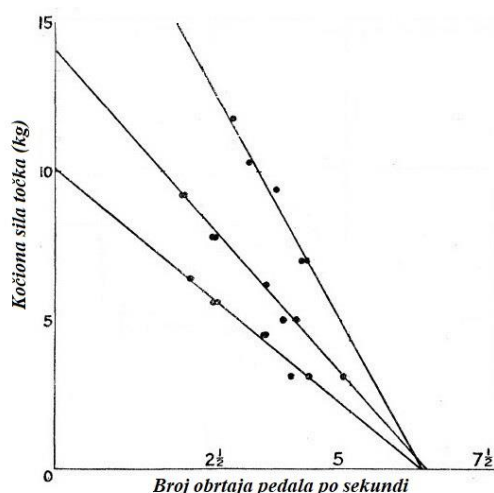
Slika 2.1: Relacije sila-brzina (puna linija) i snaga-brzina (isprekidana linija) u izolovanom mišiću i jednozglobnim pokretima (Jarić, 1997)

Ovakvi, hiperbolični oblici $F-V$ relacija i njihovih pripadajućih $P-V$ relacija su rutinski predstavljeni u standardnim udžbenicima biomehanike, motorne kontrole ili fiziologije. Osnovni nedostaci ovih kompleksnih modela $F-V$ i $P-V$ relacija se odnose na preciznost njihove ocene pri izvođenju složenih pokreta, ali i u praktičnoj primeni kroz modelovanje i optimizaciju pokreta za potrebe sportskih treninga ili intervencija u rehabilitaciji.

2.1.2 Linearni model relacije

Za razliku od istraživanja na izolovanim mišićima ili jednozglobnim pokretima, koji $F-V$ relacije predstavljaju kao približno hiperbolične, istraživanja rađena na višezglobnim pokretima, $F-V$ relacije opisuju na drugačiji način. Naime, složeni pokreti izvedeni maksimalnim intenzitetom, pri umerenim rasponima sile (obično u vidu spoljašnjeg opterećenja) i pripadajućim brzinama, $F-V$ relacije predstavljaju kao približno linearne.

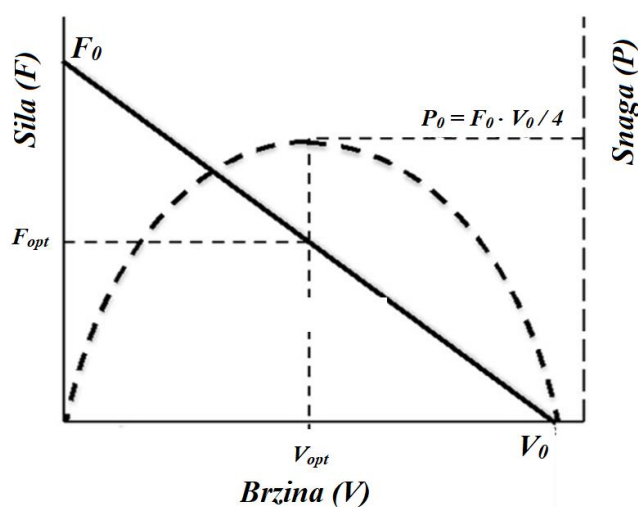
Prva studija koja je $F-V$ relacije predstavila na ovakav način, datira još iz 1928 godine, a koju je objavila *Silvia Dickinson* (*Dickinson*, 1928). U njoj je uočena linearna $F-V$ relacija, dok je na bicikl ergometru posmatran odnos kočione sile točka i brzine obrtanja pedala (*slika 2.2*).



Slika 2.2: Odnos između kočione sile točka i broja obrtaja pedala po sekundi pri maksimalnoj brzini za tri ispitanika (jedan muškarac i dve žene) (Dickinson, 1928)

Ova studija je objavljena mnogo pre nego što je *Hill* sproveo svoje istraživanje na izolovanom mišiću žabe i predložio hiperboličan oblik za opisivanje odnosa sile i brzine. Međutim, ova studija nije sprovedena radi evaluiranja testa kojim će se procenjivati maksimalna snaga kod ljudi, nego da bi se potvrdila prethodno postavljena hipoteza koja se odnosila na izvođenje konstantne teorijske sile iz prosečne spoljašnje sile i brzine izvođenja pokreta, pa je to verovatno razlog što su njeni nalazi zanemareni. Deset godina kasnije, *Hill* je predložio hiperbolični model F - V relacije, dok je linearni model Dikinsonove pao u zaborav od strane tadašnje naučne javnosti, koja se bavila istraživanjima fizičkih sposobnosti čoveka.

Linearni model F - V relacije koji je predstavila Dikinsonova, uporediv je sa linearnim modelima dobijenim u kasnijim istraživanjima (*slika 2.3*). Novija istraživanja, takođe predlažu linearne modele F - V relacija prilikom izvođenja složenih pokreta maksimalnim intenzitetom, bilo da se radi o testiranjima opružaća nogu, korišćenjem različitih dinamometara i kolica sa otporom (*Yamauchi i Ishii, 2007; Samozino i sar., 2012; 2014b*), ili čučnjeva i vertikalnih skokova (*Ćuk i sar., 2014; Rahmani i sar., 2001; Samozino i sar., 2014a; Shepard i sar., 2008; Vandevale i sar., 1987*), ili bicikl-ergometara (*Dris i Vandevale, 2013; Nikolaidis, 2012; Ravier i sar., 2004*), ili pri testiranju mišićnog sistema ruku i ramenog pojasa (*Nikolaidis, 2012; van der Tillar, 2004; Hintzi i sar., 2003; Cronin i sar., 2003*).



Slika 2.3: Relacije sila-brzina (puna linija) i snaga-brzina (isprekidana linija) u višezglobnim pokretima (*Jarić, 2015*)

Linearna F - V relacija se dobija izvođenjem složenih pokreta maksimalnim intenzitetom, primenom različitih opterećenja, koja daju opseg vrednosti sile (F) i brzine (V). Iz tih podataka se modeluje linearna regresija:

$$F(V) = F_0 - aV \quad (\text{jednačina 2.1})$$

pri čemu je F_0 parametar maksimalne sile (predstavlja presek ordinate, koji odgovara maksimalnoj izometrijskoj sili), a je nagib F - V relacije (predstavlja odnosu F_0/V_0), V_0 je parametar maksimalne brzine (predstavlja presek apscise, koji odgovara maksimalnoj brzini pri odsustvu sile).

F - V relacija ima direktan uticaj na P - V relaciju. Tako se iz prethodne jednačine dobija jednačina P - V relacije, koju odlikuje paraboličan oblik:

$$P(V) = F(V) V = F_0 V - aV^2 \quad (\text{jednačina 2.2})$$

Za dobijanje maksimalne snage (P_0) iz F - V relacija koristi se jednačina:

$$P_0 = F_{opt} \cdot P_{opt} = (F_0 V_0)/4 \quad (\text{jednačina 2.3})$$

To znači da se maksimalna snaga (P_0), kod složenih pokreta izvedenih maksimalnim intenzitetom, dobija pri polovini maksimalne sile ($F_0/2$) i polovini maksimalne brzine ($V_0/2$), koje mišići ispoljavaju u datom pokretu, izvedenom maksimalnim intenzitetom (*Vandewalle i sar.*, 1987; *Samozino i sar.*, 2008; 2012). Jednostavnost linearnog modela F - V relacije koji je prethodno opisan, može biti od ključnog značaja za buduće naučne radove, ali i za praktičnu primenu. Ovakav matematički prikaz relacija može se koristiti za modelovanje i optimizaciju pokreta (*Cormie i sar.*, 2011b), u smislu doziranja sile, brzine i snage, ali i za procenu efekata trenažnog procesa i intervencije u rehabilitaciji. Iz toga proizilazi da je maksimalna snaga ustvari idealna kombinacija submaksimalne sile i pripadajuće brzine (*Cormie i sar.*, 2011a; 2011b). Prema tome, maksimalna snaga je određena parametrima F - V relacije:

- parametar maksimalne sile (F_0),
- parametar maksimalne brzine (V_0) i
- nagib F - V relacije (a).

2.1.3 Procena linearne $F-V$ i parabolične $P-V$ relacije složenih pokreta

U studiji koju su sproveli *Yamauchi i Ishii* (2007), u kojoj mišići nogu deluju kroz zatvorene kinetičke lance, korišćeni su servo dinamometri, koji su merili simultano opružanje nogu. U njoj su ispitanici instruisani da vrše simultana opružanja nogu u zglobovima kuka i kolena, u izometrijskom i izotoničnom režimu rada. Na taj način je dobijena linearna $F-V$ relacija, a njenom ekstrapolacijom dobijene su vrednosti parametara maksimalne sile, maksimalne brzine i maksimalne snage. Dobijeni parametri su upoređeni sa rezultatima skoka uvis bez zamaha ruku i dobili pozitivne korelacije.

U svojim istraživanjima i *Samozino* sa saradnicima (2012, 2014b) je koristio dinamometre, za procenu $F-V$ relacija, pri izvođenju balističkih pokreta nogu. Oni su procenjivali individualne $F-V$ relacije svakog ispitanika i zaključili da postoji optimalna $F-V$ relacija koja diktira maksimalan učinak, odnosno maksimalno ispoljavanje snage. Nagib optimalne $F-V$ relacije uslovljen je sadejstvom optimalne brzine i optimalnog opterećenja (*Samozino i sar.*, 2012).

Oni takođe prate i bilateralni deficit⁴ (*Samozino i sar.*, 2014b) kod balističkih pokreta, pri opružanju nogu i predstavili individualne $F-V$ relacije kao linearne, a $P-V$ relacije kao polinomijalne drugog stepena. Telo ima konstantnu masu, bilo da se odgurivanje vrši sunožno ili jednonožno. Međutim, sunožno odgurivanje se može izvesti većom brzinom, pa se u skladu sa $F-V$ relacijom smanjuje mogućnost za razvoj sile, što uzrokuje bilateralni deficit.

Bicikl-ergometar je popularan i veoma pogodan instrument za proučavanje $F-V$ relacija sa svim njenim parametrima. Zbog svojih karakteristika koje ima, proistekao je i $F-V$ test za procenu mišićne funkcije na bicikl-ergometru (*Dris i Vandewelle*, 2013). Ovaj test je zasnovan na 8 – 10 maksimalno brzih okretanja pedala, pri opterećenju koje počinje sa 1 kg i povećava se posle svake pauze od po 5 minuta, za po 1 kg, do momenta kada maksimalna brzina opadne na ispod 100 obrtanja pedala u minuti.

⁴ Bilateralni deficit je fenomen koji ukazuje da je ukupna maksimalna sila ispoljena simultanim izometrijskim kontrakcijama mišića ekstenzora obe noge manja od zbira maksimalnih sila ispoljenih pri odvojenim izometrijskim kontrakcijama mišića ekstenzora jedne i druge noge (*Asmussen i Heeboll-Nielsen*, 1961; *Banicevic*, 2012).

U svom istraživanju *Driss* i saradnici (2002), su među prvima pokazali eksternu validnost nekih parametara linearne $F-V$ relacije. Odnosno, dokazali su da je ispoljena sila u dinamičkim uslovima podudarna sa ekstrapoliranim vrednostima sile. Istraživanje koje su sproveli 2013. godine odnosilo se na testiranje pouzdanosti parametara $F-V$ relacije, a dokazano je da su oni visoko pouzdani.

Kod testiranja $F-V$ relacija, a samim tim i $P-V$ relacija u uslovima vertikalnih skokova, stavovi istraživača su podeljeni. Jedni ih izbegavaju smatrajući da je ovom metodom teško dobiti dobre rezultate, zbog više stepeni slobode, jer u ovom kretanju može učestvovati više segmenata tela, nego što je to slučaj kod dinamometara i bicikl-ergometara (*Sargeant i sar.*, 1984; *Vandewalle i sar.*, 1985, 1987; *Seck i sar.*, 1995). Nasuprot tome, drugi smataju da je ovo idealan model za ocenu neuromišićnih funkcija nogu (*Wilson i sar.*, 1993; *McBride i sar.*, 1999; *Baker i sar.*, 2001; *Driss i sar.*, 2002; *Cormie i sar.*, 2007; *Harris i sar.*, 2007; *Markovic i Jarić*, 2007), zbog svoje eksplozivnosti, odnosno zbog kratkog trajanja i visokog intenziteta pokreta, kao i svoje široke primenljivosti i jednostavne primene.

U studiji koju je sproveo *Ćuk* sa saradnicima (2014), primenom različitih vrsta vertikalnih skokova, ispitivane su mehaničke osobine mišića nogu pri složenim balističkim pokretima. U ovoj studiji su primenjivana pozitivna i negativna opterećenja⁵ i pokazano da nema značajnih razlika u obliku i povezanosti $F-V$ relacija, bez obzira na primenjeno opterećenje. Pouzdanost parametara $F-V$ relacije je visoka za sve vrste varijabli kod svih skokova. Praćene su i razlike između $F-V$ relacija dobijene iz maksimalnih i prosečnih vrednosti sile i brzine i zaključeno da maksimalne vrednosti u poređenju sa prosečnim vrednostima imaju nešto veće vrednosti maksimalne sile, ali skoro duplo veće vrednosti maksimalne brzine. Posledica toga je veća maksimalna snaga, ali i manja vrednost nagiba.

Samozino i saradnici (2014a) su se bavili istraživanjem mehaničkih profila i njihovim uticajem na izvođenje balističkih pokreta. U ovoj studiji istraživanja su vršena primenom različitih vrsta skokova i dokazano je da za uspešno izvođenje balističkih pokreta i za razvoj maksimalne snage u njima, veoma bitnu ulogu ima sila-brzina

⁵ Pozitivno ili negativno opterećenje predstavljala povećanje odnosno smanjenje opterećenja za 10, 20 ili 30 % u odnosu na telesnu masu ispitanika.

mehanički profil mišića nogu. Tako će sportisti koji treniraju discipline u kojima dominira brzina imati pomerač ka brzini i maksimalnu snagu ostvariti sa negativnim opterećenjem, dok će oni koji su trenirali sa velikim opterećenjima imati pomerač ka sili i ostvarivati maksimalnu snagu sa pozitivnim opterećenjem. Ovo omogućava da se trening koriguje u skladu sa optimalnim $F-V$ profilom i tako poveća njegova maksimalna snaga.

Cormie i saradnici (2010) su kroz svoju trenažnu studiju balističkih skokova i treninga snage, između ostalog pratili $F-V$ relacije, ali bez njenih parametara (F_0 , V_0 , P_0 i a). Kod svih ispitanika je uočeno da trening snage više utiče na povećanje sile nego brzine, odnosno, uticao je da ispitanici ostvare veće sile pri istim ili većim brzinama skraćenja. Sa druge strane balistički trening je manje uticao na promenu sile, ali nije bilo značajnih razlika između grupa.

Sheppard i saradnici (2008) su istraživali pouzdanost $F-V$ relacije kod skokova sa različitim opterećenjem i dobili su da postoji visoka pouzdanost $F-V$ relacije, ali ne i njenih parametara.

2.1.4 Procena linearne $F-V$ i parabolične $P-V$ relacije mišića ruku

Ispitivanje linearne $F-V$ relacija složenih pokreta rađena su i kod mišića ruku, ali se mora primetiti u dosta manjoj meri. Među novijim istraživanjima možemo istraživanje koje je uradio *Hintzy* sa saradnicima (2003). U ovom istraživanju su $F-V$ relacije su dobijene tako što su ispitanici, sedeći u invalidskim kolicima, rukama okretali točkove. Dobijeni rezultati govore da su $F-V$ relacije bile linearne i veoma povezane ($r = 0,789 - 0,983$; $p < 0,01$), a da njihovi parametri uglavnom zavise od tipa pokreta. Takođe, oblik $F-V$ relacija složenih pokreta je slična pri okretanju točkova invalidskih kolica rukama, i pri okretanju pedala rukama ili nogama.

U svom istraživanju *Nikolaidis* (2012) je poredio odnose parametara $F-V$ relacija dobijenih testiranjem mišićnih sistema ruku i nogu, kod devojčica i dečaka. Na taj način je pokazao da su linearne $F-V$ relacije mišića ruku i nogu visoko povezane. Međutim, uočene su i bitne razlike između parametara $F-V$ relacije (F_0 , V_0 , P_0) ovih mišićnih

sistema. Odnosno, veće apsolutne vrednosti parametara F - V relacije razvijaju mišići nogu, dok je odnos parametara maksimalne brzine prema maksimalnoj sili, nasuprot tome bio veći kod mišića ruku. Kao što je i *Samozino* (2012) dokazao, ruke imaju „brži” profil (relativno visoke vrednosti maksimalne brzine), dok noge imaju „snažniji” profil (relativno visoke vrednosti maksimalne sile). Moguća objašnjenja ovih razlika zasnivana su na mišićnoj masi i distribuciji mišićnih vlakana, jer potencijal mišića za razvoj sile, uslovljen je njegovom masom (*Lanza i sar.*, 2003; *Metter i sar.*, 2004) i njegovim poprečnim presekom (*Maughan i sar.*, 1984). Mada, i drugi faktori mogu imati uticaj na te razlike, kao na primer izbor sportske discipline, trenažni proces ili povrede (*Nikolaidis*, 2012).

Iz prethodno rečenog možemo zaključiti da su F - V relacije mišića ruku i nogu slične po obliku i linearnosti, ali da se razlikuju u apsolutnim vrednostima njihovih parametara (F_0 , V_0 i P_0), prema tome F - V relacije mišića ruku i nogu treba odvojeno procenjivati. Takođe, treba naglasiti da je F - V relacija kod složenih pokreta mišića ruku nedovoljno istražena i da su potrebna dodatna istraživanja koja će potvrditi mnoge pretpostavke.

Standardni metodološki pristup navedenih studija (*Vandevallé i sar.*, 1987; *Samozino i sar.*, 2012; *Ćuk i sar.*, 2014) je zasnovan na manipulaciji spoljnim opterećenjima, čime se obezbeđuje niz podataka za silu i brzinu, koji omogućavaju primenu linearnog regresionog modela.

Za dobijanje rezultata neki istraživači su koristili podatke maksimalnih vrednosti sile i brzine (*Vandevallé i sar.*, 1987; *Rahmani i sar.*, 2001; *Hintzi i sar.*, 2003), dok su drugi uzimali srednje vrednosti sile i brzine (*Samozino i sar.*, 2012, 2014a; *Ravier i sar.*, 2004), međutim ima radova u kojima su korišćene obe vrste podataka (*Ćuk i sar.*, 2014; *Sprague i sar.*, 2007).

2.2 NEDOSTACI DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

Iako su rezultati vezani za oblik F - V relacija prilično konzistentni i dalje ostaje pitanje opravdanosti primene linearne F - V i iz nje izvedene parabolične P - V relacije, u budućim istraživanjima. Naime, da bi ovi modeli mogli da se koristi za proučavanje fundamentalnih karakteristika ljudskog mišićno-koštanog sistema (Bobbert, 2012; Samozino i sar., 2012; Jarić i Marković, 2013) ili za razvoj rutinskih testova za procenu fizičkih sposobnosti (Cronin i sar., 2003; Nikolaidis, 2012; Ravier i sar., 2004), treba da se proceni njihov oblik i njihovu međusobnu povezanost, a parametri izvedeni iz njih treba da budu pouzdani i validni. Međutim, iako se primenom linearnog modela obično otkriva jaka veza (Ćuk i sar., 2014; Hintzi i sar., 2003; Ravier i sar., 2004; Yamauchi i Ishii, 2007; Samozino i sar., 2014a), samo jedna studija je direktno poredila linearni i polinomijalni model korišćenjem snimljenih podataka sile i brzine (Ćuk i sar., 2014.). Ista studija je takođe jedina koja je ocenjivala pouzdanost parametara ovih relacija. Dobijeni rezultati raznih vertikalnih skokova otkrili su visoku pouzdanost sve četiri parametara dobijena, kako za maksimalne, tako i za srednje vrednosti sile i brzine, pri čemu su parametri maksimalne sile i maksimalne snage nešto pouzdaniji od parametra maksimalne brzine.

Na osnovu pregledane literature, oblik F - V relacije mišića ruku, kao i pouzdanost njenih parametara još uvek nisu procenjeni. Iako su neke studije istraživale konkurentnu validnost parametara linearnih F - V relacija, nalazi su se pokazali kao prilično neubedljivi. Na primer, konkurentna validnost parametara maksimalne snage (F_0) u poređenju sa direktno izmerenim vrednostima snage mišića je umerena do visoka (Driss i sar., 2002.; Ćuk i sar., 2014.; Vandevallé i sar., 1987), niska, pa čak i beznačajna (Ravier i sar., 2004.; Yamauchi i Ishii, 2007; Rahmani i sar., 2001). Konkurentna valjanost parametara brzine (V_0) takođe je umerena (Yamauchi i Ishii, 2007) ili niska (Ćuk i sar., 2014). Na kraju treba reći da su neke studije poredile konkurentnu validnost različitih parametara i utvrdile da je ona veća za parametre maksimalne snage (P_0) nego za parametre maksimalne sile (Ćuk i sar., 2014), kao i da je veća i za parametre maksimalne snage i parametre maksimalne brzine nego za parametre maksimalne sile (Yamauchi i Ishii, 2007 ; Ravier i sar., 2004). Stoga,

validnost parametara F - V relacija u vezi sa odgovarajućim direktno merenim varijablama i dalje ostaje problem.

Važno je napomenuti i razlike između mehaničkih izlaza (F , V , P) i mehaničkih mogućnosti mišića (F_0 , V_0 , P_0). Mehanički izlazi su entiteti koji se mogu meriti direktno tokom vršenja pokreta i najčešće se koriste za opisivanje dinamike pokreta sa mehaničkog aspekta. Nasuprot tome, mehaničke mogućnosti predstavljaju mehanička ograničenja neuromišićnih funkcija i odnose se na teorijske maksimalne vrednosti mehaničkih izlaza koje pojedinac može da dostigne (Samožino, 2012).

U nastavku, posebna pažnja će biti posvećena mehaničkim mogućnostima mišića ruku, odnosno metodama za procenu linearne F - V i parabolične P - V relacije, jer parametri linearne F - V relacije (F_0 , V_0 , P_0 i a) i parabolične P - V relacije (P_{max}) zapravo predstavljaju mehaničke mogućnosti mišića. Njihovo proučavanje doprineće boljem razumevanju neuralno-mišićnih mehanizama pri izvođenju složenih pokreta rukama i njihovom značaju uopšte.

3. PROBLEM, PREDMET, CILJ I ZADACI ISTRAŽIVANJA

Problem ovog istraživanja je proistekao iz činjenica navedenih u prethodnim poglavljima. Naime, problem je u osnovi sadržan u nepostojanju dovoljnih saznanja o mehaničkim svojstvima mišićnog sistema ramenog pojasa i ruku, pogotovu kada se radi o izvođenju pokreta u „ekološki validnim“ uslovima, odnosno prilikom izvođenja pokreta koji se uobičajeno koriste u svakodnevnom životu, kao i u nepostojanju evaluirane metode za procenu, odnosno merenje ovih svojstava.

Predmet ovog istraživanja se odnosi na ispitivanje mehaničkih osobina mišića ruku, prilikom izvođenja složenih pokreta, primenom nove metode istraživanja. Takođe, predmet ovog istraživanja je i evaluacija pomenute metode.

U skladu sa navedenim problemom, a u okviru definisanog predmeta, sproveden je eksperiment pod nazivom:

„Procena relacija sila-brzina i snaga-brzina mišića ruku“.

Nalazi do kojih se došlo realizacijom ovog istraživanja publikovani su u indeksiranom, međunarodnom časopisu: „*European Journal of Applied Physiology*“ (videti prilog 1).

Glavni cilj ovog istraživanja bio je utvrđivanje i analiza mehaničkih osobina mišića ruku, praćenjem odnosa linearne $F-V$ i parabolične $P-V$ relacije, tokom primene različitih spoljašnjih opterećenja. Iz ovog, glavnog cilja proistekli su i sledeći *pojedinačni ciljevi*:

1. Ispitati oblik $F-V$ i $P-V$ relacija i jačinu njihove povezanosti;
2. Ispitati pouzdanost parametara linearne $F-V$ relacije (F_0 , V_0 , α i P_0) i parabolične $P-V$ relacije (P_{max});
3. Uporediti parametre dobijene iz prosečnih i maksimalnih vrednosti sile i brzine;

4. Ispitati konkurentnu validnost parametara linearne F - V relacije (F_0 , V_0 i P_0) i parabolične P - V (P_{max}) relacije u odnosu na direktno izmerenu silu, brzinu i snagu.

Kako bi se realizovali postavljeni ciljevi istraživanja, a kroz sprovođenje navedenog eksperimenta, bilo je neophodno da se ispune određeni *zadaci*. Oni se ogledaju u sledećem:

1. Izrada pisanog protokola eksperimenta;
2. Određivanje veličine uzorka;
3. Formiranje grupe ispitanika na osnovu definisanih kriterijuma;
4. Procena morfološkog statusa ispitanika;
5. Merenje jednog maksimalnog potiska tega sa grudi, ležeći na ravnoj klupi (*IRM*);
6. Registrovanje signala optičkim enkoderom tokom testa izbačaj tega sa grudi, ležeći na ravnoj klupi (*IZB*);
7. Registrovanje signala sistemom za 3D analizu tokom testa bacanje medicinke sa obe ruke iz sedećeg položaja (*MED_{450g}* i *MED_{3kg}*);
8. Računanje prosečnih i maksimalnih vrednosti sile, brzine i snage;
9. Procena oblika F - V i P - V relacija linearnim i polinomijalnim regresionim modelom;
10. Obrada podataka;
11. Primena adekvatnih statističkih procedura za analizu dobijenih podataka u odnosu na postavljene ciljeve i hipoteze;
12. Prikaz i interpretacija nalaza.

4. HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA

Na osnovu detaljne analize relevantnih istraživanja, koja su se bavila sličnom tematikom, uočeni su pomenuti problemi i definisan predmet istraživanja. Potom su definisani ciljevi novog istraživanja i postavljene su sledeće *hipoteze*:

- H 1.1 F-V relacije su linearne*
- H 1.2 P-V relacije su parabolične*
- H 1.3 F-V i P-V relacije su visoko povezane*
- H 2.1 Parametri linearne F-V i parabolične P-V relacije su pouzdani*
- H 3.1 Vrednosti parametara dobijenih iz maksimalnih vrednosti sile i brzine su viši od parametara dobijenih iz prosečnih vrednosti sile i brzine*
- H 4.1 Parametri linearne F-V i parabolične P-V relacije su validni u poređenju sa direktno izmerenom mišićnom silom, brzinom i snagom*

5. METODE ISTRAŽIVANJA

Za realizovanje postavljenih ciljeva navedenog istraživanja primenjene su adekvatne metode, kako bi se eksperimentalno prikupili neophodni podaci, koji se odnose na morfološki i motorički status ispitanika. Na prikupljenim podacima je izvršena transverzalna analiza. Empirijski metod je primenjen kao osnovni, dok je statistički metod korišćen kao pomoćni.

Istraživanje je sprovedeno u Metodičko-istraživačkoj laboratoriji Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja, u Beogradu, nakon dobijanja odobrenja za realizaciju studije, od strane Etičke komisije navedenog fakulteta (*prilog 2*). Ovo istraživanje je sprovedeno u okviru četiri odvojena eksperimentalna dana, tokom jednog meseca.

5.1 UZORAK ISPITANIKA

Za veličinu uzorka potrebnog za realizaciju ovog eksperimenta, bazirali smo se na prethodno istraživanje (*Leontijević i sar.*, 2013) koje se bavilo sličnom problematikom. Prema *Cohen-u* (1988) za detektovanje značajnih efekata, za alfa nivo 0,05 i statističku snagu od 0,8 za ovo istraživanje je dovoljno 3 – 9 ispitanika. Ipak, iz predostrožnosti, pa za realizovanje ovog testiranja uzeto je 12 muških ispitanika, studenata na Fakultetu sporta i fizičkog vaspitanja, koji nemaju nikakva hronična oboljenja, probleme sa srcem ili povrede lokomotornog aparata 6 meseci u nazad, koji bi uticali na rezultate testiranja. Da bi pojednostavili proceduru dalje obrade podataka, izvršena je selekcija prema *IRM*, u opsegu 85 – 115 kg. Ispitanici su spadali u grupu fizički aktivnih osoba, s obzirom da se testiranje odvijalo paralelno sa njihovim nastavnim obavezama na fakultetu, u okviru akademskih studija, koje podrazumevaju 6 – 8 časova praktične nastave nedeljno, a što su potvrdili kroz standardizovani upitnik za procenu fizičke aktivnosti (*prilog 3*). Radi dobijanja što verodostojnijih rezultata savetovano im je da 1 sedmicu pre i za vreme sprovođenja eksperimenta izbegavaju teške fizičke aktivnosti. Takođe, ispitanici su upoznati sa protokolom i procedurama pre početka testiranja, kao i sa mogućim rizicima koje ono nosi i dali su pisanu saglasnost o učešću u eksperimentu (*prilog 4*), koja je u skladu sa Helsinškom deklaracijom, a koju je odobrila etička komisija Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja u Beogradu.

5.2 EKSPERIMENTALNI PROTOKOL

Svaki ispitanik je učestvovao u 4 odvojena eksperimentalna dana, sa pauzom između svakog od njih 5 – 7 dana.

- Prvog eksperimentalnog dana vršena su antropometrijska merenja, kao i merenje 1 maksimalnog potiska tega sa grudi, ležeći na ravnoj klupi (*IRM*).
- U drugom eksperimentalnom danu ispitanici su uradili test bacanje medicine sa obe ruke iz sedećeg položaja (*MED_{450g}* i *MED_{3kg}*) pri čemu su uradili 6 bacanja (2 opterećenja x 3 pokušaja). Posle testa, radili su upoznavanje i uvežbavanje za test izbačaj tega sa grudi, ležeći na ravnoj klupi (*IZB*).
- Treći i četvrti eksperimentalni dan su bili isti. U njima je rađen test *IZB*. Svaki ispitanik je uradio ukupno 36 izbačaja (6 opterećenja x 3 pokušaja x 2 sesije). Opterećenja su bila izabrana metodom slučajnog odabira. Pauza između pokušaja je bila 30 sekundi, a između promena po tipu opterećenja 3 minuta.

Svakom testu je prethodila standardna procedura zagrevanja, koja je obuhvatala 5 minuta izvođenja vežbi za ruke i rameni pojas, 2 serije po 6 ponavljanja potisaka sa opterećenjem 40 % od *IRM* i 5 minuta vežbi istezanja koje su obuhvatile ove mišićne regije (*Leontijević i sar.*, 2013). Pre samog testiranja ispitanici su dobijali detaljne instrukcije o načinu izvođenja testa i videli odgovarajuću demonstraciju. Podaci iz trećeg i četvrtog eksperimentalnog dana su bili korišćeni za utvrđivanje pouzdanosti, dok su za ostale analize bili korišćeni podaci samo iz četvrtog eksperimentalnog dana.

5.3 EKSPERIMENTALNE PROCEDURE

Za realizaciju ovog eksperimenta bilo je neophodno merenje odgovarajućih parametara. Na osnovu vrednosti dobijenih iz ovih parametara rađena je dalja njihova obrada i dobijeni određeni rezultati, na čijim temeljima su postavljeni određeni zaključci.

Međutim, kako bi dobijeni podaci bili metodološki prihvatljivi, neophodna je primena i pridržavanje određenih procedura. Prema metodološkoj prirodi, dobijeni podaci ovih parametara se mogu podeliti na morfološke i motoričke.

Procena morfološkog statusa

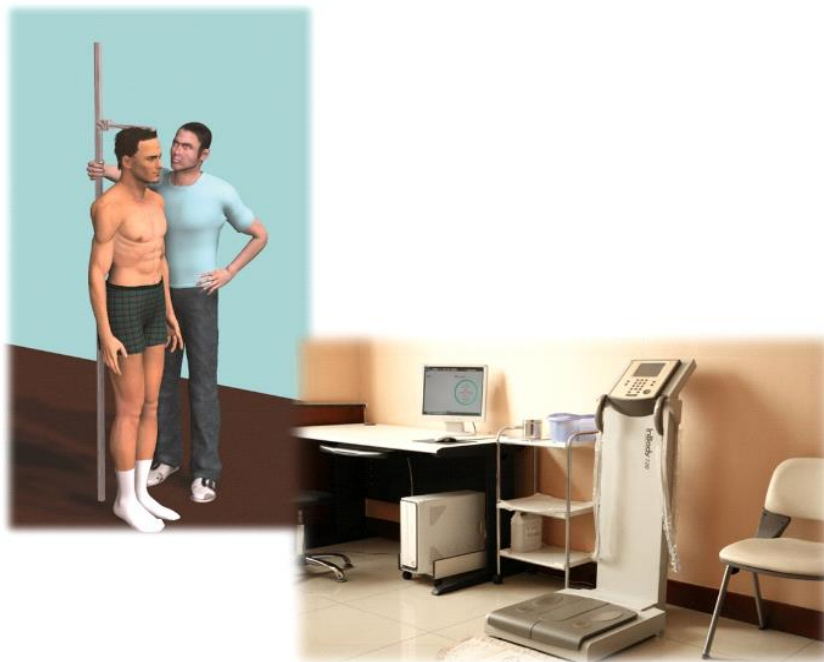
Morfološki status ispitanika (*slika 5.1*) je procenjivan na osnovu podataka prikupljenih merenjem telesne visine (*TV*), telesne mase (*TM*), procenjivanjem procenta masti u telu (*PM*) i izračunavanjem indeksa telesne mase (*BMI*).

Tokom antropometrijskih merenja ispitanici su bili bos i minimalno obučeni, odnosno nosili su samo kratak šorc.

Telesna visina je merena antropometrom po *Martinu*, čija je tačnost merenja od 0,1 cm. Merenje je vršeno na čvrstoj, vodoravnoj podlozi. Ispitanici bi zauzeli standardni stojeći stav, tako da su im stopala bila sastavljena, a pete, sedalna regija i gornji deo leđa su dodirivali antropometar. Time bi se glava nalazila u položaju *frankfurtske ravni* i nije smela da dodiruje skalu antropometra (*Notrhon i sar.*, 2000).

Telesna masa je merena na čvrstoj, vodoravnoj podlozi, digitalnom vagom, sa preciznošću merenja od 0,1 kg. Ispitanici su stajali mirno u stojećem stavu.

Procenat masti i indeks telesne mase su procenjivani metodom bioelektrične impedance (*In Bodi 720, USA*), prema specifikacijama proizvođača.



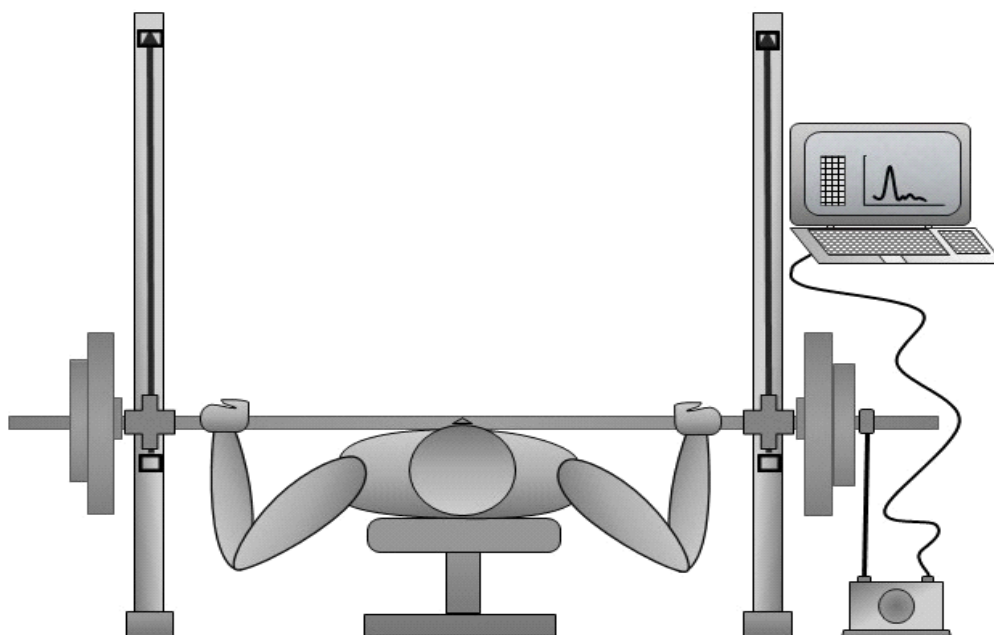
Slika 5.1: Instrumenti za utvrđivanje morfološkog statusa (http://www.yjkgi.com; 2019; modifikovano)

Procena motoričkog statusa

Procena motoričkog statusa je vršena merenjem dinamičkih svojstava ruku, kroz testove: Jedan maksimalan potisak tega sa grudi, ležeći na ravnoj klupi (*IRM*), izbačaj tega sa grudi, ležeći na ravnoj klupi (*IZB*) i bacanje medicine sa obe ruke iz sedećeg položaja (*MED_{450g}* i *MED_{3kg}*)

Merenje jednog maksimalnog potisak tega sa grudi i izbačaja tega sa grudi je sprovedeno na istoj *Smit* mašini (*slika 5.2*). Početni položaj pri testiranju ispitanika je ležeći, na ravnoj klupi. Šipka tega je postavljena na 1cm iznad njegovih grudi, oslonivši se na 2 granična nosača *Smit* mašine, koji su je držali u najnižoj poziciji. Ispitanici su dobijali sledeće instrukcije:

- u zglobovima ramena moraju imati položaj abdukcije (90°) – zbog održavanja pravilnog položaju ostalih segmenata ruku tokom izvođenja zadatka.;
- stopala su morala imati stalan kontakt sa podom, a karlica sa klupom tokom izvođenja zadatka – da ne bi dolazilo do odizanja leđa (*Leontijević i sar.*, 2013; *Newton i sar.*, 1997);
- zadatak se izvodi maksimalnim intenzitetom.



Slika 5.2: Smit mašina korišćena za testove jedan maksimalan potisak tega sa grudi, ležeći na ravnoj klupi (IRM) i izbačaj tega sa grudi, ležeći na ravnoj klupi (IZB)

Test jedan maksimalan potisak tega sa grudi, ležeći na ravnoj klupi (*IRM*) služi za procenu razvoja maksimalne sile (F_{MAX}) mišića ramenog pojasa i ruku. Iz opisanog početnog položaja, ispitanici su imali zadatak da podignu najveću moguću težinu. Nakon tri serije zagrevanja, progresivnim povećanjem intenziteta opterećenja, došlo bi se do maksimalnog opterećenja. Maksimalnim opterećenjem se smatralo poslednje podignuto, odnosno ono u kome je ostvarena puna ekstenzija u zglobu lakta, a koje je prethodilo neuspehom pokušaju sa većim opterećenjem. Pauza između pokušaja je bila 4 minuta. Vrednosti maksimalno podignutog opterećenja je beleženo u kilogramima, sa koracima od 1,25 kg.

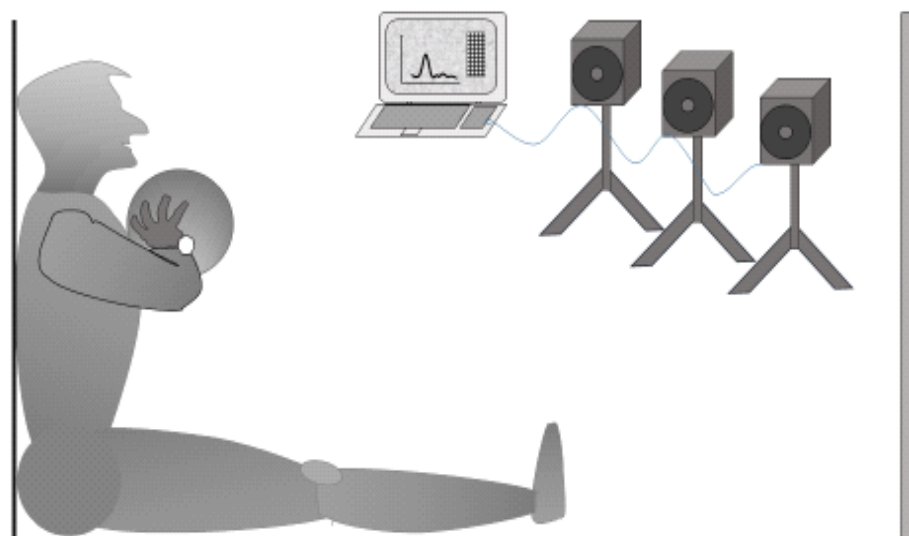
Test izbačaj tega sa grudi, ležeći na ravnoj klupi (*IZB*) je imao za cilj da pruži podatke sile i brzine, iz kojih se dobija $F-V$, a potom i $P-V$ relacija. Ovaj test je izvođen iz istog početnog položaja kao *IRM*, s tim što su ispitanici imali instrukcije da na zadati signal bace zadato opterećenje najviše što mogu. Ispitanici su imali 6 različitih opterećenja (20, 30, 40, 50, 60 i 70 kg) koja su bila primenjivana metodom slučajnog izbora. Najniže opterećenje od 20 kg je odgovaralo masi šipke i segmenata ruku (*Leontijević i sar.*, 2013). Ako se prisetimo da je kriterijum za izbor ispitanika, opseg *IRM* od 85 – 115 kg, onda možemo reći da je prosečan *IRM* oko 100 kg. Odnosno, opterećenja otprilike odgovaraju intervalu od 20 – 70 % od prosečnog *IRM*. Ispitanici su izvodili tri pokušaja za svako opterećenje, gde je prvi pokušaj smatran kao probni, a drugi i treći su bili snimani. Za dalju analizu je korišćen pokušaj koji je imao veću maksimalnu brzinu. Period odmora između tri uzastopna bacanja je bio 45 sekundi, a između različitih opterećenja oko 3 minuta, da ne bi došlo do efekta zamora (*Leontijević i sar.*, 2013; *Ćuk i sar.*, 2014; *Stojiljković i sar.*, 2012., *Morrow i sar.*, 2005).

Test bacanje medicinke sa obe ruke iz sedećeg položaja (*slika 5.3*) je standardizovan, validan (*Stockbrugger i sar.*, 2001) i veoma primenljiv za ocenu izlazne snage mišića ruku (*Chmielewski i sar.*, 2014; *Nedeljković i sar.*, 2009). Iz tog razloga je bio korišćen za procene konkurentne validnosti, jer šema izvođenja pokreta u ovom testu veoma liči na šemu pokreta u testu izbačaj tega sa grudi. Pri izvođenju ovog testa početni položaj je bio sedeći, (na podu) sa opruženim i sastavljenim nogama. Lumbalni i rameni deo kičme, kao i potiljačni deo glave su oslonjeni na zid. Instrukciju koju su dobijali ispitanici pre samog izbačaja, odnosila se na sledeće:

- ruke su u položaju abdukcije (90°) u zglobu ramena, a lopta se drži u predelu grudi;
- odvajanje glave, ramenog pojasa i kičme od zida, tokom izvođenja pokreta nije dozvoljeno;
- maksimalno brzo baciti loptu u metu naspram sebe.

Metu je predstavljala strunjača oslonjena na suprotni zid udaljen oko 3 m. Takođe, treba naglasiti da meta mora biti velika, kako bi pažnja, pri bacanju, bila usmerena na maksimalno brz pokret, a ne na preciznost pri pogađanju cilja.

Test je rađen sa 2 opterećenja, odnosno sa loptama težine 3 kg (MED_{3kg}) i 450 g (MED_{450g}). Time su dobijene izlazne vrednosti maksimalne snage (P_{MAX}) i maksimalne brzine (V_{MAX}) mišića ruku, koje su procenjene na osnovu kinematičkih podataka dobijenih snimanjem reflektujućih markera (*Qualisys AB, Geteborg, Švedska*) postavljenih na *processus styloideus radius-a*. Ispitanici su izvodili 3 pokušaja za oba opterećenje, a redosled opterećenja je bio slučajno izabran. Prvi pokušaj je smatran probnim, dok su drugi i treći snimani. Za dalju analizu korišćen je pokušaj koji je imao veću maksimalnu brzinu. Period odmora u okviru serije između bacanja je bio 1 minut, a između serija oko 3 minuta, kako ne bi dolazilo do zamora.



Slika 5.3: Test bacanja medicine sa obe ruke iz sedećeg položaja

5.4 PRIKUPLJANJE I OBRADA PODATAKA

Za test *IZB* prikupljanje podataka je vršeno pomoću optičkog enkodera (*Vivis Sport Med, Beograd, Srbija*), koji je bio montiran i kalibrisan prema specifikacijama proizvođača. Njime su registrovani, a potom u softverskom programu *LabView* (*National Instruments, Version 10.0, Austin, TX*) snimljeni i obrađeni signali vertikalnog pomeraja šipke, sa frekvencijom zapisa od 200 Hz, koji je najpre bio propušten kroz *Batervortov* nisko-propusni rekurzivni filter drugog reda od 5 Hz.

Iz signala vertikalnog pomeranja šipke računata je brzina šipke i njeno ubrzanje. Sila je računata kao zbir težine i inercije celog sistema, koji se sastoji od ruku, šipke i tegova. Proizvod sile i brzine daje izlaz snage. Sila, brzina i snaga su računate za svih 6 opterećenja, kao maksimalne i kao prosečne vrednosti, u fazi podizanje šipke tj, u vremenskom intervalu od trenutka pokretanja šipke, do pada ubrzanja šipke na -9.81 m/s (*Cronin i sar., 2003; Leontijević i sar., 2013*). Iz njih je dalje ocenjivan *F-V* i *P-V* odnosi.

Merenje testa *MED* je vršeno metodom za *3D* analizu *QualisysTM - 240*, koji je bio montiran i kalibrisan prema specifikacijama proizvođača. Signal horizontalnog pomeranja šake, sa frekvencijom zapisa od 200 Hz je potom propušten kroz *Batervortov* nisko-propusni filter drugog reda od 10 Hz. U softveru *LabView* je urađen program za obradu snimljenog signala. Iz signala pomeranja šake snimljena je maksimalna brzina, dok je maksimalni izlaz snage računat kao proizvod inercije sile (tj, proizvoda mase i ubrzanja lopte) i brzine.

F-V i *P-V* relacije su procenjene na osnovu pojedinačnih podataka sile, brzine i snage, koji su dobijeni od šest tačaka opterećenja, posebno za njihovu maksimalnu, a posebno za prosečnu vrednost.

Ekstrapolisanjem (projektovanjem) linearnih regresija dobijeni su parametri sile (F_0 ; F kada je $V=0$), brzine (V_0 ; V kada je $F=0$), nagiba *F-V* relacije ($a = F_0/V_0$) i maksimalne snage ($P_0 = (F_0V_0)/4$).

5.5 STATISTIČKA ANALIZA

Kako bi se ispitala povezanost F - V i P - V relacija primenjene su linearna i polinomijalna regresija. Osim toga, ispitana je i razlika između Z -transformisanih vrednosti korelacionih koeficijenata, dobijeni iz individualnih vrednosti linearne F - V relacije i parabolične P - V relacije, kako za maksimalne, tako i za prosečne vrednosti primenom t -testa za uparene uzorke.

Da bi se ocenila pouzdanost linearnih F - V relacija i paraboličnih P - V relacija (dobijene iz dva uzastopna merenja), koeficijenti varijacije (CV %), standardne greške pri merenju (SEM), koeficijenti intraklasne korelacije (ICC) i razlike (t -test uparenih uzoraka) su izračunati za parametre F - V relacije (F_0 , V_0 , a , P_0) i parametar P - V relacije (P_{max}).

T -test za uparene uzorke je primenjen da bi se uočile razlike između pomenutih parametara (F_0 , V_0 , a , P_0 i P_{max}) dobijenih iz maksimalnih i prosečnih vrednosti sile, brzine i snage. Naknadnom analizom, primenom $ANOVA$ za ponovljena merenja sa *Bonferoni post hoc* testom, ispitane su procentualne razlike između 5 parametara F - V i P - V relacije. Da bi se procenila veličina efekta, računat je eta kvadrat (η^2) za uparene varijable, gde su se vrednosti do 0.06 smatrale malim, od 0,06 do 0,14 srednjim, a iznad 0.14 velikim (*Cohen*, 1988).

Pirsonov koeficijent korelacije je korišćen da bi se procenila konkurentna validnost F - V parametara (F_0 , V_0 i P_0) i P - V parametara (P_{max}) sa direktno zabeleženom silom (IRM) i maksimalnom brzinom (V_{MAX}) i snagom (P_{MAX}) koji su dobijeni bacanjem medicinke (450 g i 3 kg).

Pre statističke analize inicijalni testovi su otkrili da korišćene varijable nisu značajno odstupale od normalne distribucije (*Kolmogorov – Smirnov test*). Nivo statističke značajnosti određen je na $p < 0.05$. Za statističko testiranje korišćen je računarski program *SPSS 19* (*IBM, Armonk, NY*).

6. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Istraživanja vezana za ovu tezu se odnose na ispitivanje mehaničkih osobina mišića ruku, prilikom izvođenja složenih pokreta. Tim povodom, u ovom poglavlju će biti prikazani podaci, koji predstavljaju rezultate istraživačkog rada, na osnovu kojih su izvedeni određeni zaključci.

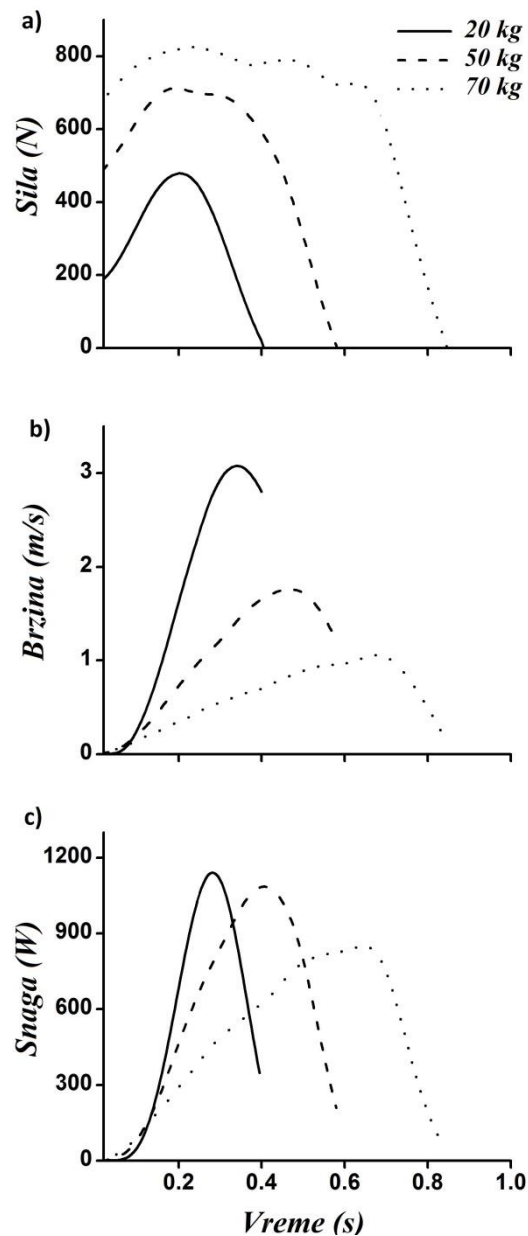
Kao prvo, u tabeli 6.1 su predstavljeni deskriptivni statistički podaci ispitanika, koji su učestvovali u eksperimentu. U njoj se vide osnovne morfološke karakteristike ispitanika, te ćemo se na taj način upoznati sa uzorkom koji je bio podvrgnut datom ispitivanju. Najznačajniji podatak u tabli jeste *IRM* koji iznosi $100,3 \pm 10,4$ kg, a njegov opseg je bio eliminacioni prilikom izbora ispitanika.

Tabela 6.1: Osnovne morfološke karakteristike, uzrast i *IRM* svih ispitanika

	<i>SV</i>	<i>SD</i>	<i>MAX</i>	<i>MIN</i>	<i>OPSEG</i>
<i>TV (cm)</i>	183,4	7,4	195,3	168,3	27
<i>TM (kg)</i>	78,0	7,6	91,5	68,6	22,9
<i>BMI (kg/m²)</i>	23,2	1,5	26,4	20,6	5,8
<i>PM (%)</i>	7,5	3,0	11,8	3,6	8,2
<i>UZRAST (godina)</i>	21,4	2,9	29	19	10
<i>1 RM (kg)</i>	100,3	10,4	115	85	30

TV – telesna visina; *TM* – telesna masa; *BMI* – indeks telesne mase; *PM* – procenat masnog tkiva; *UZRAST* – starost ispitanika u godinama; *IRM* - potisak sa maksimalnim opterećenjem iz ležećeg položaja na ravnoj klupi; *SV* – srednja vrednost; *SD* – standardna devijacija; *MAX* – maksimalna vrednost podataka; *MIN* – minimalna vrednost podataka; *OPSEG* – razlika između maksimalne i minimalne vrednosti

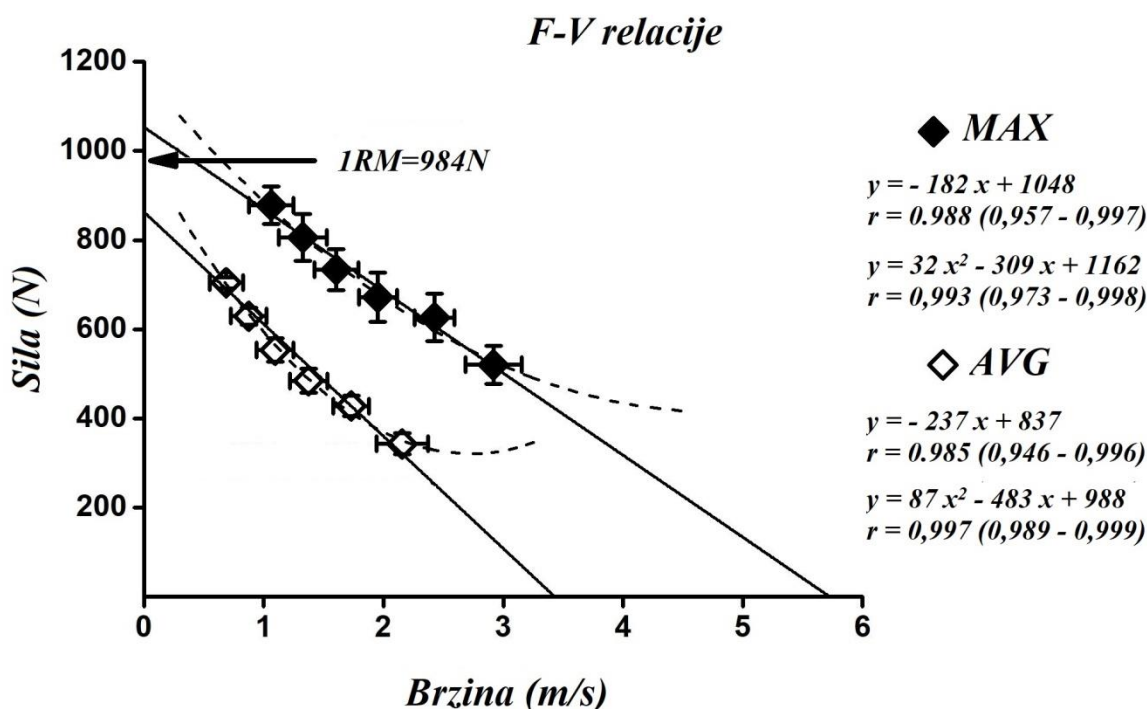
Slika 6.1 ilustruje tipične profile sile, brzine i snage posmatrane na reprezentativnom ispitaniku, pri izbačaju tega sa grudi, pri tri različita nivoa opterećenja, odnosno minimalnog, srednjeg i maksimalnog. Iz prikaza se može videti da sa povećanjem primenjenog opterećenja dolazi do smanjenja brzine i snage, a istovremeno do povećanja sile i vremena trajanja pokreta.



Slika 6.1: Tipičan profili F (panel a), V (panel b) i P (panel c), posmatrani na reprezentativnom ispitaniku, kod motoričkog zadatka IZB, pri opterećenju od 20 kg (puna linija), 50 kg (isprekidana linija) i 70 kg (tačkasta linija)

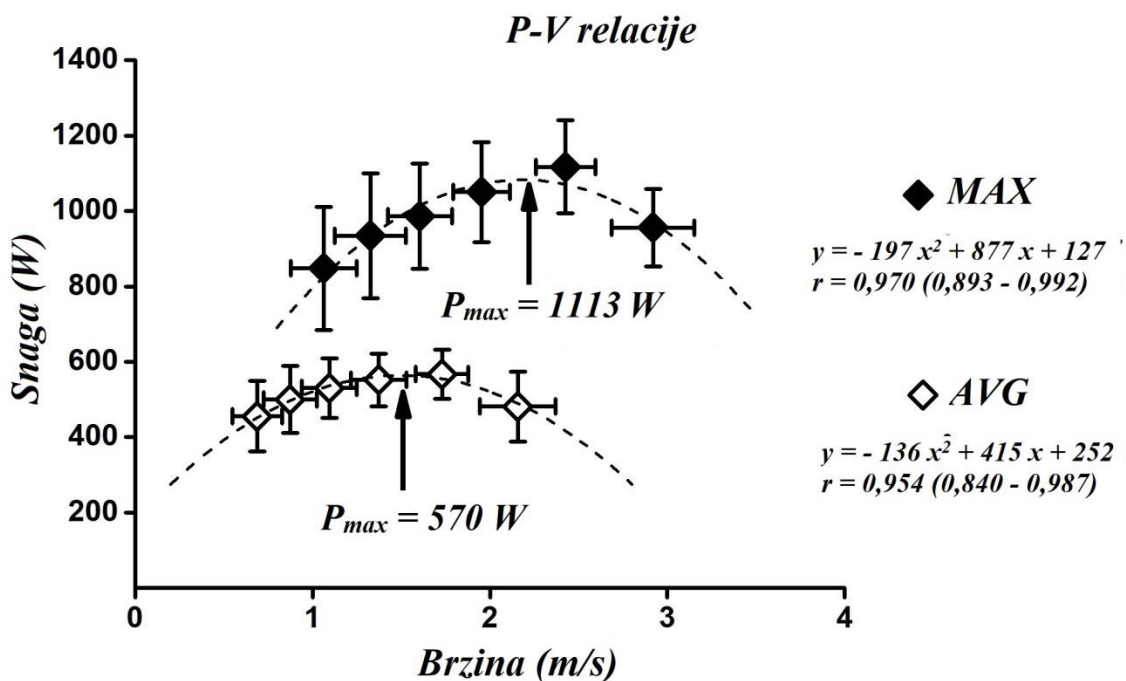
U pogledu postavljenih ciljeva, urađen je set istraživanja, čiji rezultati su predstavljeni u nastavku. Dakle, prvi cilj je bio da se utvrde oblici i stepeni značajnosti krivih, kojima se opisuju F - V i P - V relacije dobijene izbačajima sa grudi, a koje su dobijene iz maksimalnih i prosečnih vrednosti sile i brzine.

Na slici 6.2 prikazane su F - V relacije za maksimalne i prosečne vrednosti sile i brzine, dobijene primenom izbačaja tega sa grudi. Pune linije predstavljaju linearne, a isprekidane polinomijalne regresije, kojima su opisani oblici dobijenih relacija. Izračunati koeficijenti korelacija su značajni za sve regresione krive ($p < 0.05$), dok između linearnih i polinomijalnih regresionih krivi nema značajnih razlika ($p > 0.05$). Osim toga, vrednosti koeficijenata korelacije računatih za linearne regresione krive, ni u jednom slučaju nisu iskakale iz intervala pouzdanosti od 95 % polinomijalnih regresionih kriva i obratno. Ovaj nalaz upućuje na zaključak da između linearnih i polinomijalnih regresija, kojima se opisuju F - V relacije u izbačaju sa grudi, suštinski nema značajnih razlika, čime je linearnost ove relacije potvrđena za mišiće ruku.



Slika 6.2: Relacije sila-brzina za maksimalne i prosečne vrednosti, dobijene primenom izbačaja sa grudi. Takođe su prikazane linearne (puna linija) i polinomijalne (isprekidana linija) regresije, zajedno sa odgovarajućim koeficijentima korelacije (r) i 95 % intervalima pouzdanosti (95 % CI).

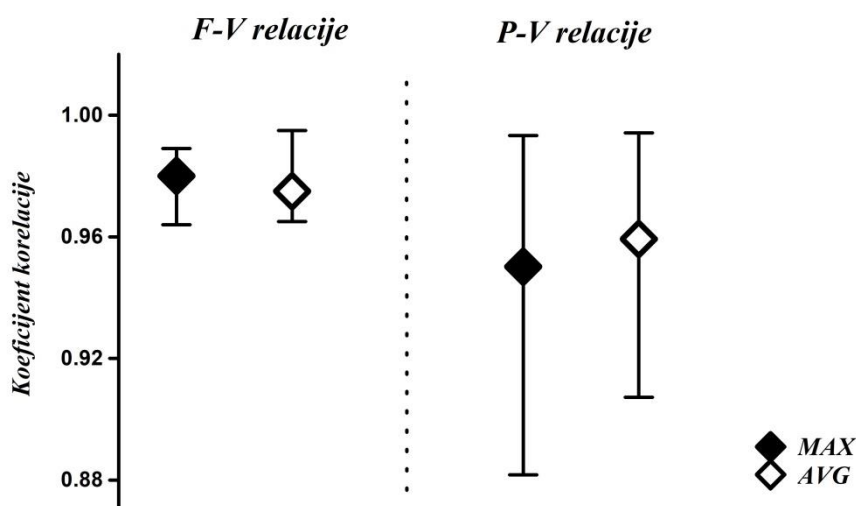
Na slici 6.3 (isprekidana linija) predstavljena je P - V relacija. Polinomijalna regresiona kriva ima oblik proste parabole, sa jasno izraženim vrhom, koji predstavlja maksimum ispoljene snage (P_{max} ; označen strelicom). Maksimum ispoljene snage se javlja na približno 50 % od maksimalne sile i približno 50 % od maksimalne brzine. Ovaj nalaz je u saglasnosti sa paraboličnim modelom (Rahmani i sar. 2001; Marković i Jarić, 2007; Suzović i sar, 2013; Ćuk i sar, 2014). Stepenn značajnosti paraboličnih krivih je izrazito visok, što ne iznenađuje, s obzirom da su ove krive izvedene iz linearnih F - V relacija, koje su imale takođe visok stepen značajnosti.



Slika 6.3: Relacije snaga-brzina za maksimalne i prosečne vrednosti, dobijene primenom izbačaja sa grudi i prikazom polinomijalne regresije, u obliku parabole (isprekidane linije), zajedno sa odgovarajućim koeficijentima korelacije (r) i 95 % intervalima pouzdanosti (95 % CI).

U okviru prvog cilja neophodno je sagledati povezanost i jačinu povezanosti individualnih F - V i P - V relacija. Tim povodom na slici 6.4 su prikazane srednje vrednosti koeficijenata korelacije, dobijeni iz individualnih vrednosti linearne F - V relacije i parabolične P - V relacije, kako za maksimalne tako i za prosečne vrednosti. T-test za uparene uzorke primenjen na njihove Z-transformisane vrednosti ne pokazuje nikakvu značajnu razliku između maksimalnih i prosečnih vrednosti sile i brzine, koje su u vezi sa:

- linearnom F - V relacijom ($t_{(11)} = 0.550$; $\eta^2 = 0.03$; $p = 0.593$);
- paraboličnom P - V relacijom ($t_{(11)} = -0.902$; $\eta^2 = 0.07$; $p = 0.386$).



Slika 6.4: Srednje vrednosti koeficijenata korelacije i njihovi opsezi dobijeni iz individualnih vrednosti linearne F - V relacije (levi panel) i parabolične P - V relacije (desni panel), za maksimalne (MAX) i prosečne (AVG) vrednosti, dobijene primenom izbačaja sa grudi (IZB)

Drugi cilj je bio da se u odnosu na vrstu varijabli [maksimalne (*MAX*) i prosečne (*AVG*) vrednosti], ispita pouzdanost parametara linearne *F-V* relacije (F_0 , V_0 , a i P_0) i parabolične *P-V* relacije (P_{max}) u slučaju ponavljanih pokušaja.

Tabela 6.2: Pokazatelji pouzdanosti za različite parametra linearne *F-V* i parabolične *P-V* relacije dobijeni na maksimalnim i prosečnim vrednostima sile i brzine pri izbačaju sa grudi

Tip varijable	Relacija	Varijabla	Sesija 1	Sesija 2	CV %	SEM	ICC	<i>t</i>	<i>P</i>
MAX	F-V	F_0	1060 ± 106	1069 ± 97	2.4	25	0.95 (0.86, 0.98)	-0.85	0.42
		V_0	5.88 ± 0.64	5.64 ± 0.53	4.9	0.29	0.77 (0.47, 0.90)	2.09	0.06
		a	182 ± 22	191 ± 23	6.9	12	0.73 (0.38, 0.88)	-1.91	0.08
		P_0	1562 ± 244	1509 ± 221	3.5	56	0.95 (0.87, 0.98)	2.33	0.04
	P-V	P_{max}	1159 ± 140	1113 ± 133	3.48	44	0.95 (0.88, 0.99)	2.44	0.04
AVG	F-V	F_0	858 ± 69	859 ± 64	2.8	22	0.90 (0.75, 0.96)	-0.74	0.94
		V_0	3.51 ± 0.43	3.44 ± 0.33	4.0	0.14	0.88 (0.71, 0.95)	1.17	0.27
		a	248 ± 32	251 ± 25	6.6	15	0.74 (0.41, 0.88)	-0.58	0.58
		P_0	754 ± 32	741 ± 108	2.3	17	0.98 (0.94, 0.99)	1.76	0.11
	P-V	P_{max}	598 ± 69	570 ± 63	3.11	21	0.95 (0.88, 0.99)	2.14	0.06

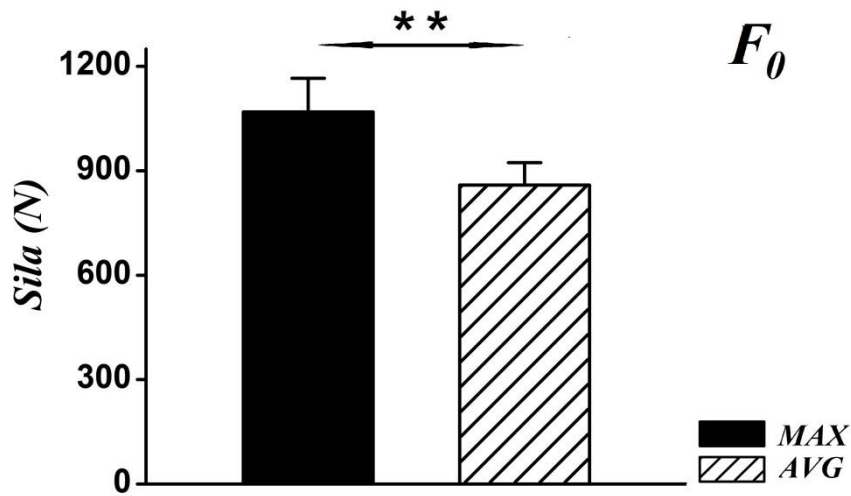
F_0 – parametar maksimalne sile *F-V* relacije (odsečak na *y*-osi), V_0 – parametar maksimalne brzine *F-V* relacije (odsečak na *x*-osi), a – parametar nagiba *F-V* relacije, P_0 – parametar maksimalne snage *F-V* relacije, P_{max} – parametar maksimalne snage *P-V* relacije, CV % - koeficijent varijacije, SEM – standardna greška u merenju, ICC – intraklasni koeficijent korelacije prikazan sa odgovarajućim 95 % intervalom pouzdanosti, *t* – *t* vrednost, *p* – *p* vrednost

U okviru tabele 6.2 prikazani su pokazatelji pouzdanosti za različite parametre linearne F - V i parabolične P - V relacije, dobijeni iz maksimalnih i prosečnih vrednosti sile i brzine. Zapaža se da su vrednosti intraklasnog koeficijenta korelacije (ICC) bile visoke ($0.8 < ICC < 1.0$) do umerene ($0.6 < ICC < 0.8$), dok su vrednosti koeficijenta varijacije (CV) i standardne greške u merenju (SEM) ostale relativno niske. Takođe se zapaža da su parametri sile i snage (F_0 i P_0), u sedam od osam slučajeva, zabeležili veće vrednosti intraklasnog koeficijenta korelacije i niže vrednosti koeficijenta varijacije u poređenju sa parametrom brzine i nagibom (V_0 i a), što ukazuje na njihovu veću pouzdanost. Konačno, primenom t-testa uočava se da između ponavljanih pokušaja u većini slučajeva nije bilo statistički značajnih razlika. Stoga se može zaključiti da su parametri linearne F - V relacije (F_0 , V_0 , a i P_0) i parabolične P - V relacije (P_{max}) pouzdani između dva merenja.

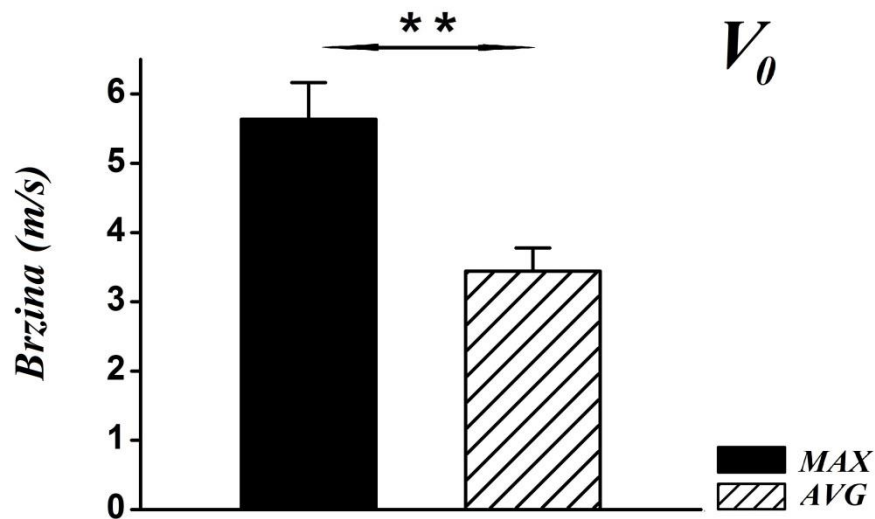
Treći cilj se odnosio na upoređivanje parametara varijabli dobijenih iz maksimalnih i prosečnih vrednosti. Srednje vrednosti parametara individualnih, linearnih F - V relacija, pokazani su na slikama 6.5 do 6.8. T-testovi za uparene uzorke otkrivaju značajne razlike između parametara dobijenih iz maksimalnih i prosečnih vrednosti sile i brzine:

- F_0 ($t_{(11)} = 16.5$; $\eta^2 = 0.961$; $p < 0.01$);
- V_0 ($t_{(11)} = 25.7$; $\eta^2 = 0.984$; $p < 0.01$);
- P_0 ($t_{(11)} = 22.9$; $\eta^2 = 0.927$; $p < 0.01$);
- a ($t_{(11)} = -11.8$; $\eta^2 = 0.979$; $p < 0.01$).

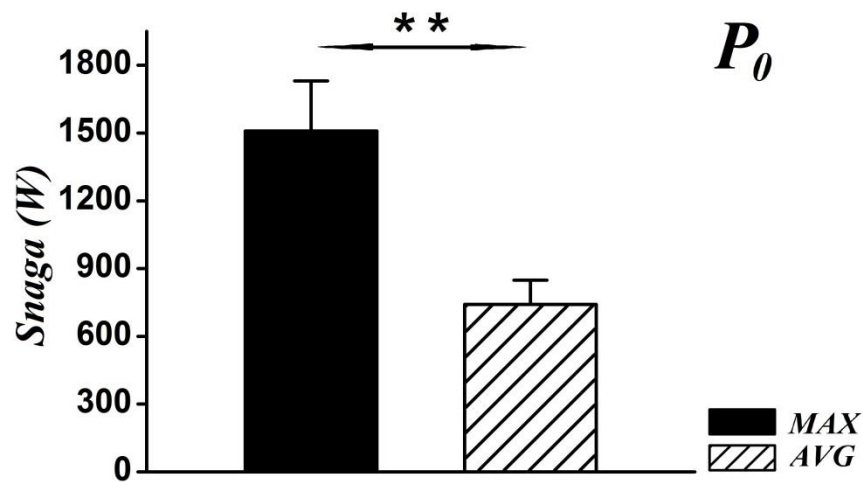
Kao što se i očekivalo parametri maksimalne sile (F_0) i maksimalne brzine (V_0), a shodno tome i parametar maksimalne snage (P_0), bili su viši kada su dobijeni iz maksimalnih (MAX) vrednosti sile i brzine, dok je nagib regresije (a) viši, kada se dobija od prosečnih (AVG) vrednosti sile i brzine.



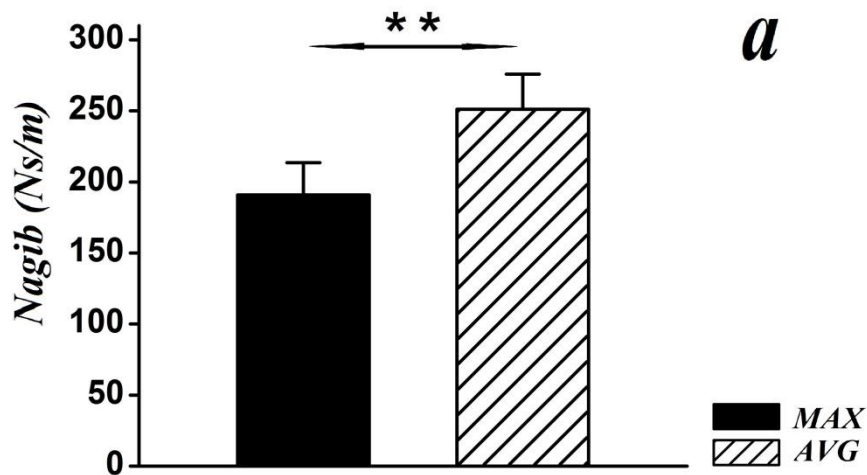
Slika 6.5: Rezultati srednjih vrednosti parametara maksimalne sile (F_0), dobijeni iz individualnih linearnih regresija. Rezultati su prikazani kao srednje vrednosti (SV) i standardne devijacije (SD) za maksimalne (MAX) i prosečne (AVG) vrednosti, pri stepenu značajnosti $\square\square - p < 0,01$



Slika 6.6: Rezultati srednjih vrednosti parametara maksimalne brzine (V_0), dobijeni iz individualnih linearnih regresija. Rezultati su prikazani kao srednje vrednosti (SV) i standardne devijacije (SD) za maksimalne (MAX) i prosečne (AVG) vrednosti, pri stepenu značajnosti $\square\square - p < 0,01$



Slika 6.7: Rezultati srednjih vrednosti parametara maksimalne snage (P_0), dobijeni iz individualnih linearnih regresija. Rezultati su prikazani kao srednje vrednosti (SV) i standardne devijacije (SD) za maksimalne (MAX) i prosečne (AVG) vrednosti, pri stepenu značajnosti $\square\square - p < 0,01$

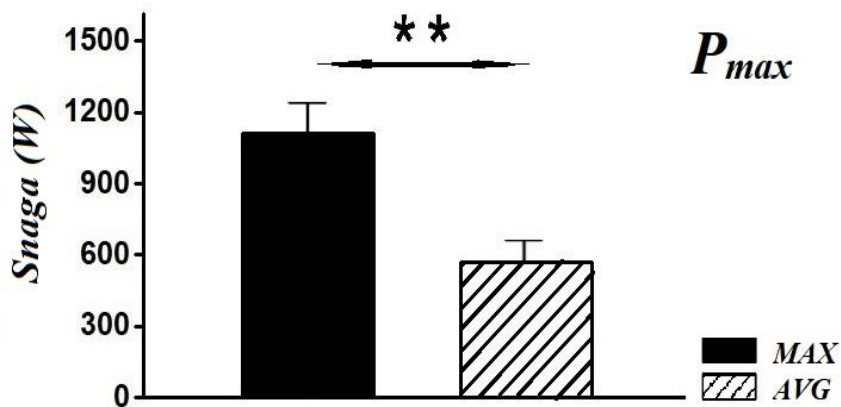


Slika 6.8: Rezultati parametara nagiba (α), dobijeni iz individualnih linearnih regresija. Rezultati su prikazani kao srednje vrednosti (SV) i standardne devijacije (SD) za maksimalne (MAX) i prosečne (AVG) vrednosti, pri stepenu značajnosti $\square\square - p < 0,01$

Prosečna vrednost parametra maksimalne snage (P_{max}) izračunate iz individualne, parabolične P - V relacija, za prosečne i maksimalne vrednosti sile i brzine, prikazana je na slici 6.9 t-test za uparene uzorke otkriva značajnu razliku ovog parametra dobijenog iz maksimalne i srednje vrednosti sile i brzine:

- P_{max} ($t_{(11)} = 18.5$; $\eta^2 = 0.974$; $p < 0.01$).

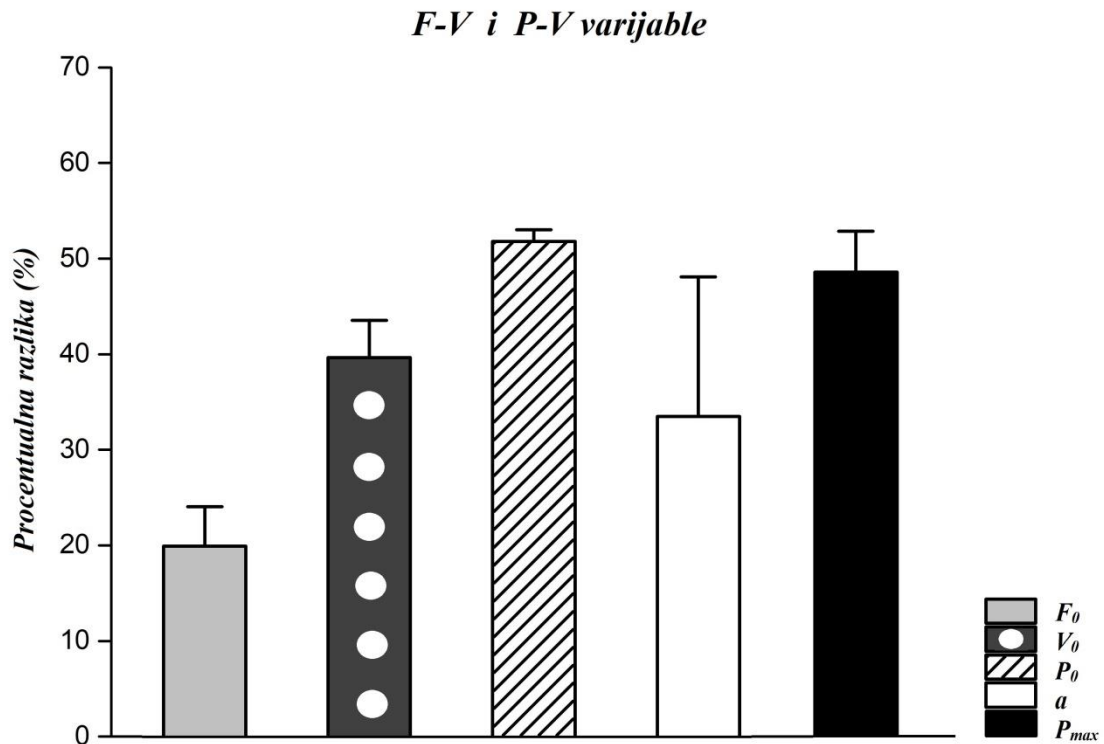
Kao što se i očekivalo ovaj parametar snage (P_{max}) bio je viši kada je računat iz maksimalnih (MAX) u odnosu na prosečne (AVG) vrednosti.



Slika 6.9: Rezultati srednjih vrednosti parametra maksimalne snage (P_{max}), dobijeni iz individualnih paraboličnih regresija. Rezultati su prikazani kao srednje vrednosti (SV) i standardne devijacije (SD) za maksimalne (MAX) i prosečne (AVG) vrednosti, pri stepenu značajnosti $p < 0,01$

Na kraju, u sklopu trećeg cilja, izračunate su i procentualne razlike između prosečnih i maksimalnih vrednosti parametara F - V i P - V relacija. Njihov prikaz se vidi na slici 6.10. Jednostruka $ANOVA$ pokazala je značajan glavni efekat za procentualne razlike:

- ($F_{(4,11)} = 37.9$; $\eta^2 = 0.775$; $p < 0.01$)



Slika 6.10: Procentualne razlike između parametara linearne F - V i parabolične P - V relacije

Naknadna *post hoc* analiza prikazana je u tabeli 6.3 Najveća procentualna razlika uočena je kod parametra maksimalne snage (P_0). Ovaj parametar zavisi od parametara maksimalne sile (F_0) i maksimalne brzine (V_0), ali ta velika razlika prevashodno dolazi od maksimalne brzine (V_0). Sa druge strane kod parametra maksimalne sile (F_0) nema velikih procentualnih razlika. Na kraju da istaknemo da maksimalna snaga dobijena iz polinomijalne regresije (P_{max}) takođe se razlikuje skoro 50% u odnosu na parametre sile (F_0) i maksimalne brzine (V_0) dobijene iz linearne regresije.

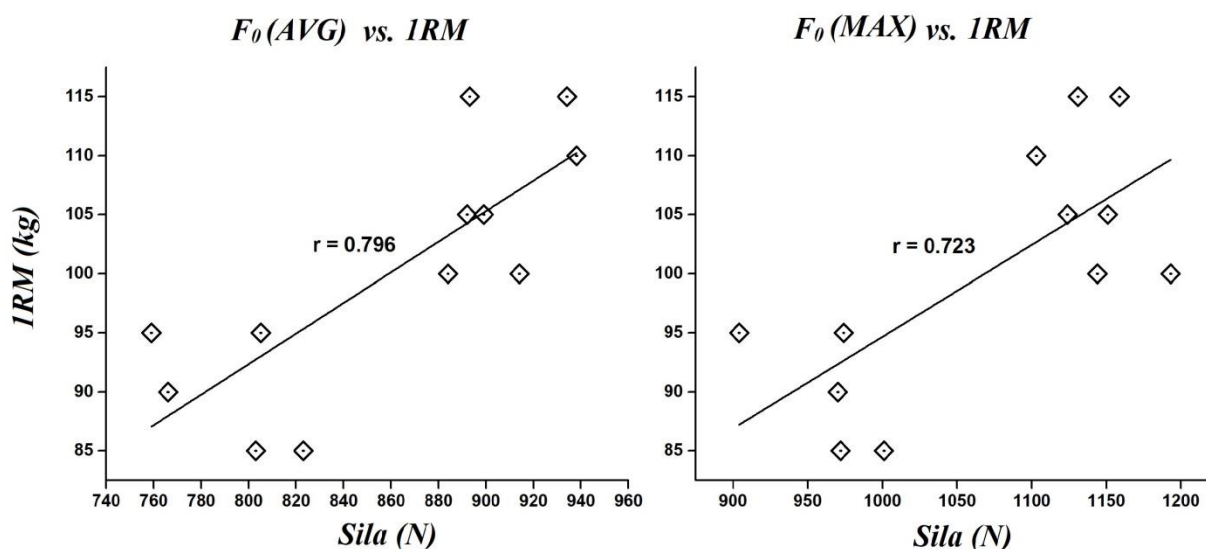
Tabela 6.3: Procentualne razlike između parametara linearne F - V i parabolične P - V relacije i njihova statistička značajnost testirana Bonferoni post-hok testom

<i>Varijable</i>	<i>Razlika u %</i>	<i>Značajnost</i>	
F_0	P_{max}	-28,584	.000
	V_0	-19,718	.000
	P_0	-31,894	.000
	a	-13.580	.282
V_0	P_{max}	-8,867	.000
	F_0	19,718	.000
	P_0	-12,176	.000
	a	6.137	.741
P_0	P_{max}	3.310	.191
	F_0	31,894	.000
	V_0	12,176	.000
	a	18,314	.009
a	P_{max}	-15,004	.028
	F_0	13.580	.282
	V_0	-6.137	.741
	P_0	-18,314	.009
P_{max}	F_0	28,584	.000
	V_0	8,867	.000
	P_0	-3.310	.191
	a	15,004	.028

F_0 – parametar maksimalne sile F - V relacije (odsečak na ordinati; $V = 0$), V_0 – parametar maksimalne brzine F - V relacije (odsečak na apscisi; $F = 0$), a – parametar nagiba F - V relacije, P_0 – parametar maksimalne snage F - V relacije, P_{max} – parametar maksimalne snage P - V relacije, Razlika u % - procentualna razlika, Značajnost – značajnost procentualne razlike

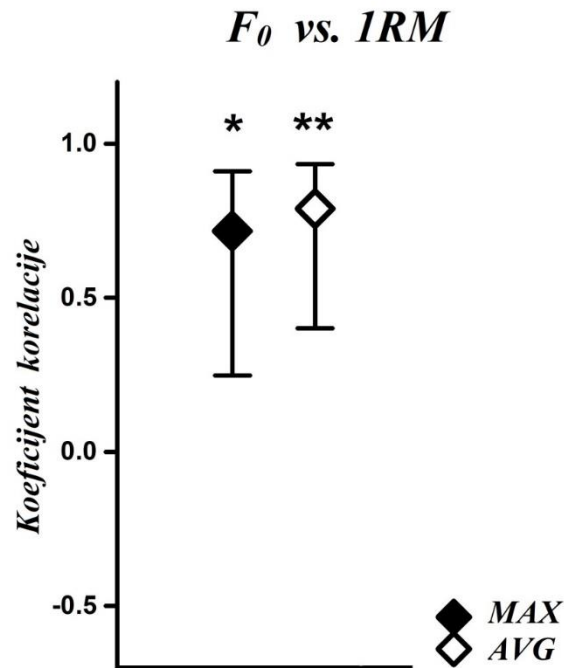
U okviru četvrtog cilja ispitivana je konkurentna validnost parametara linearne F - V relacije (F_0 , V_0 , a , P_0) i parabolične P - V relacije (P_{max}) u odnosu na direktno izmerene silu, brzinu i snagu, mišića opružača ruku, dobijene izvođenjem IRM -a i bacanja medicine (MED_{450g} i MED_{3kg})

Na slici 6.11 prikazana je povezanost parametara maksimalne sile (F_0) dobijenih iz prosečnih i maksimalnih vrednosti sa IRM -om. Uopšteno govoreći, F_0 otkriva visoku povezanost sa IRM -om i za prosečne i za maksimalne vrednosti. Od posebne je važnosti istaći činjenicu da je srednja vrednost IRM ($F = 984$ N) bila vrlo blizu vrednosti parametra sile ($F_0 = 1048$ N), koja je dobijena iz linearne regresije (videti sliku 6.2).



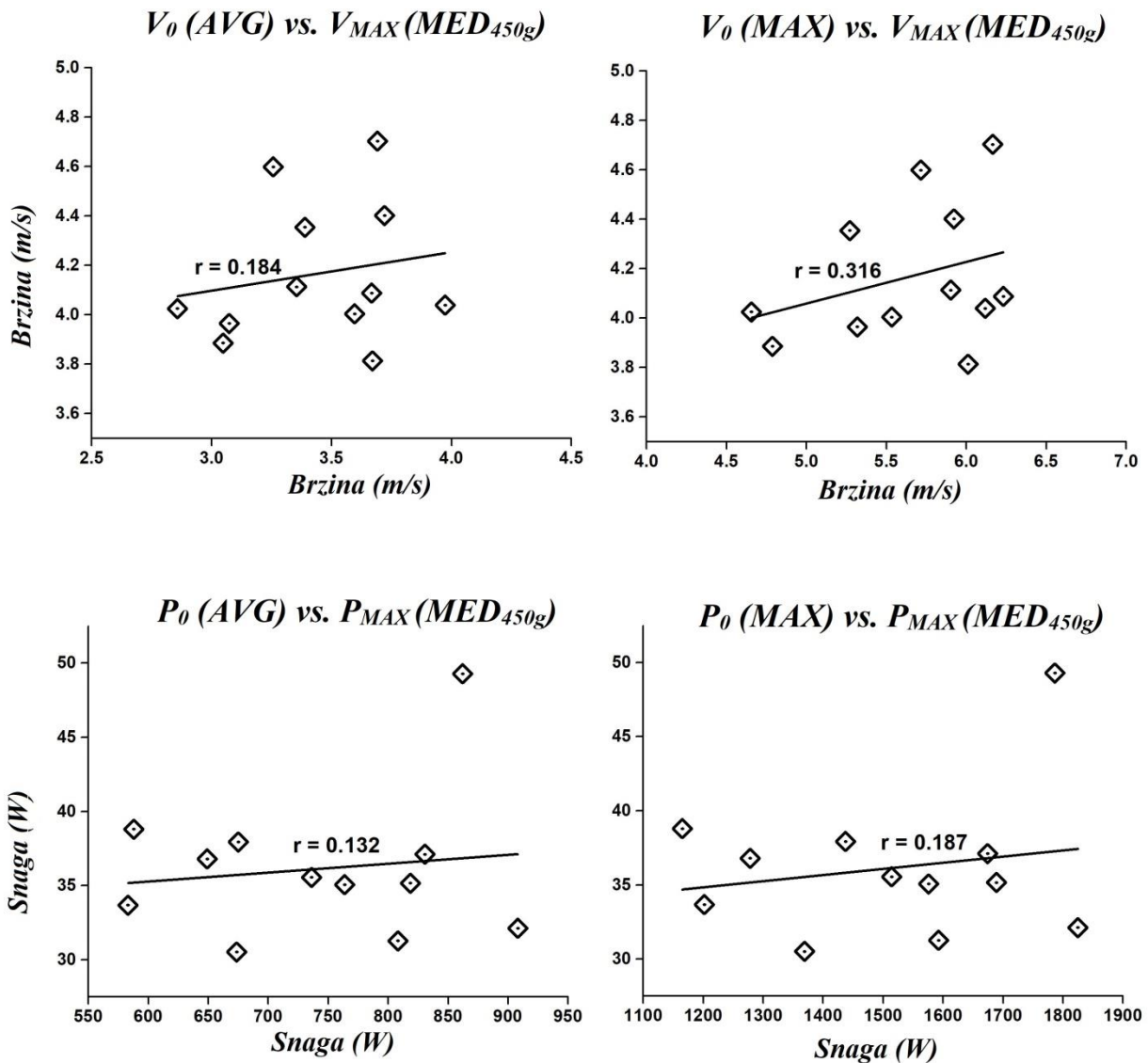
Slika 6.11: Konkurentna validnost parametara sile (F_0) iz prosečnih (AVG) i maksimalnih (MAX) vrednosti u odnosu na direktno izmerenu silu mišića opružača ruku (IRM), sa prikazanim vrednostima koeficijenta korelacije

Na slici 6.12 prikazani su koeficijenti korelacije parametara sile (F_0) dobijeni iz prosečnih i maksimalnih vrednosti linearnih F - V relacija, sa IRM , uz pripadajuću statističku značajnost.



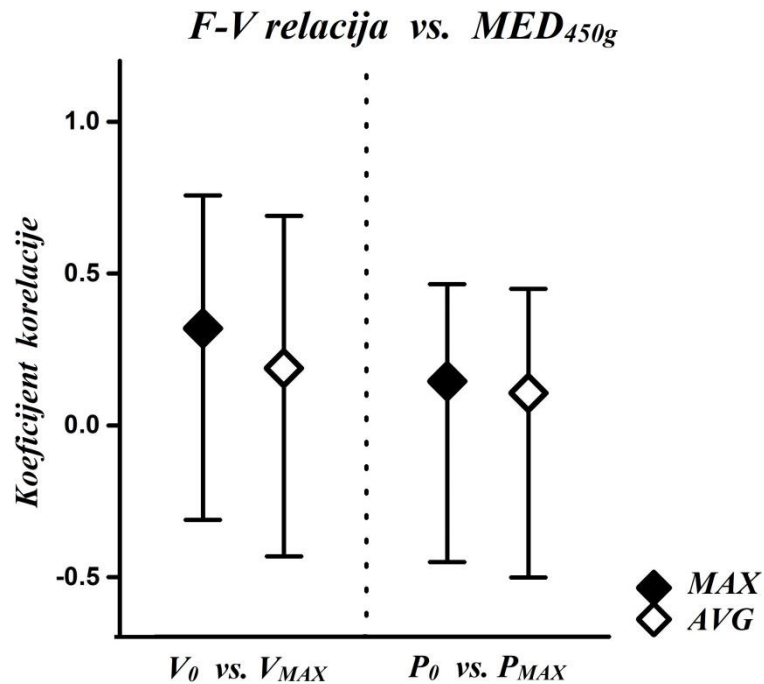
Slika 6.12: Konkurentna validnost parametara sile (F_0) iz prosečnih (AVG) i maksimalnih (MAX) vrednosti, u odnosu na direktno izmerenu silu mišića opružača ruku (IRM), sa prikazanim vrednostima koeficijenata korelacije (□ - $p < 0.05$; □□ - $p < 0.01$)

Kada se uzmu u obzir parametri brzine i snage (V_0 i P_0) dobijeni iz prosečnih i maksimalnih vrednosti linearnih F - V relacija, primetićemo da su njihovi koeficijenti korelacije sa direktno izmerenom brzinom i snagom (V_{MAX} i P_{MAX}), pri bacanju lakše medicinke (MED_{450g}), niski do umereni (slika 6.13).



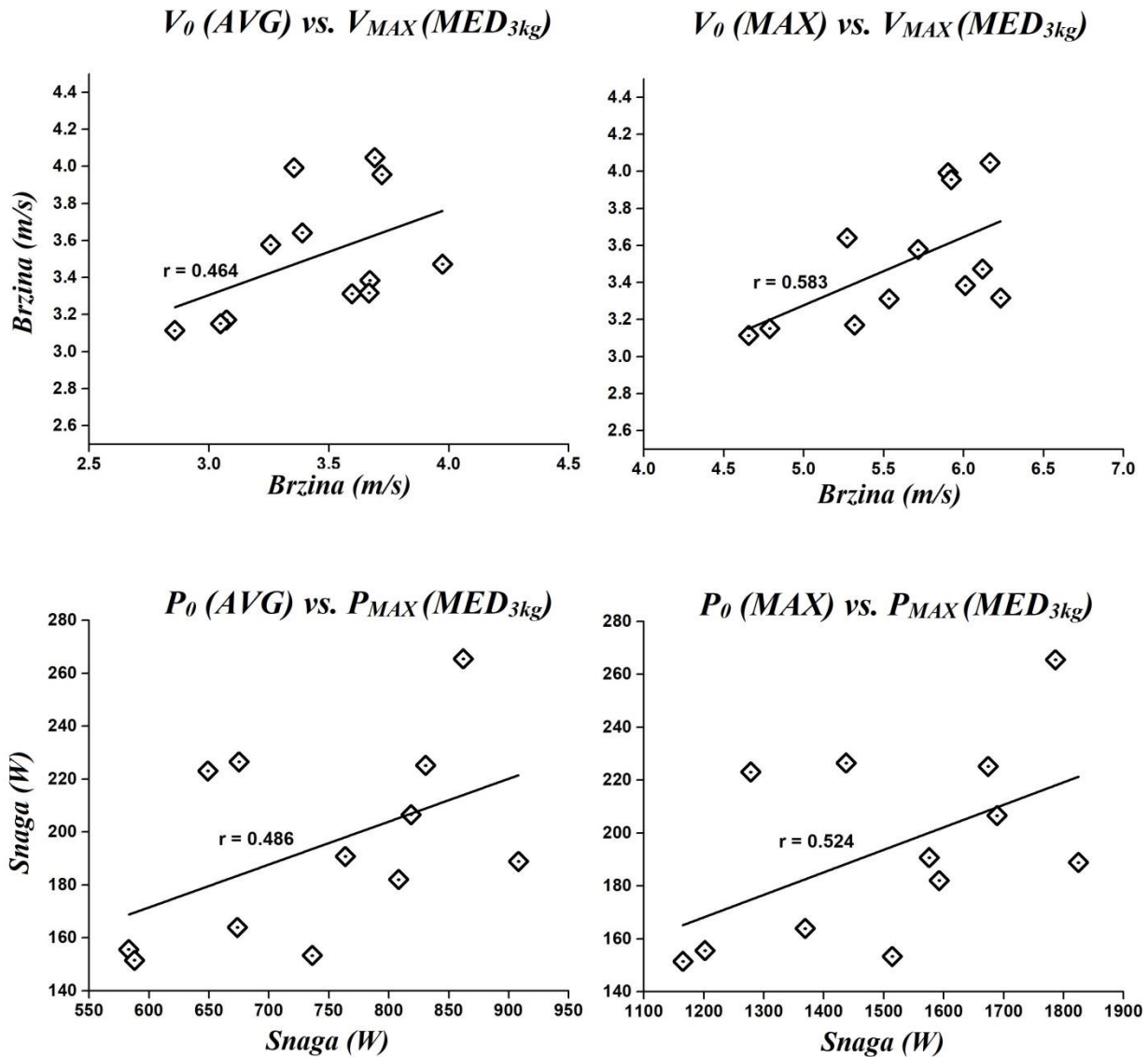
Slika 6.13: Konkurentna validnost parametara brzine (V_0) i snage (P_0) iz prosečnih (AVG) i maksimalnih (MAX) vrednosti, u odnosu na direktno izmerenu brzinu (V_{MAX}) i snagu (P_{MAX}) mišića opružača ruku, prilikom bacanja medicinke od 450 g (MED_{450g}), sa prikazanim vrednostima koeficijenta korelacije

Na slici 6.14 prikazani su koeficijenti korelacije parametara brzine i snage (V_0 i P_0) dobijeni iz prosečnih i maksimalnih vrednosti linearnih F - V relacija sa direktno izmerenom brzinom i snagom (V_{MAX} i P_{MAX}), pri bacanju lakše medicinke (MED_{450g}). Statistički značajne korelacije nisu uočene.



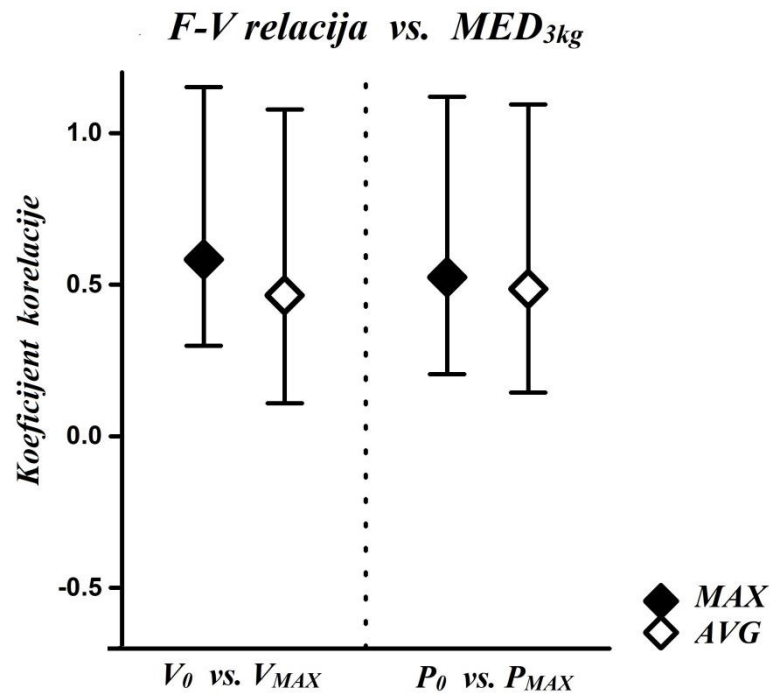
Slika 6.14: Konkurentna validnost parametara brzine (V_0) i snage (P_0) iz prosečnih (AVG) i maksimalnih (MAX) vrednosti, u odnosu na direktno izmerenu brzinu (V_{MAX}) i snagu (P_{MAX}) mišića opružača ruku prilikom bacanja medicinke od 450 g (MED_{450g})

Kada se uzmu u obzir parametri brzine i snage (V_0 i P_0) dobijeni iz prosečnih i maksimalnih vrednosti linearnih F - V relacija, primetićemo da su njihovi koeficijenti korelacije sa direktno izmerenom brzinom i snagom (V_{MAX} i P_{MAX}), pri bacanju teže medicinke (MED_{3kg}), umereni do visoki (slika 6.15).



Slika 6.15: Konkurentna validnost parametara brzine (V_0) i snage (P_0) iz prosečnih (AVG) i maksimalnih (MAX) vrednosti, u odnosu na direktno izmerenu brzinu (V_{MAX}) i snagu (P_{MAX}) mišića opružača ruku, prilikom bacanja lopte medicinke od 3 kg (MED_{3kg}), sa prikazanim vrednostima koeficijenta korelacije

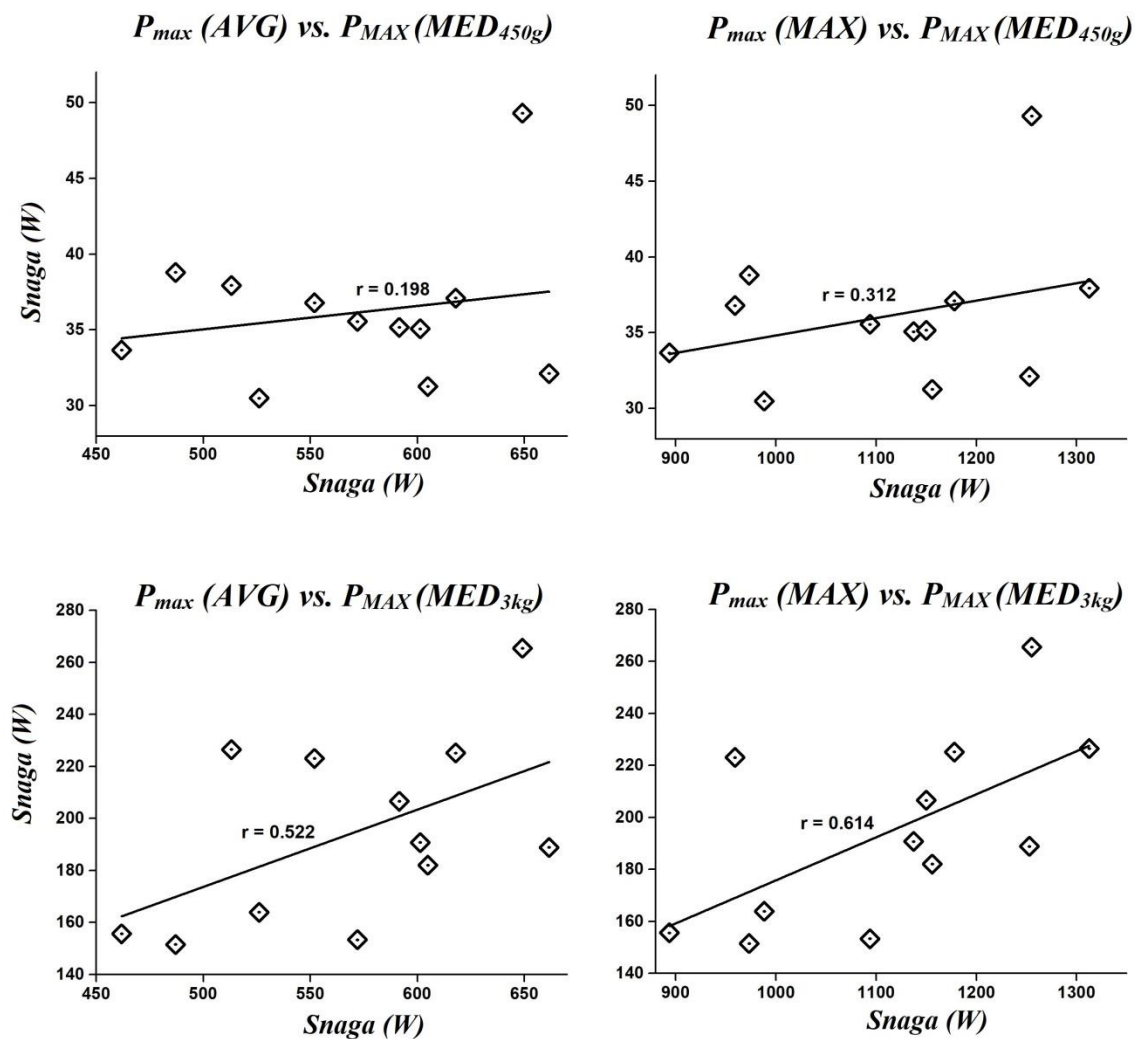
Na slici 6.16 prikazani su koeficijenti korelacije parametara brzine i snage (V_0 i P_0) dobijeni iz prosečnih i maksimalnih vrednosti linearnih F - V relacija sa direktno izmerenom brzinom i snagom (V_{MAX} i P_{MAX}), pri bacanju teže medicinke (MED_{3kg}). Statistički značajne korelacije nisu uočene, ali su blizu nivoa značajnosti.



Slika 6.16: Konkurentna validnost parametara brzine (V_0) i snage (P_0) iz prosečnih (AVG) i maksimalnih (MAX) vrednosti, u odnosu na direktno izmerenu brzinu (V_{MAX}) i snagu (P_{MAX}) mišića opružača ruku prilikom bacanja medicinke od 3 kg (MED_{3kg})

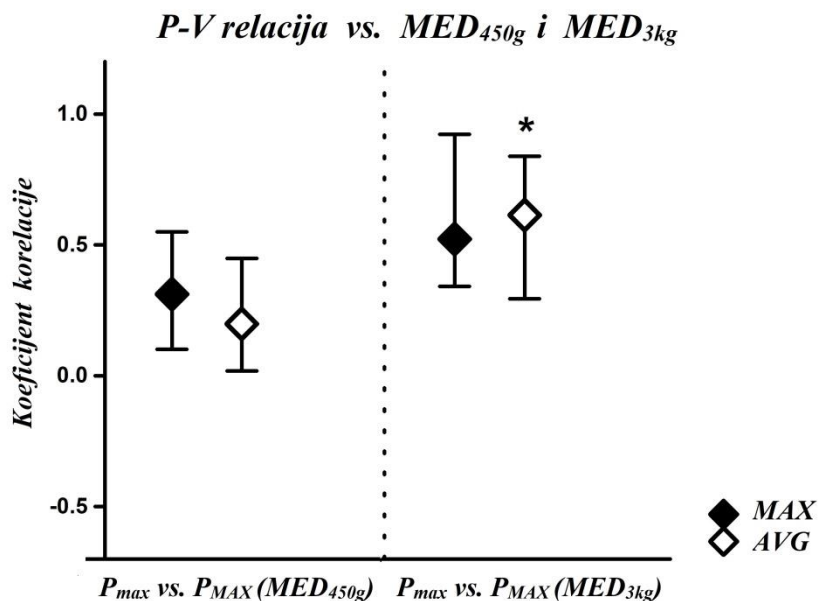
Na slici 6.17 prikazana je povezanost parametara snage dobijenih iz prosečnih i maksimalnih vrednosti parabolične P - V relacije (P_{max}) sa direktno izmerenom snagom (P_{MAX}) pri bacanju, lakše (MED_{450g}) i teže medicinke (MED_{3kg}).

Uopšteno govoreći, parametar snage iz P - V relacije (P_{max}) otkriva niske do umerene korelacije sa direktno izmerenom snagom (P_{MAX}) pri bacanju lakše medicinke (slika 6.17 iznad). Sa druge strane, parametar snage iz P - V relacije (P_{max}) otkriva visoke korelacije sa direktno izmerenom snagom (P_{MAX}) pri bacanju teže medicinke (slika 6.17 ispod).



Slika 6.17: Konkurentna validnost parametara snage dobijenog iz P - V relacije (P_{max}) iz prosečnih (AVG) i maksimalnih (MAX) vrednosti, u odnosu na direktno izmerenu snagu (P_{MAX}) mišića opružača ruku, prilikom bacanja medicinke od 450 g (MED_{450g}) i od 3 kg (MED_{3kg}), sa prikazanim vrednostima koeficijenta korelacije

Na slici 6.18 prikazani su koeficijenti korelacije parametara snage dobijenih iz prosečnih i maksimalnih vrednosti parabolične P - V relacije (P_{max}) sa direktno izmerenom snagom (P_{MAX}) pri bacanju, lakše (MED_{450g}) i teže medicine (MED_{3kg}), sa pripadajućom statističkom značajnošću.



Slika 6.18: Konkurentna validnost parametara snage dobijenog iz P - V relacije (P_{max}) iz prosečnih (AVG) i maksimalnih (MAX) vrednosti, u odnosu na direktno izmerenu snagu (P_{MAX}) mišića opružaća ruku, prilikom bacanja medicine od 450 g (MED_{450g}) i od 3 kg (MED_{3kg}), sa prikazanim vrednostima koeficijenata korelacije (□ - $p < 0.05$)

7. DISKUSIJA

Ovo istraživanje je nastalo iz potrebe za ispitivanjem mehaničkih osobina mišića ruku prilikom izvođenja složenih pokreta, primenom nove metode istraživanja, kao i njenom evaluacijom. Iz tog razloga glavni cilj se odnosio na praćenje odnosa linearne $F-V$ i parabolične $P-V$ relacije, tokom primene različitih spoljašnjih opterećenja. Međutim, iz glavnog cilja su proistekli i pojedinačni ciljevi.

Prvi cilj se odnosio na ispitivanje oblika $F-V$ i $P-V$ relacija, a potom i na utvrđivanje jačine povezanosti. Tim povodom krenulo se od pretpostavki da su $F-V$ relacije linearne, da su $P-V$ relacije parabolične, a da su međusobno visoko povezane.

Drugim ciljem je utvrđivana pouzdanost parametara linearne $F-V$ relacije (F_0 , V_0 , a i P_0) i parabolične $P-V$ relacije (P_{max}), pa se samim tim i krenulo od pretpostavke da su ovi parametri pouzdani.

Treći cilj je istraživao odnos vrednosti varijabli dobijenih iz prosečnih i maksimalnih vrednosti sile i brzine, kao i njihovim procentualnim razlikama. Krenulo se od pretpostavke da su vrednosti parametara dobijeni iz maksimalnih vrednosti sile i brzine viši u odnosu na vrednosti parametara dobijenih iz prosečnih vrednosti sile i brzine.

Četvrti cilj se bavio ispitivanjem konkurentne validnosti parametara linearne $F-V$ relacije (F_0 , V_0 i P_0) i parabolične $P-V$ relacije (P_{max}) u odnosu na direktno izmerenu silu, brzinu i snagu. Pretpostavka je bila da su ovi parametri validni u poređenju sa direktno izmerenom mišićnom silom, brzinom mišićnog skraćenja i ispoljenom snagom mišića.

U nastavku ovog poglavlja će se diskutovati o dobijenim rezultatima, u skladu sa postavljenim ciljevima studije, kao i o implikacijama koje oni nose sa sobom. Međutim, pre toga, važno je osvrnuti se na određene metodološke činjenice vezane za ovu studiju.

7.1 METODOLOŠKA RAZMATRANJA

Pre razmatranja dobijenih rezultata, neophodno je akcenat staviti na nekoliko metodoloških napomena, koje ukazuju na važnost nalaza studije, ali ukazuju i na potencijalne nedostatke i ograničenja.

Brojne studije su se bavile procenama $F-V$ i $P-V$ relacija. Prvobitna istraživanja su rađena na izolovanim mišićima (*Fenn i Marche, 1935; Hill, 1938*), van njihovog biološkog okruženja, a potom se pristupilo radu na živim organizmima, pri čemu su se tretirali jednozglobni mišićno-skeletni sistemi (*Wilkie, 1950; Perrine i Edgerton, 1978*). Međutim, sve su popularnija istraživanja koji ove relacije istražuju pri izvođenju složenih pokreta višezglobnih sistema (*Yamauchi i Ishii, 2007; Samozino i sar., 2012; 2014b; Ćuk i sar., 2014; Rahmani i sar., 2001; Samozino i sar., 2014a; Shepard i sar., 2008; Vandevallé i sar., 1987; Dris i Vandevallé, 2013; Nikolaidis, 2012; Ravier i sar., 2004; Nikolaidis, 2012; van der Tillar, 2004; Hintzi i sar., 2003; Cronin i sar., 2003*). Na izolovanom mišiću se mere generisane vrednosti sile i brzine. U testiranjima na jednozglobnim i složenim pokretima mere se njihove ispoljene vrednosti.

Treba napomenuti mogućnost matematičkog predstavljanja zavisnosti sile mišića u odnosu na brzinu njegovog skraćivanja, povlačenjem odgovarajuće regresione linije kroz dobijene tačke u koordinatnom sistemu. Na taj način varijable dobijene na izolovanim mišićima i kod jednozglobnih pokreta uglavnom se predstavljaju polinomijalnim regresionim modelom. Varijable dobijene pri testiranju složenih motoričkih zadataka, jednostavno se mogu opisati korišćenjem linearnog regresionog modela. Iz tih razloga ispitivanje mehaničkih osobina mišića pri vršenju složenih pokreta ima prednost, koja se odnosi na direktnu primenu u trenažnom procesu ili rehabilitaciji (*Jarić, 2015*).

Ako sagledamo brojne prethodne studije koje su se bavile procenama $F-V$ i $P-V$ relacija, uočićemo da su one dobijane iz motoričkih zadataka, izvedenim različitim mišićnim grupama i sa različitim vrstama opterećenja. Različitost metodoloških pristupa koja se odnosi na različite vrste opterećenja, ogleda se u korišćenju slobodnih tegova, elastičnih guma, pojaseva ili prsluka sa opterećenjem, raznih kočionih mehanizama itd. Takođe se uočavaju različiti metodološki pristupi testiranja u pogledu režima mišićne

kontrakcije, pri čemu uočavamo samo primere koncentrične kontrakcije ili koncentrične kontrakcije čijem skraćanju prethodi istežanje, ili pak pri cikličnim aktivnostima u kojima se smenjuju koncentrične i ekscentrične kontrakcije.

Iz navedenih razloga, za procenu mehaničkih osobina mišića preko, parametara $F-V$ i $P-V$ relacija, standardizovani protokoli testiranja sprovedeni na *Smit* mašini bi mogli da obezbede podatke koji će biti uporedivi.

Veoma bitna napomena odnosi se na opseg primenjenih opterećenja. Znamo da sa povećanjem opsega obezbeđuje se veća validnost primenjenog regresionog modela. Iako je u ovoj studiji u odnosu na neke druge studije opseg znatno povećan, a kretao se u rasponu 20 – 70 % od prosečnog *IRM*, ipak se postavlja pitanje obezbeđivanja veće validnosti.

U pogledu konkurentne validnosti parametar sile (F_0) je posmatran u odnosu na direktno procenjenju vrednost sile (*IRM*). Oba testa su rađena na istoj *Smit* mašini, iz iste početne pozicije i sa istim referentnim vrednostima. Procena konkurentne validnosti parametara brzine i snage (V_0 , P_0 i P_{max}) je poređena sa testom bacanja lakše i teže medicinke. U ovom slučaju šema pokreta i režimi mišićne kontrakcije je slična kao pri izbačaju sa grudi, pa se postavlja pitanje generalizovanja rezultata.

Takođe treba razmotriti korisnost leke medicinke. Da li i u kojoj meri bacanje lake medicinke može da razvije snagu i da li su dobijene vrednosti validne u poređenju sa težom medicinkom ili izbačajem tega sa grudi.

Na kraju moramo napomenuti činjenicu da su eksperimentalni podaci prikupljeni na grupi ispitanika, koji su predstavljali fizički aktivne osobe, odnosno da su to studenti Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja. Njihov indeks telesne mase i procenat masti govori u prilog navedene činjenice vezane za njihovu fizičku spremnost. Pretpostavka je i da poseduju značajno iskustvo u testiranju fizičkih osobina mišića. Pored činjenice da poseduju iskustvo, pojednostavljen motorički zadatak i jednostavan protokol su efekte učenja sveli na najmanju moguću meru.

7.2 OBLIK I POVEZANOST F - V I P - V RELACIJA

Da bi se procenila F - V relacija mišića ruku, urađen je test izbačaj sa grudi i dobijen niz prosečnih i maksimalnih podataka sile i brzine. Konkretno po pitanju prvog cilja, primećene su izuzetno snažne i približno linearne F - V relacije individualnih podataka sile i brzine, bilo da su izračunate kao prosečne ili maksimalne vrednosti. Kao posledica toga dobijene su P - V relacije koje su snažne i imaju paraboličan oblik.

Treba napomenuti da osim obavljenog istraživanja Ćuka (2014) na vertikalnim skokovima, druga istraživanja koja su imala za cilj da ispituju svojstva F - V relacija kod različitih složenih pokreta, su procenjivala ili linearnost F - V relacije, ili pouzdanost njenih obrazaca. Gledano sa metodološke strane, istražene relacije bi trebale da budu baza u osnovnim istraživanjima mišićno-skeletnog sistema, kao i u razvijanju standardnih testova za procenu fizičkih sposobnosti. Prema tome, ovo istraživanje je otkrilo novi skup podataka koji bi mogli biti od važnosti za buduća istraživanja vezana za procenu mehaničkih svojstava mišića ruku, a potencijalno i drugih mišićnih sistema.

U vezi sa posmatranim F - V relacijama, nalazi ove studije otkrivaju i za grupne (videti sliku 6.2) i za individualne (slika 6.4) F - V relacije, dobijene iz prosečnih i maksimalnih podataka sile i brzine, izuzetno jaku povezanost. U skladu sa tim, dobijene parabolične P - V relacije su takođe snažne. Konačno parametar maksimalne snaga (P_0) je dobijen na oko 50 % vrednosti parametra sile (F_0) i parametra brzine (V_0), što je u skladu sa rezultatima dobijenim u drugim studijama (Ćuk i sar., 2014; Marković i Jarić, 2007; Rahmani i sar., 2001; Suzović i sar., 2013). Dakle, jačina procenjenih relacija generalno podržava primenu linearnog modela za procenu F - V relacija kod složenih pokreta izvedenih maksimalnim intenzitetom.

Po pitanju mehanizama koji su uključeni pri izvođenju složenih pokreta, linearnost F - V relacija, mogla bi da potiče pre iz intersegmentalne dinamike (Bobbert 2012), nego iz mehanizama neutralne kontrole (Yamauchi i Ishii, 2007; Yamauchi i sar., 2009). Međutim, takođe napominjemo da su obe polinomijalne regresije dobijene iz prezentovanih podataka sile i brzine (videti sliku 6.3) bile konkavne i šta više, ona koja je izvedena iz prosečnih podataka sile i brzine je bila značajnije jača od odgovarajuće linearne regresije. Prema tome, posmatrani F - V obrasci donekle podsećaju na

hiperbolični obrazac F - V relacije individualnih mišića i mišićnih grupa [(*Hill*, 1938; *Wilkie*, 1950), za ispitivanje videti (*McMahon*, 1984)]. Takođe napominjemo da je testirani zadatak dozvolio dobijanje mnogo šireg opsega vrednosti sile i brzine od onih koje su dobijali u brojnim drugim ispitivanjima (*Ćuk i sar.*, 2014; *van der Tillar*, 2004; *Vandewalle i sar.*, 1987; *Ravier i sar.*, 2004).

Dakle, iako primenjeni model linearne regresije generalno otkriva jake F - V relacije, buduća istraživanja bi trebala da ispituju da li je linearnost posmatrana u brojnim zadacima, uključujući i ovaj, posledica tipično suženog raspona dobijenih podataka sile i brzine, pre nego suštinsko svojstvo testiranih mišića. Konačno, napominjemo da uglovi zglobova pod kojima je maksimalna sila posmatrana, takođe zaslužuju dalje istraživanje, pošto optimalna dužina mišića (i u skladu sa tim, ugao zgloba) za maksimalizovanje snage može biti različita u različitim režimima skraćjenja (*Haan i sar.*, 2003) i time bi mogla uticati na dobijene uzorke F - V relacije.

7.3 POUZDANOST PARAMETARA F - V I P - V RELACIJA

Pouzdanost posmatranih F - V obrazaca, čiji su parametri procenjeni intraklasnim koeficijentom korelacije (ICC), je velika. Međutim, interklasni koeficijent korelacije se pokazao tipično niži za parametre brzine (V_0) i nagiba regresione krive (a) u odnosu na parametre sile (F_0) ili parametre snage (P_0). Onda ne iznenađuje što su isti parametri pokazali visoke vrednosti standardne greške merenja (SEM) (u odnosu na njihove veličine) i koeficijenta varijacije (CV). Međutim, zaključuje se da je posmatrana pouzdanost F - V parametara nešto manja od one za odgovarajuće parametre posmatrane u vertikalnim skokovima (*Ćuk i sar.*, 2014), iako je ovo istraživanje bazirano na mnogo širem intervalu podataka za silu i brzinu u odnosu na vrednosti parametara sile i brzine (F_0 i V_0). Nemamo podatke kojima bismo dokazali da li posmatrani fenomen potiče od testiranog zadatka, sposobnosti ispitanika ili nečeg trećeg. Bez obzira na to, dobijeni nalazi generalno pretpostavljaju da bi linearna F - V relacija posmatrana kroz test izbačaj sa grudi mogla dati pouzdane pokazatelje maksimalne sile, brzine i snage mišića ruku.

7.4 POREĐENJE PROSEČNIH I MAKSIMALNIH VREDNOSTI VARIJABLI

Poređenje posmatranih ishoda prosečnih i maksimalnih vrednosti varijabli sile i brzine bi moglo biti od potencijalne važnosti, kako za buduća istraživanja, tako i za razvoj rutinskih testova. U skladu sa prethodnim nalazima posmatranim u raznim vertikalnim skokovima (Ćuk i sar., 2014), može se zaključiti da su povezanost posmatranih F - V i P - V relacija, pouzdanost njihovih parametara i njihova konkurentna validnost slični, bilo da se posmatraju kao prosečne ili maksimalne vrednosti sile i brzine. Jedina bitna razlika može biti u veličini dobijenih parametara. Otprilike, dvostruko je viši parametar snage (P_0) i skoro jednako niži nagib regresione krive (a) dobijeni iz maksimalnih u odnosu na prosečne vrednosti sile i brzine kod linearnih F - V relacija. Ove činjenice su uglavnom posledica viših vrednosti parametra brzine (V_0) pre nego parametra sile (F_0). Sličan je odnos u korist maksimalnih vrednosti i kod poređenja parametara maksimalne snage (P_{max}), dobijenih kod paraboličnih P - V relacija.

Kada govorimo o procentualnim razlikama između prosečnih i maksimalnih vrednosti parametara F - V i P - V relacija, najveća procentualna razlika uočena je kod parametra maksimalne snage (P_0). Ovaj parametar zavisi od parametara sile (F_0) i brzine (V_0), ali ta velika razlika prevashodno dolazi od parametra brzine (V_0). Sa druge strane kod parametra sile (F_0) nema velikih procentualnih razlika.

Maksimalna snaga dobijena iz polinomijalne regresije (P_{max}) takođe se razlikuje skoro u odnosu na parametre sile (F_0) i brzine (V_0) dobijene iz linearne regresije.

Prema tome, iako i maksimalne i srednje vrednosti sile i brzine mogu biti korišćene za procenu F - V i P - V relacija pri testiranju višezglobnih pokreta, posebno treba voditi računa o očekivanim razlikama u njihovom obliku, pogotovu pri poređenju različitih istraživanja, ali i prilikom formiranja budućih standarda.

Kao zaključak možemo istaći da je uporedna vrednost istih parametara imala raspon od visoke (za F_0) do srednje ka niskoj (za V_0 i P_0). Ako bismo izuzeli razlike u veličini posmatranih parametara, generalno podaci otkrivaju sličan oblik i F - V i P - V obrazaca, bilo da se posmatraju maksimalne ili prosečne varijabile sile i brzine.

7.5 KONKURENTNA VALIDNOST PARAMETARA F - V I P - V RELACIJA

Da bi ustanovili konkurentnu validnost odgovarajućih parametara F - V i P - V relacija u odnosu na direktno izmerene vrednosti sile, brzine i snage, odabrana su dva već evaluirana standardna testa. Za procenu sile uzet je test jedan maksimalni potisak tega sa grudi, ležeći na ravnoj klupi (IRM), a za procenu snage i brzine test bacanje medicinke sa obe ruke, iz sedećeg položaja (MED_{3kg} i MED_{450g}).

Podaci istraživanja su pokazali nekonzistentne nalaze. Naime, konkurentna validnost parametra sile (F_0) u odnosu na IRM pokazala se visokom, dok se konkurentna validnost parametara snage i brzine (P_0 i V_0) u poređenju sa direktno izmerenom maksimalnom snagom (P_{MAX}) i maksimalnom brzinom (V_{MAX}), dobijene testom bacanje medicinke sa obe ruke, iz sedećeg položaja, pokazala umerena do visoka u poređenju sa težom (MED_{3kg}) i umerenom do niskom, u poređenju sa lakšom medicinkom (MED_{450g}).

Ovi podaci su suprotni nekim ranijim studijama koje su pokazale nižu konkurentnu validnost parametra sile (F_0) prema direktno izmerenoj maksimalnoj sili (F_{MAX}) (Ćuk i sar., 2014). Takođe se očekivalo da bacanje lakše medicinke otkrije izlazna svojstva brzine, dok bi bacanje teže medicinke moglo pretežno da otkrije izlazna svojstva snage mišića ruku. Međutim, nisu pronađene razlike između konkurentne validnosti parametara snage i brzine (P_0 i V_0) po pitanju ishoda bacanja medicinki različitih težina.

Iako je očigledno da su potrebna dalja istraživanja, može se reći da postoji visoka konkurentna validnost parametra snage (F_0) sa kriterijumskom varijabilom (tj. IRM), pošto direktno procenjuje snagu mišića. Suprotno tome, uprkos čestoj upotrebi u testiranju (Chmielewski i sar., 2014; Nedeljković i sar., 2009; Stockbrugger i Haennel, 2001), validnost testa bacanje medicinke sa obe ruke, iz sedećeg položaja bi se mogla ograničiti, s obzirom na dobijene rezultate u ovom istraživanju.

Parametar snage iz P - V relacije (P_{max}) otkriva niske do umerene korelacije sa direktno izmerenom snagom (P_{MAX}) pri bacanju lakše medicinke, ali sa druge strane, otkriva visoke korelacije pri bacanju teže medicinke, pa se može zaključiti da je validan.

Za ocenu konkurentne validnosti koristili smo prosečne i maksimalne vrednosti sile i brzine. Dobijeni rezultati pokazuju veću korelaciju sa maksimalnim vrednostima, pa se nameće zaključak da ju je bolje koristiti. Tome možemo dodati i jednostavniji način dobijanja maksimalnih vrednosti, u odnosu na računanje prosečne vrednosti, što ukazuje na njihovu praktičnost i metodološke smernice za buduća istraživanja.

8. ZAKLJUČCI

Mehaničke osobine mišića su još uvek relativno nepoznate. Međutim, sa novim saznanjima njihova uloga u sportu, fiziologiji, fizikalnoj medicini i rehabilitaciji sve je značajnija. Ovo istraživanje je takođe imalo ulogu da donese neka nova saznanja o ulozi mehaničkih osobina mišića složenih mišićnih sistema, ali i da pojednostavi metode testiranja mišićne mehanike.

- Nalazi ove studije su pokazali da mišići ruku pri izvođenju složenih motoričkih zadataka, odnosno izbačaja tega sa grudi, karakterišu jake i otprilike linearne $F-V$, a samim tim i parabolične $P-V$ relacije.
- Korišćenje jednostavnog linearnog modela, umesto složenog, hiperboličnog omogućava praktičnu primenu $F-V$ i $P-V$ relacija u trenažnom procesu ili u rehabilitaciji, kroz lakše modelovanje složenih pokreta.
- Modelovanje je moguće ostvariti preko parametara $F-V$ i $P-V$ relacija, samo ako su oni pouzdani. Pouzdanost parametara linearne $F-V$ i parabolične $P-V$ relacije dobijeni iz prosečnih i maksimalnih vrednosti sile i brzine se pokazala u proseku kao visoka.
- Poređenjem parametara dobijenih iz prosečnih i maksimalnih vrednosti sile i brzine $F-V$ i $P-V$ relacija, generalno se uočava sličan oblik obrazaca. Međutim bitna razlika se odnosi na veličinu dobijenih parametara. Zato treba biti obazriv sa posmatranjem razlika u njihovom obliku, pogotovu ako se porede različita istraživanja. U smislu procentualnih razlika, najveća je uočena kod parametara maksimalne snage, a najmanja kod parametara maksimalne sile.
- Konkurentna validnost parametara $F-V$ i $P-V$ relacija kreće se u rasponu od visoke (za F_0), do umereno-niske (za P_0 i V_0).

Dobijeni nalazi govore u prilog tome da se primenjena metodologija, korišćena u ovom istraživanju može primenjivati u rutinskim testiranjima mehaničkih osobina mišića ruku, ali i drugih mišićnih sistema u pogledu ispoljavanja maksimalne sile, brzine i snage.

8.1 POTENCIJALNI ZNAČAJ ISTRAŽIVANJA

Mehaničke osobine mišića su još uvek nedovoljno istražene, a s obzirom na njihovu ulogu u sportu, fiziologiji, fizikalnoj medicini i rehabilitaciji ova istraživanja spadaju u red veoma bitnih.

Ovo istraživanje je omogućilo dobijanje novih saznanja o mehaničkim osobinama mišića i njihovoj ulozi u višezglobnom mišićnom sistemu i pojednostavilo testiranje mišićne mehanike pri izvođenju složenih kretnih zadataka. Upotreba jednostavnog linearnog modela, umesto složenog hiperboličnog, omogućava modelovanje složenih pokreta koji se izvode rukama (*Nikolaidis, 2012*). S obzirom da smo došli do zaključaka da su parametri linearne $F-V$ relacije pouzdani, validni i osetljivi, pomenuti model će sa sigurnošću dobiti na značaju.

Takođe, značaj ove studije se ogleda i kroz stvaranje osnove za validiranje metode, koja se može rutinski primenjivati u merenju mehaničkih izlaza sile, brzine i snage mišića ruku. Ovaj test bi bio baziran na izvođenju serije složenih pokreta rukama, u vidu izbačaja sa grudi, na *Smit* mašini koja omogućava jednostavnu manipulaciju i doziranje opterećenja.

Potencijalni značaj studije ogleda se kroz činjenicu da se primenom ovakve ili slične metodologije može vršiti ocena mišićnih funkcija, pri relativno niskom nivou fizičkog stresa, odnosno u uslovima u kojima nije potrebno veliko generisanje sile da bi se ubrzala masa tela (*Yamauchi i Ishii, 2007*), ili bez velikog povećanja krvnog pritiska (*Yamauchi i sar, 2009*). Iz tog razloga veoma je pogodna za testiranja u koja su uključena deca, rekonvalescenti ili starije osobe (*Yamauchi i Ishii, 2007*).

Značaj ove studije ogleda se i u mogućnostima primene ovakve ili sličnih metoda, u testiranju nervno-mišićnih sistema za potrebe trenažnog procesa ili procesa rehabilitacije. To znači da procenjivanje $F-V$ relacije mišića, primenom spoljašnjih opterećenja, može obezbediti uvid u trenutnu sposobnost testiranog mišićnog sistema, a samim tim i mogućnost modelovanja treninga kako bi se uklonili nedostaci.

8.2 SMERNICE ZA BUDUĆA ISTRAŽIVANJA

Buduća istraživanja bi mogla da budu fokusirana na oblik $F-V$ relacija kod drugih motoričkih zadataka i na svojstva merenja dobijenih parametara. Takođe, treba istražiti da li pretpostavljena linearnost $F-V$ relacije potiče pretežno iz uskog opsega dobijenih podataka sile i brzine, pre nego iz suštinskih svojstava mišića testiranih višezglobnih sistema. Buduća istraživanja u cilju modelovanja bi mogla da pokažu do kog stepena su parametri pretpostavljene linearne $F-V$ relacije posmatrani u višezglobnim pokretima povezani sa hiperboličkim relacijama kod testiranja pojedinačnih mišića (Bobbert, 2012). Takođe je potrebna i generalizacija posmatranih nalaza i drugih višezglobnih sistema.

Bez obzira na sve, ovi nalazi doprinose dokazu da se mehanička svojstva mišića mogu istraživati pri izvođenju složenih motoričkih zadataka, koji uključuju višezglobne mišićne sisteme primenom niza spoljašnjih opterećenja, jer daju relativno jednostavne linearne $F-V$ i pripadajuće parabolične $P-V$ relacije. Takođe, složeni motorički zadaci bi se mogli razviti u relativno jednostavne i ekološki validne testove za procenu kapaciteta sile, brzine i snage mišićnog sistema.

9. LITERATURA

- Abernethy P, Wilson G, Logan P. (1995). Strength and power assessment. issues, controversies and challenges. Review. *Sports Med.* 19(6):401-417.
- Asmussen E, and Heeboll-Nielsen K. (1961). Isometric muscle strength of adult men and women. *Comm Danish Nat Ass for Infant Paral*, 11; 3-43.
- Baker D, Nance S, Moore M. (2001). The load that maximizes the average mechanical power output during jump squats in power-trained athletes. *J Strength Cond Res*;15(1):92-7.
- Banicevic D, Markovic S, Knezevic O, Nedeljkovic A, Mirkov D, Dopsaj M. (2012). Reliability and validity of bilateral alternating consecutive maximum contractions as a test of neuromuscular function: a pilot study, *Serb J Sport Sci*, 6; 137-145.
- Bobbert MF. (2012). Why is the force–velocity relationship in leg press tasks quasi-linear rather than hyperbolic? *J Appl Physiol*;112(12):1975–1983.
- Bompa T. (1999). *Periodization: Theory and Methodology of Training*. Champaign HumanKinetics.
- Bosco C, Komi PV. (1979). Potentiation of the mechanical behavior of the human skeletal muscle through prestretching. *Acta Physiol Scand*;106(4):467-472.
- Brace DK. (1927). *Measuring motor ability: A scale of motor ability tests*: AS Barnes.
- Chapman A, Caldwell G. (1985). The use of muscle strength in inertial loading. In Winter D, Norman D, Wells R et al. (Eds) *Biomechanics IX-A*. Champaign, Ill: Human Kinetics Publ. pp:44-49.
- Chmielewski TL, Martin C, Lentz TA, Tillman SM, Moser MW, Farmer KW, Jaric S. (2014). Normalization considerations for using the unilateral seated shot put test in rehabilitation. *J Orthop Sports Phys Ther*;44(7):518–524.
- Claflin DR, Faulkner JA. (1989). The force-velocity relationship at high shortening velocities in the soleus muscle of the rat. *Journal of Physiology*. 411:627-637.
- Cohen J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*, 2nd edn. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale.
- Cormie P, McCaulley GO, Triplett NT, McBride JM. (2007). Optimal loading for maximal power output during lower-body resistance exercises. *Med Sci Sports Exerc*;39(2):340-9.
- Cormie P, McGuigan MR, Newton RU. (2010). Adaptations in athletic performance after ballistic power versus strength training. *Med Sci Sports Exerc*;42(8):1582-1598.
- Cormie P, McGuigan MR, Newton RU. (2011a). Developing maximal neuromuscular power: Part 1 – biological basis of maximal power production. *Sports Med*;41(1):17-38.
- Cormie P, McGuigan MR, Newton RU. (2011b). Developing maximal neuromuscular power: Part 2 – training considerations for improving maximal power production. *Sports Med*;41(2):125–146.

- Cronin JB, McNair PJ, Marshall RN. (2003). Force–velocity analysis of strength-training techniques and load: implications for training strategy and research. *J Strength Cond Res*;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. *Eur J Appl Physiol* 114(8):1703–1714
- Dickinson S. (1928). The Dynamics of Bicycle Pedaling. *Proc R Soc Lond B*;103.
- Driss T, Vandewalle H. (2013). The measurement of maximal (anaerobic) power output on a cycle ergometer: a critical review. *Biomed Res Int* 2013:589361.
- Driss T, Vandewalle H, Le Chevalier JM, Monod H. (2002). Force–velocity relationship on a cycle ergometer and knee-extensor strength indices. *Can J Appl Physiol*;27(3):250–262.
- Earle RW, Baechle TR. (2004). NSCA's essentials of personal training. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Edgerton VR, Roy RR, Gregor RJ. (1986). Morphological basis of skeletal muscle power output. In: Jones NL, McCartney N i A.J. M, editors. Human muscle power. Champaign, IL: Human Kinetics: 43-64
- Enoka RM. (1995). Morphological features and activation patterns of motor units. *J Clin Neurophysiol*. 12(6):538-59.
- Faulkner JA, Clafin DR, McCully KK. (1986a). Power output of fast and slow fibers from human skeletal muscles. In: Jones NL, McCartney N i A.J. M, editors. Human muscle power. Champaign, IL: Human Kinetics: 81-94.
- Faulkner JA, Clafin DR, McCully KK. (1986b). Power output of fast and slow fibers from human skeletal muscles. In: Jones NL, McCartney N i A.J. M, editors. Human muscle power. Champaign, IL: Human Kinetics: 88-100.
- Fenn WO, Marsh BS. (1935). Muscular force at different speeds of shortening. *J Physiol*;85:277–297.
- Fitts RH. (2008). The cross-bridge cycle and skeletal muscle fatigue. *J Appl Physiol*(1985). 104(2):551-8.
- Fleishman EA. (1964). The structure and measurement of physical fitness. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Frontera WR, Ochala J. (2015). Skeletal Muscle: A Brief Review of Structure and Function. *Calcif Tissue Int*. 96:183–195.
- Gasser HS, Hill AV. (1924). The dynamics of muscular contraction. *Proceedings of the Royal Society of London, B*. 96:398-437.
- Geeves MA, Fedorov R, Manstein DJ. (2005). Molecular mechanism of actomyosin-based motility. *Cell Mol Life Sci*. 62:1462–1477.
- Gehlert S, Bloch W, Suhr F. (2015). Ca²⁺-dependent regulations and signaling in skeletal muscle: from electro-mechanical coupling to adaptation. *Int J Mol Sci*. 16(1):1066-95.
- Guyton AC. (1989). Medicinska fiziologija. Medicinska knjiga Beograd-Zagreb. Zagreb: 181-189.

- Haan A, Huijing PA, Vliet MR (2003). Rat medial gastrocnemius muscles produce maximal power at a length lower than the isometric optimum length. *Pflugers Arch* 445(6):728–733.
- Hakkinen K. (1989). Neuromuscular and hormonal adaptations during strength and power training. A review. *J Sports Med Phys Fitness*;29(1):9-26.
- Harris NK, Cronin JB, Hopkins WG. (2007). Power outputs of a machine squat-jump across a spectrum of loads. *J Strength Cond Res*;21(4):1260-1264.
- Henry FM. (1958). Specificity vs. generality in learning motor skills. *College of the Physical Education Association*, 61, 126-128.
- Hill AV. (1922). The maximum work and mechanical efficiency of human muscles, and their most economical speed. *Journal of Physiology*. 56:19-41.
- Hill AV. (1938). The heat of shortening and the dynamic constants of muscle. *Proceedings of the Royal Society of London, B*. 126:136-195.
- Hintzy F, Tordi N, Predine E, Rouillon JD, Belli A. (2003). Force–velocity characteristics of upper limb extension during maximal wheelchair sprinting performed by healthy able-bodied females. *J Sports Sci*. 21(11):921–926.
- Hong Y, Bartlett RM. (2008). *Handbook of Biomechanics and Human Movement*. Routledge.
- Huxley AF, Simmons RM. (1971). Proposed mechanism of force generation in striated muscle. *Nature*. (233):533–538.
- Huxley AF. (1957). Muscle structure and theories of contraction. *Prog Biophys Biophys Chem*. 7:255–318.
- Jaric S, Markovic G. (2013). Body mass maximizes power output in human jumping: a strength-independent optimum loading behavior. *Eur J Appl Physiol*;113(12):2913-2923.
- Jaric S. (2015). Force-velocity relationship of muscles performing multi-joint maximum performance tasks. *Int J Sports Med*. 36(9):699-704.
- Jarić S. (1997). *Biomehanika humane lokomocije sa biomehanikom sporta*. Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja. Beograd.
- 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):55-5.
- Komi PV. (1992). Stretch-shortening cycle. In: Komi PV. (Ed) *Strength and power in sport*. London, GB: Blackwell Scientific.
- Kukulj M. (2006). *Opšta antropomorfika*. Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja.
- Lanza IR, Towse TF, Caldwell GE, Wigmore DM, Kent-Braun JA. (2003). Effects of age on human muscle torque, velocity, and power in two muscle groups. *J Appl Physiol*;95:2361-2369.
- Leontijevic B, Pazin N, Kukulj M, Ugarkovic D, Jaric S. (2013). Selective effects of weight and inertia on maximum lifting. *Int J Sports Med*; 34(3):b232–238.
- Levin A, Wyman J. (1927). The viscous elastic properties of muscle. *Proceedings of the Royal Society of London, B*. 101:218-243.

- MacIntosh BR, Holash RJ. (2000). Power output and force-velocity properties of muscle. In: Nigg BM, MacIntosh BR i Mester J, editors. Biomechanics and biology of movement. Champaign (IL): Human Kinetics, Inc: 193-210.
- Malack J, Rađo I. (2004). Tehnologija sporta i sportskog treninga. Univerzitet u Sarajevu. Fakultet sporta i tjelesnog odgoja.
- Markovic G, Jaric S. (2007). Positive and negative loading and mechanical output in maximum vertical jumping. *Med Sci Sports Exerc.* 39(10):1757-64.
- Maughan RJ, Watson JS, Weir J. (1984). Muscle strength and cross-sectional area in man: a comparison of strength-trained and untrained subjects. *Br J Sports Med*;18:149-157.
- Mayr HO, Zaffagnini S. (2015). Prevention of Injuries and Overuse in Sports: Directory for Physicians, Physiotherapists, Sport Scientists and Coaches: Springer.
- McBride JM, Triplett-McBride T, Davie A, Newton RU. (1999). A comparison of strength and power characteristics between power lifter, olympic lifters, and sprinters. *J Strength Cond Res*;13(1):58-66.
- McComas AJ. (1996) Skeletal Muscle: Form and Function. Champaign, Ill.: Human Kinetics.
- McMahon TA. (1984). Muscles, reflexes, and locomotion. Princeton University Press, Princeton.
- Metter EJ, Talbot LA, Schrage M, Conwit RA. (2004). Arm-cranking muscle power and arm isometric muscle strength are independent predictors of all-cause mortality in men. *J Appl Physiol*;96(2):814-821.
- Morrow R, Jackson W, DischG, MoodP. (2005). Measurement and Evaluation in Human Performance, third edition. Human Kinetics, Champaign, IL.
- Nedeljkovic A, Mirkov DM, Markovic S, Jaric S. (2009). Tests of muscle power output assess rapid movement performance when normalized for body size. *J Strength Cond Res* 23(5):1593–1605.
- Nedeljković, A. (2016). Relacija sila-brzina u višezglobnim pokretima: nova metoda u testiranju sile, brzine i snage. Beograd: Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja.
- Newton RU, Kraemer WJ. (1994). Developing explosive muscular power: implications for a mixed methods training strategy. *Strength Cond J*;16:20-31.
- Newton RU. (1997). Expression and development maximal muscular power. Queensland, University of Queensland: 230.
- Nikolaidis PT. (2012). Age-and sex-related differences in force–velocity characteristics of upper and lower limbs of competitive adolescent swimmers. *J Hum Kinet*;32:87–95.
- Nikolić Z. (2003). Fiziologija fizičke aktivnosti. Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja. Beograd.
- Norton K, Marfell-Jones M, Whittingham N, Kerr D, Carter L, Saddington K, Gore C. (2000). Anthropometric Assessment Protocols. Physiological Tests for Elite Athletes. Human Kinetics.
- Perrine JJ, EdgertonVR. (1978). Muscle force-velocity and power-velocity relationships under isokinetic loading. *Med sci sports*;10(3):159-166.

- Rahmani A, Viale F, Dalleau G, Lacour JR. (2001). Force/velocity and power/velocity relationships in squat exercise. *Eur J Appl Physiol*;84(3):227–232.
- Ralston HJ, Polissar MJ, Inman VT, Close JR, Feinstein B. (1949). Dynamic features of human isolated voluntary muscle in isometric and free contractions. *J Appl Physiol*, vol 1 no 7 526-533.
- Ravier G, Grappe F, Rouillon JD (2004). 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):349–55.
- Sale DG. (2003). Neural adaptations to strength training. In: Komi PV, editor. *Strength and power in sport*. London: Blackwell: 281-313.
- Samozino P, Edouard P, Sangnier S, Brughelli M, Gimenez P, Morin JB. (2014a). Force–velocity profile: imbalance determination and effect on lower limb ballistic performance. *Int J Sports Med*; 35(6):505–510
- Samozino P, Morin JB, Hintzy F, Belli A. (2008). A simple method for measuring force, velocity and power output during squat jump. *J Biomech*;41(14):2940–2945.
- Samozino P, Rejc E, di Prampero PE, Belli A, Morin JB. (2014b). Force–velocity properties' contribution to bilateral deficit during ballistic push-off. *Med Sci Sports Exerc*;46(1):107–114.
- Samozino P, Rejc E, Di Prampero PE, Belli A, Morin JB. (2012). Optimal force-velocity profile in ballistic movements—Altius: Citius or Fortius? *Med Sci Sports Exerc*;44(2):313-322.
- Sargeant AJ, Dolan P, Young A. (1984). Optimal velocity for maximum short-term (anaerobic) power output in cycling. *Int J Sports Med*;5,124-125.
- Seck D, Vandewalle H, Decrops N, Monod H. (1995). Maximal power and torque-velocity relationship on a cycle ergometer during the acceleration phase of a single all-out exercise. *Eur J Appl Physiol*;70,161-168.
- Sheppard JM, Cormack S, Taylor KL, McGuigan MR, Newton RU. (2008). Assessing the force–velocity characteristics of the leg extensors in well-trained athletes: the incremental load power profile. *J Strength Cond Res*;22(4):1320–1326.
- Sorrentino V, Gerli R. (2003). Structure and molecular organisation of the sarcoplasmic reticulum of skeletal muscle fibers. *Ital J Anat Embryol*. 108(2):65-76.
- Sprague RC, Martin JC, Davidson CJ, Farrar RP. (2007). Force-velocity and power-velocity relationships during maximal short-term rowing ergometry. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 39(2):358-364.
- Stockbrugger BA, Haennel RG. (2001). Validity and reliability of a medicine ball explosive power test. *J Strength Cond Res* 15(4):431–438.
- Stojiljković S, Mitić D, Mandarić S, Nešić D. (2012). *Personalni fitnes*. Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja, Univerziteta u Beogradu.
- Suzovic D, Markovic G, Pasic M, Jaric S. (2013). Optimum load in various vertical jumps support the maximum dynamic output hypothesis. *Int J Sports Med*. 34:1007–1014.

- Van der Tillar R, Ettema G. (2004). A force–velocity relationship and coordination patterns in overarm throwing. *J Sports Sci Med* 3:211–219.
- Vandewalle H, Peres G, Heller J, Monod H. (1985). All out anaerobic capacity tests on cycle ergometers, *Eur J Appl Physiol*;54,222-229.
- Vandewalle H, Peres G, Heller J, Panel J, Monod H. (1987). Force– velocity relationship and maximal power on a cycle ergometer. Correlation with the height of a vertical jump. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.*;56(6):650–656.
- Westerblad H, Bruton JD, Katz A. (2010). Skeletal muscle: energy metabolism, fiber types, fatigue and adaptability. *Exp Cell Res.* 316(18):3093-9.
- Wilkie DR. (1950). The relation between force and velocity in human muscle. *J Physiol*, vol 110 249-280.
- Wilson GJ, Newton RU, Murphy AJ, Humphries BJ. (1993). The optimal training load for the development of dynamic athletic performance. *Med Sci Sports Exerc*;25(11):1279-8.
- Yamauchi J, Ishii N. (2007). Relations between force–velocity characteristics of the knee-hip extension movement and vertical jump performance. *J Strength Cond Res*;21(3):703–709.
- 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. *J Biomech.* 42(13):2151–2157.
- Zaciorski VM. (1969). Fizičke sposobnosti sportiste. Jugoslovenski zavod za fizičku kulturu i Fakultet za fizičko vaspitanje. Beograd.
- Zatsiorsky VM. (2000). Biomechanics in sports – performance enhancement and injury prevention. Blackwell Science Ltd.
- Zatsiorsky VM. (2009). Nauka i praksa u treningu snage. Human Kinetics.
- Zatsiorsky MV. (2008). The Encyclopaedia of Sports Medicine: An IOC Medical Commission Publication, Biomechanics in Sport: Performance Enhancement and Injury Prevention. John Wiley & Sons.
- Željaskov C. (2004). Kondicioni trening vrhunskih sportista. Sportska Akademija Beograd.
- <https://www.picswe.net/pics/full-body-skeleton-with-muscles-fb.html>
- <https://www.realx3mforum.com/smf/index.php?topic=4144.0>
- https://www.yjkgj.com/yinjianyoushi/yinjianyoushiview_12.html
- <https://www.znanje.org/i/i28/08iv06/08iv0625/misici.htm>

10. PRILOZI

Prilog 1: Kopija naslovne strane objavljenog rada

Author's personal copy

Eur J Appl Physiol
DOI 10.1007/s00421-015-3165-1

ORIGINAL ARTICLE

Evaluation of force–velocity and power–velocity relationship of arm muscles

Sreten Srećković¹ · Ivan Cuk¹ · Sasa Djuric¹ · Aleksandar Nedeljkovic¹ · Dragan Mirkov¹ · Slobodan Jaric^{2,3}Received: 4 November 2014 / Accepted: 25 March 2015
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2015**Abstract**

Purpose A number of recent studies have revealed an approximately linear force–velocity (F–V) and, consequently, a parabolic power–velocity (P–V) relationship of multi-joint tasks. However, the measurement characteristics of their parameters have been neglected, particularly those regarding arm muscles, which could be a problem for using the linear F–V model in both research and routine testing. Therefore, the aims of the present study were to evaluate the strength, shape, reliability, and concurrent validity of the F–V relationship of arm muscles.

Methods Twelve healthy participants performed maximum bench press throws against loads ranging from 20 to 70 % of their maximum strength, and linear regression model was applied on the obtained range of F and V data. One-repetition maximum bench press and medicine ball throw tests were also conducted.

Results The observed individual F–V relationships were exceptionally strong ($r = 0.96–0.99$; all $P < 0.05$) and fairly linear, although it remains unresolved whether a polynomial fit could provide even stronger relationships. The reliability of parameters

obtained from the linear F–V regressions proved to be mainly high (ICC > 0.80), while their concurrent validity regarding directly measured F, P, and V ranged from high (for maximum F) to medium-to-low (for maximum P and V).

Conclusions The findings add to the evidence that the linear F–V and, consequently, parabolic P–V models could be used to study the mechanical properties of muscular systems, as well as to design a relatively simple, reliable, and ecologically valid routine test of the muscle ability of force, power, and velocity production.

Keywords Regression · Bench press throw · Strength · Reliability · Validity · Testing

Abbreviations

A	Slope of linear F–V regression
CV %	Coefficient of variation
F	Force
F_0	Force intercept obtained from linear F–V regression
ICC	Intraclass correlation coefficient
P	Power
P_{max}	Maximum power obtained from medicine ball throw
P_0	Maximum power obtained from linear F–V regression
SEM	Standard error of measurement
V	Velocity
V_{max}	Maximum velocity obtained from medicine ball throw
V_0	Velocity intercept obtained from linear F–V regression
IRM	One repetition maximum bench press
95 % CI	95 % confidence interval

Communicated by William J. Kraemer.

✉ Slobodan Jaric
jaric@udel.edu¹ The Research Center, Faculty of Sports and Physical Education, University of Belgrade, Belgrade, Serbia² Department of Kinesiology and Applied Physiology, University of Delaware, 541 South College Avenue, Newark, DE 19716, USA³ Biomechanics and Movement Science Graduate Program, University of Delaware, Newark, USA

Published online: 01 April 2015

Springer

Prilog 2: Kopija odobrenja Etičkog komiteta Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja za realizaciju predloženih eksperimenata

UNIVERZITET U BEOGRADU
FAKULTET SPORTA I FIZIČKOG VASPITANJA
ETIČKA KOMISIJA

Република Србија
УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ФАКУЛТЕТ СПОРТА И ФИЗИЧКОГ ВАСПИТАЊА
02. EP 1537-2
02.7. 2014 год.
Београд, Београдска Пачакића 150

Predmet-Na zahtev zaveden pod brojem 02-1537 od 25.06.2014godine koji je podneo Sreten Srećković „Etička komisija Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu daje

S A G L A S N O S T

Za realizaciju eksperimenta u okviru projekta Ministarstva nauke Republike Srbije pod nazivom "MIŠIČNI I NEURALNI FAKTORI HUMANE LOKOMOCIJE I NJIHOVE ADAPTIVNE PROMENE (BR IO175037) čiji je rukovodilac van.prof Aleksandar Nedeljković za eksperiment u kome će se ispitivati relacije sila-brzina kod ravnog potiska na grudima na benč presu.

O b r a z l o ž e n j e

Na osnovu uvida u plan projekta navedenog eksperimenta čiji je rukovodilac van.prof .van prof Aleksandar Nedeljković a istraživač Sreten Srećković, „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 psihosocijalne i fizičke dobrobiti.

U skladu sa iznetim mišljenjem Etička komisija Fakulteta daje saglasnost za realizaciju istraživanja planiranih gore navedenim projektom.

U Beogradu 30.06.2014

Za Etičku komisiju
Članovi

1. prof dr Dušanka Lazarević

D. Lazarević

2. prof dr Dušan Ugarković

3. prof dr Vladimir Koprivica



Prilog 3: Kopija upitnika za procenu nivoa fizičke aktivnosti ispitanika

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

IPAQ

INTERNACIONALNI UPITNIK O FIZIČKOJ AKTIVNOSTI - IPAQ -

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

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

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

_____ dana u nedelji

Nisam imao ovu vrstu aktivnosti



Pređite na pitanje br. 3

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

_____ sati na dan

_____ minuta na dan

Ne znam/nisam siguran

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

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

_____ dana u nedelji

Nisam imao ovu vrstu aktivnosti



Pređite na pitanje br. 5

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

_____ sati na dan

_____ minuta na dan

Ne znam/nisam siguran

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

IPAQ

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

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

_____ dana u nedelji

Nisam hodao duže od 10 minuta



Pređite na pitanje br. 7

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

_____ sati na dan

_____ minuta na dan

Ne znam/nisam siguran

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

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

_____ sati na dan

_____ minuta na dan

Ne znam/nisam siguran

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

Saglasan sam da učestvujem u testiranju Vaš potpis _____

Telefon _____ e-mail adresa _____

Prilog 4: Kopija formulara saglasnosti ispitanika za učešće u eksperimentu u saglasnosti sa Helsinškom deklaracijom

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

Istraživači: Red. prof. dr Slobodan Jarić
Van. prof. dr Aleksandar Nedeljković
Sreten Srećković
Ivan Ćuk
Saša Đurić

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 vezan je za istraživanja relacija sila-brzina kod benč pres bacanja i upravo to će biti glavni predmet ovog istraživanja.

Vi ćete biti jedan od 12 zdravih učesnika starih između 18-30 godina, na kojima će se meriti izlaz snage i relacija između sile i brzine kod benč pres izbačaja, izlaz snage i brzine šake prilikom bacanja medicinke, kao i 1 maksimalni ravni potisak sa grudi i telesni sastav.

Vaše učešće u ovom projektu obuhvata dolaske na 3 sesije:

1. U prvoj sesiji biće izvršena antropometrijska merenja i procenjivanje jednog ponavljajućeg maksimuma kod ravnog potiska sa grudi (1RM), familijarizacija sa predstojecim testovima i popunjavanje upitnika o fizičkoj aktivnosti.

2. U drugoj sesiji meriće se maksimalni izlaz snage kroz 2 testa.

Test bacanja medicinke sa obe ruke sa grudi iz sedećeg položaja i to od 0,450 kg za procenu brzine kretanja šake i 3 kg za procenu maksimalnog izlaza snage.

U drugom testu izvodićete benč pres izbačaje sa randomizovanim opterećenjem 20-70 kg (ako Vam je 1RM 85-100 kg) i 20-80 kg (ako Vam je 1RM 105-115 kg).

3. U trećoj sesiji biće ponovljena merenja iz druge sesije.

Razmaci između eksperimentalnih sesija će biti minimum 4 dana.

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

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 kojaće 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.

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. Takođe je potrebno da ravnim potiskom sa grudi možete da podignete između 85 i 115 kg, kao i da niste gojazni (procenat masti ispod 20%). Važan kriterijum za učešće u eksperimentu je da ste fizički aktivni i da imate iskustva u dizanju tegova.

4. RIZIK

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

MOGUĆI BENEFITI: Sagledaćete trenutno stanje Vaše fizičke pripremljenosti i telesnog statusa i naučiti nešto o eksperimentalnim istraživanjima humane lokomocije, koje Vam može koristiti u toku daljeg studiranja.

5. KONTAKTI

U slučaju da imate bilo kakvo pitanje u vezi sa studijom, pozovite profesora Aleksandra Nedeljković, Sretena Srečkovića, Sašu Đurića ili Ivana Čuka. Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja, Univerziteta u Beogradu (011-3555466). Pitanja u vezi vaših prava kao učesnika eksperimenta možete 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 5: Kopija izjave o autorstvu

Образац 5.

Изјава о ауторству

Име и презиме аутора Сретен П. Срећковић

Број индекса 08-ДС/2011

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

„Процена механичких особина мишића руку током извођења сложених покрета“

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

Потпис докторанда

У Београду, 01.04.2019.



Prilog 6: Kopija izjave o istovetnosti štampane i elektronske verzije dokorskog rada

Образац 6.

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора Сретен П. СрећковићБрој индекса 08-ДС/2011Студијски програм Експерименталне методе истраживања хумане локомоцијеНаслов рада „Процена механичких особина мишића руку током извођења сложених покрета“Ментор Редовни професор др Александар Недељковић

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла ради похрањена у **Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду**.

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

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

Потпис докторанда

У Београду, 01.04.2019.

Prilog 7: Kopija izjave o korišćenju

Образац 7.

Изјава о коришћењу

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

„Процена механичких особина мишића руку током извођења сложених покрета“

која је моје ауторско дело.

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

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

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

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци.
Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве).

Потпис докторанда

У Београду, 01.04.2019.



POGOVOR

Doktorska disertacija urađena je u okviru projekta pod nazivom: “*Mišićni i neuralni faktori humane lokomocije i njihove adaptivne promene*” (evidencioni broj **175037**; rukovodilac projekta prof. dr Aleksandar Nedeljković), finansiranog od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja, Republike Srbije.

Materijal izložen u ovoj doktorskoj disertaciji većim delom je zasnovan na rezultatima koji su objavljeni u vrhunskom međunarodnom časopisu.

Rad objavljen u celini u vrhunskom međunarodnom časopisu:

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.