

UNIVERZITET U BEOGRADU

FAKULTET SPORTA I FIZIČKOG VASPITANJA

Goran Ž. Prebeg

**RELACIJE SILE I BRZINE RAZVOJA SILE
RAZLIČITIH MIŠIĆA U ODNOSU NA
VRSTU TESTA**

Doktorska disertacija

Beograd, 2015

UNIVERSITY OF BELGRADE

FACULTY OF SPORT AND PHYSICAL EDUCATION

Goran Ž. Prebeg

**RELATIONSHIPS BETWEEN FORCE
AND RATE OF FORCE DEVELOPMENT
OF DIFFERENT MUSCLE GROUPS AS
ASSESSED THROUGH VARIOUS
STRENGTH TESTS**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2015

MENTOR:

1. Redovni profesor dr **Stanimir Stojiljković**, Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja,

Univerzitet u Beogradu

2. ČLANOVI KOMISIJE:

1. Redovni profesor dr **Dragan Mirkov**, Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja,

Univerzitet u Beogradu

2. Redovni profesor dr **Dušan Mitić**, Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja, Univerzitet u

Beogradu

3. Naučni saradnik dr **Olivera Knežević**, Institut za medicinska istraživanja, Univerzitet

u Beogradu

4. Redovni profesor dr **Slobodan Jarić**, Odsek za kineziologiju i primenjenu fiziologiju

Univerzitet u Delaveru, SAD

Datum odbrane

RELACIJE SILE I BRZINE RAZVOJA SILE RAZLIČITIH MIŠIĆA U ODNOSU NA VRSTU TESTA

Rezime:

Testiranje je neizostavan deo procesa vežbanja. S tim u vezi razvijen je veliki broj testova kojima se procenjuje mišićna funkcija, a čiji se nalazi koriste za identifikaciju talenata, analizu treninga i planiranje procesa vežbanja. Iako najčešće primenjivan standardni izometrijski test za merenje jačine (SST) ima niz nedostataka. Ovaj test zbog načina izvođenja nije pogodan za primenu na širokoj netreniranoj populaciji rekreativaca (ili kod osoba koje su u procesu oporavka, starije osobe) ili kod njih na adekvatan način ne meri ono za šta je namenjen. Jedna od polaznih pretpostavki ovih nedostataka je različita šema neuralne aktivacije između izometrijskih i svakodnevnih brzih i cikličnih pokreta. Uzimajući u obzir nedostatke standardnog testa za merenje jačine evaluiran je test naizmeničnih maksimalnih kontrakcija (ACMC) kao moguća zamena za standardni test. U dostupnoj literaturi nije do kraja definisano da li komponente mišićne jačine (maksimalna sila - F i maksimalna brzina razvoja sile - RFD) opisuju iste karakteristike mišićne funkcije, kao ni koliki broj mišićnih grupa je potrebno testirati da bi se moglo govoriti o sposobnosti mišićnog sistema u celini.

Cilj ovog istraživanja je bio da se ispituju relacije komponenti mišićne jačine (maksimalna sila i maksimalna brzina razvoja sile) koje su merene primenom SST i ACMC testa, u izometrijskim uslovima, na različitim zglobovima gornjeg i donjeg dela

tela. U odnosu na postavljenje ciljeve isplanirana su i urađena 2 eksperimenta. U prvom eksperimentu je učestvovalo 58 netreniranih ispitanika (29 muškaraca, 29 žena), uzrasta 21-55 godina (34.9 ± 9.5). Testirani su fleksori i ekstenzori koji deluju u zglobu kolena i lakta. Relacije između merenih varijabli, testova i mišićnih grupa su ispitane pirsonovim koeficijentom korelacije, nakon čega je urađena faktorska analiza. Faktorska analiza je izdvojila tri faktora koji opisuju 85% ukupne varijanse svih varijabli. Prvi faktor je pokazao najveću korelaciju između varijabli fleksora i ekstenzora u zglobu lakta u oba testa. Drugi i treći faktor se reflektuju na varijable fleksora i ekstenzora zgloba kolena, gde jedini izuzetak predstavlja varijabla RFD-a kod fleksora u zglobu kolena dobijena kod ACMC testa.

Drugi eksperiment je postavljen u odnosu na ograničenja prvog i u njemu je učestvovalo 60 fizički aktivnih ispitanika, studenata Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu, starosti od 21 do 28 godina (22.1 ± 1.7). Testirani su fleksori i ekstenzori koji deluju u zglobu kolena, kuka, lakta i ramena, kao i abduktori i aduktori koji deluju u zglobu kuka i ramena. Podaci su analizirani primenom faktorske analize – zadato je 6 faktora, koji opisuju 60.1% ukupne varijanse. Prvi faktor je pokazao najveću korelaciju između F i RFD fleksora i ekstenzora u zglobu lakta. Drugi faktor se reflektuje na fleksore i ekstenzore potkolenice bez izuzetaka, dok se četvrti faktor vezuje za F i RFD abduktora i aduktora kuka, bez obzira na korišćeni test. Varijable fleksora i ekstenzora kuka se reflektuju na treći i šesti faktor i to tako da se F i RFD fleksora kuka u oba testa i RFD ekstenzora dobijena SST testom vezuju za šesti faktor. Sila ekstenzora kuka u SST testu, odnosno F i RFD-a ekstenzora merene ACMC testom vezuju se za treći faktor.

Rezultati ovog istraživanja ukazuju da se za procenu mišićne funkcije, odnosno merenje mišićne jačine u izometrijskim uslovima mogu koristiti oba ispitivana testa (SST i APMC test), uzimajući u obzir stepen treniranosti i opšte pripremljenosti ispitanika. Zbog jednostavnijeg protokola preporučuje se korišćenje APMC testa, prvenstveno za testiranje netrenirane populacije, osoba starije dobi, osoba koje su u fazi oporavka posle povreda. Korišćenjem bilo koja od dva testa za merenje jačine preporučuje se merenje samo maksimalne sile, iz razloga što u izometrijskim uslovima testiranja maksimalna sila i maksimalna brzina razvoja sile opisuju iste sposobnosti mišića. Kada je potrebno dobiti podatke o sposobnostima mišićnog sistema u celini preporučuje se testiranje što većeg broja mišića gornjeg i donjeg dela tela.

Ključne reči: *neuromišićna funkcija, mišićna jačina, izometrija, kontrakcija*

Naučna oblast: Medicinske nauke

Uža naučna oblast: Opšta antropomotorika čoveka

UDK broj: 796.012.11:612.766(043.3)

RELATIONSHIPS BETWEEN FORCE AND RATE OF FORCE DEVELOPMENT OF DIFFERENT MUSCLE GROUPS AS ASSESSED THROUGH VARIOUS STRENGTH TESTS

Summary:

Testing is an indispensable part of exercising process. Therefore, numerous tests were designed to assess muscle functions and their findings are used for talent identification, training analysis and planning of the exercising process. Although the standard isometric strength test (SST) is the most used it has a series of shortcomings. Due to the way it is carried out it is not adequate for application with broad untrained population of recreationists (or with the recovering or elderly persons) or it does not measure adequately what it is intended for. One of the initial presumptions of these shortcomings is different scheme of neural activation between isometric and everyday fast and cyclic movements. Taking into account the shortcomings of the standard strength test, a test of alternating consecutive maximal contractions (ACMC) as a possible alternation of a standard test. The available references have not fully defined whether the muscle strength components (maximal force - F and rate of force development - RFD) describe the same characteristics of muscle function or the number of muscle groups to be tested in order to discuss the ability of muscular system as a whole.

The aim of this research was to examine the relations between the muscle strength components (maximal force and rate of force development) that were measured by implementation of SST and ACMC tests, in isometric conditions in different joints of upper and lower body part. With regard to the set objectives, two experiments were planned and carried out. The first experiment included 58 non trained participants (29 males and 29 females), aged 21-55 years (34.9 ± 9.5). Flexors and extensors acting in the knee and elbow joints were tested. The relations between the measured variables, tests and muscular groups were examined by Pearson correlation test, followed by a factor analysis. Factor analysis separated three factors that describe 85% of the total variance of all variables. The first factor proved the highest correlation between the variables of elbow joint flexors and extensors in both tests. The second and third factor reflect on the variables of knee joint flexors and extensors, where the only exception is the RFD variable in knee flexors obtained by the ACMC testing.

The second experiment was set with regard to the limitations of the first test and it included 60 physically active participants, students of the Faculty of Sport and Physical Education of the University of Belgrade, aged 21 to 28 years (22.1 ± 1.7). The tests encompassed the flexors and extensors acting in the joints of knee, hip, elbow and shoulder and the abductors and adductors which act in hip and shoulder joints. As, with the first test, factor analysis was carried out, but the number of factors was set to six, describing 60.1% of the overall variance. The first factor showed the highest correlation between the variables measured on the antagonist pair in elbow joint. The second factor is reflected to flexors and extensors of the lower leg without exception, while the fourth factor is related to all hip abductors and adductors variables regardless of the test used. The variables obtained in hip flexors and extensors reflect to the third and sixth factor,

where the variables F and RFD measured in hip flexors in both tests and the variable RFD of extensors obtained by SST test relates to the sixth factor. Force of the hip extensors in SST test and the variables F and RFD extensors measured by ACMC test relate to the third factor.

The results of this research indicate that both researched tests (SST and ACMC test) can be used for the assessment of the muscle function, i.e. measurement of muscular strength in isometric conditions, taking into account the level of training and general preparedness of the participants. Due to a simpler protocol, the ACMC test usage is recommended, primarily for testing of non-trained population, elderly persons or persons recovering from injuries. By using any of the two tests for strength measurement, it is recommended to measure only maximal force, because in isometric testing conditions, maximal force and rate of force development describe the same muscle abilities. When it is necessary to obtain data on abilities of the muscular system on the whole, it is recommended to test as many as possible muscles of upper and lower body parts.

Key words: *neuromuscular function, muscle strength, isometric, contraction*

Scientific field: Medical sciences

Narrower scientific field: General human kinesiology

UDK number: 796.012.11:612.766(043.3)

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. PROBLEM ISTRAŽIVANJA.....	3
2.1. Mišićna funkcija	3
2.1.1. Neuromišićne karakteristike	3
2.1.2. Testovi za procenu mišićne funkcije	4
2.2. Pojam rekreacije	5
2.3. Testiranja u oblasti rekreacije.....	7
2.3.1. Upitnici za procenu nivoa fizičke aktivnosti	9
2.4. Prethodna istraživanja.....	10
2.4.1. Standardni test jačine.....	10
2.4.2. Nedostaci standardnog testa jačine.....	13
2.4.3. Procena jačine primenom testa zasnovanog na uzastopnim i naizmeničnim maksimalnim kontrakcijama.....	15
3. EKSPERIMENT 1.....	20
3.1. Problem, predmet, cilj i zadaci istraživanja.....	20
3.2. Hipoteze istraživanja	20
3.3. Metodologija istraživanja	21
3.3.1. Uzorak ispitanika.....	21
3.3.2. Uzorak varijabli	22
3.3.3. Merni instrumenti i procedure	22
3.3.4. Protokol testiranja.....	25
3.3.5. Prikupljanje i obrada podataka	27
3.3.6. Statistička analiza	27
3.3.7. Rezultati eksperimenta 1	28
3.3.8. Diskusija	33

4. EKSPERIMENT 2.....	38
4.1. Problem, predmet, cilj i zadaci istraživanja.....	38
4.2. Hipoteze istraživanja	40
4.3. Metodologija istraživanja	41
4.3.1. Uzorak ispitanika.....	41
4.3.2. Uzorak varijabli	42
4.3.3. Merni instrumenti i procedure	42
4.3.4. Protokol testiranja.....	46
4.3.4. Prikupljanje i obrada podataka	47
4.3.5. Statistička analiza	48
4.3.6. Rezultati eksperimenta 2	49
4.3.7. Diskusija.....	56
5. ZAKLJUČAK.....	60
6. LITERATURA	63
<i>Prilog 1. Kopija odobrenja Etičkog komiteta Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja za realizaciju predloženih eksperimenata</i>	68
.....	68
<i>Prilog 2. SBAS upitnik.....</i>	69
<i>Prilog 3. IPAQ upitnik.....</i>	71
<i>Prilog 4. Formular za saglasnost sa eksperimentalnom procedurom</i>	73
<i>Prilog 5. Naslovna strana objavljenog rada</i>	75
<i>Prilog 6: Kopija izjave o autorstvu</i>	76
<i>Prilog 7: Kopija izjave o istovetnosti štampane i elektronske verzije doktorskog rada.....</i>	77
<i>Prilog 8: Kopija izjave o korišćenju.....</i>	78
BIOGRAFIJA AUTORA	79

Lista skraćenica

TM – masa tela

TV – visina tela

BMI – (*body mass indeks*) indeks telesne mase

SST – (*standard strength test*) standardni test jačine

UMK – maksimalne uzastopne kontrakcije

ACMC – (*alternative consecutive maximum contractions*) naizmenične maksimalne kontrakcije

F – maksimalna sila

RFD – (*rate of force development*) maksimalna brzina razvoja sile

RFR – (*rate of force relaxation*) maksimalna brzina smanjenja sile

flx – fleksija

ext – ekstenzija

abd – abdukcija

add – adukcija

SV – srednja vrednost

SD – standardna devijacija

r – pirsonov koeficijent korelacije

p – nivo statističke značajnosti

1. UVOD

Preporuke o adekvatnoj količini fizičke aktivnosti, načinu, intenzitetu i vrsti vežbanja, zatim pravilna i dobro raspoređena ishrana, količina energetske unosa su česte teme naučno-istraživačkih radova novijeg datuma. Takođe, poslednjih pola veka intenzivno se traga za pravim modelom bavljenja fizičkim aktivnostima koji će zadovoljiti potrebe savremenog čoveka u savremenom društvu (Prebeg, Stojiljković, 2011).

Zdravlje je nesumnjivo u značajnoj vezi sa fizičkom sposobnošću, koja je pak proizvod redovnog, pravilno doziranog fizičkog vežbanja. *Morrow* i saradnici definišu zdravstveno usmereni fizički fitnes (*health-related physical fitness*) kao „dostizanje ili održavanje fizičkih kapaciteta koji su povezani sa dobrim ili poboljšanim zdravljem i neophodni su za obavljanje svakodnevnih aktivnosti i suprotstavljanje očekivanim ili neočekivanim fizičkim izazovima“ (*Morrow et al.*, 2005).

Kao važan deo procesa vežbanja navodi se periodična provera i praćenje efekata vežbanja primenom testova za procenu motoričkih sposobnosti, kao i međusobno poređenje različitih programa vežbanja i njihovih benefita na zdravlje pojedinca. S tim u vezi, danas razlikujemo veliki broj različitih funkcionalnih testova i baterija testova za procenu opšte fizičke spremnosti, motoričkih sposobnosti koji mogu biti terenski i laboratorijski testovi, testovi maksimalnih i submaksimalnih naprezanja, testovi za procenu aerobnih i anaerobnih kapaciteta (Stojiljković i sar., 2012; Ilić, 1995; Kukolj i sar., 1996). Takođe, neizostavan deo svakog procesa testiranja jeste procena telesnog sastava kako bi se dobile sve potrebne informacije o mišićnoj funkciji u najširem

smislu. Iako sam po sebi nije fizička sposobnost, telesni sastav značajno utiče na ispoljavanje određenih fizičkih sposobnosti (Stojiljković i sar., 2012).

Istraživanje funkcije neuromišićnog sistema je od velike važnosti za nauke koje se bave motornom kontrolom čoveka. Razvijen je veliki broj testova kojima se procenjuje mišićna funkcija, a čiji se nalazi koriste za identifikaciju talenata, za analizu treninga i dalje planiranje trenažnih procedura (*Abernethy et al.*, 1995; *Astrand and Rodhal*, 1986; *Jaric*, 2002; *Wilson and Murphy*, 1996).

Neki standardizovani i često primenjivani testovi zbog svoje složenosti izvođenja nisu pogodni za primenu na širokoj netreniranoj populaciji (kod osoba koje su u procesu oporavka, starije osobe) ili kod njih ne mere na adekvatan način ono za šta su namenjeni. Ovo istraživanje će se baviti evaluacijom novih testova za procenu mišićne funkcije i mogućim modifikacijama procesa testiranja, pre svega sa aspekta racionalizacije i uprošćavanja protokola, kao i broja i vrste varijabli koje je potrebno beležiti prilikom testiranja.

2. PROBLEM ISTRAŽIVANJA

2.1. Mišićna funkcija

Izučavanje mišićne funkcije kroz ispitivanje parametara sile i snage mišića su tema brojnih istraživanja (Knežević, Mirkov, 2011). Neuromišićna funkcija najčešće se posmatra preko jačine i njenih oblika (komponenti) ispoljavanja (sile i brzine razvoja sile). Jačina se definiše kao maksimalna sila koju mišić razvija tokom maksimalne voljne kontrakcije delujući protiv zadanog spoljašnjeg opterećenja (Abernethy, Wilson *et al.*, 1995; Jaric, Radosavljevic-Jaric *et al.*, 2002; Knežević, Mirkov, 2011). Jačina mišića je definisana kao maksimalna sila izražena u njutnima (F_{max-N}) koja nastaje pri maksimalnoj voljnoj kontrakciji u zadanim uslovima (Sale, 1991). Herman (1993) definiše jačinu mišića kao silu koja je razvijena pri zadanim uslovima, pod uslovima se smatra: položaj tela, tip pokreta, brzina pokreta. Jačina predstavlja sposobnost mišića da razvije veliku silu u izometrijskim uslovima ili protiv velikog spoljnog opterećenja pri malim brzinama skraćivanja. Druga važna komponenta jačine jeste eksplozivna jačina koja je predstavljena brzinom kojom se ona razvija i najčešće se naziva brzina razvoja sile (RFD- *rate of force development*). RFD se određuje kao maksimum prvog izvoda signala jačine u vremenu (Wilson, 1996) ili kao nagib krive u datom vremenskom trenutku u odnosu na početak razvoja jačine (Agaard, 2002). Za procenu ovih mišićnih svojstava koriste se različiti testovi koji se vrše u standardizovanim uslovima.

2.1.1. Neuromišićne karakteristike

Intenzitet i brzina mišićne kontrakcije zavise od broja aktiviranih motornih jedinica i frekvencije pražnjenja njihovih alfa-motoneurona. Na mišićnu silu i brzinu kontrakcije utiču vremenski raspored aktiviranja motoneurona, kao i vremenski raspored nizova

njihovih akcionih potencijala. Frekvencija pražnjenja i sile kontrakcije motorne jedinice nisu stalne. Ista motorna jedinica može imati različitu frekvenciju pražnjenja pri istoj sili kontrakcije mišića u fazi porasta sile i fazi opuštanja mišića. Pored toga, različite motorne jedinice imaju različite pragove aktivacije i deaktivacije. Osim neuralne aktivacije, sila ispoljena tokom maksimalne voljne kontrakcije zavisi i od morfologije mišića, poprečnog preseka, tipa mišićnih vlakana (*Wilson and Murphy, 1996, Narici, Hoppeler et al., 1996*). Pored ovih neuromišićnih karakteristika na ispoljavanje jačine mišića značajno utiču i vrsta pokreta pri kojima se procenjuje mišićna jačina (režim rada, instrukcija testa, položaj ekstremiteta, međuzglobni ugao).

2.1.2. Testovi za procenu mišićne funkcije

Testovi za procenu mišićne funkcije nalaze primenu kako za merenja sportskih dostignuća tako i za potrebe kliničkih ispitivanja i procena zdravstvenog stanja. Najveći broj testova je baziran na testiranju funkcija pojedinačnih mišića (*Abernethy et al., 1995; Wilson and Murphy, 1996; Aagaard et al., 2002; Matavulj et al., 2001; Ugarkovic et al., 2002*). Za procenu mišićne funkcije u najširem smislu koriste se različite baterije testova.

U okviru rutinske baterije testova postoji samo jedan test jačine (najčešće test sile stiska šake), primenjen na jednom mišiću (*Eurofit, 1988; Suni et al., 2010*). Ovakav pristup zasnovan je na pretpostavci da se izmerena jačina jednog ili nekoliko mišića može generalizovati na mišićni sistem u celini. Ova i slične pretpostavke su pod znakom pitanja jer nekoliko studija pokazuju slabu povezanost mišićnih karakteristika različitih segmenata tela iste osobe (*Bellumori et al., 2011; Jaric et al., 1989; Sahaly et al., 2001*)

i nije definisano koji broj testiranih mišića je dovoljan da bi se moglo govoriti o funkciji mišićnog sistema.

Jačina mišića se može procenjivati na nekoliko načina: direktno (izometrijski, izokinetički i izoinercijalni uslovi) i indirektno (korišćenjem formule za određivanje jednog ponavljajućeg maksimuma (*Abernethy, Wilson et al. 1995, Stojiljković i sar., 2012*)).

Najpreciznije tehnike merenja mišićne funkcije zahtevaju korišćenje modernih dinamometara sa softverima koji omogućavaju istovremeno praćenje više mišićnih svojstava (sila, snaga, maksimalna brzina razvoja sile, ugaona brzina). Danas najširu primenu imaju izokinetički dinamometri tipa *Kin-Com, Biodex, HumacNorm* na kojima je moguće testirati funkcije mišića u različitim zglobovima, u zadatim režimima rada (*Morrow et al, 2005*).

2.2. Pojam rekreacije

Preporuke o zdravom načinu života, redovnom vežbanju, zdravim navikama u ishrani su jedne od glavnih tema kojima se u fizičkoj kulturi bavi oblast rekreacije, pa je potrebno definisati i sam pojam rekreacije kao jedinstveni termin za sve slične termine koji spadaju u ovu oblast.

U savremenom svetu pod pojmom rekreacije smatra se sve ono što čoveka kao jedinku čini srećnim, opuštenim i što doprinosi njegovom opštem mentalnom i fizičkom zdravlju. Biti aktivan, u pokretu, baviti se rekreacijom predstavlja svojevrsnu potrebu i važan deo svakodnevnog života. Važnost oblasti rekreacije proizilazi iz potrebe društva da se istraže i naučno prouče specifične veze između rada i ostalih društvenih pojava

kao i odnosa koji utiču na psihosomatski status čoveka sa jedne strane, a sa druge strane proizilazi iz potreba pojedinca da vežbanjem (i na druge načine) kompenzuje negativne efekte savremenog načina života. Pojam rekreacija obuhvata sve aktivnosti koje su namenjene aktivnom i pasivnom načinu odmaranja. Iako najpoznatiji pojam rekreacije se može naći i pod terminima kao što su: sportska rekreacija, kretna rekreacija, fizička rekreacija, kineziološka rekreacija i mnogi drugi (Ivanovski, 2014).

U pedagoškoj enciklopediji (1989, tom II, str. 306), Živanović, autor odrednice rekreacije piše: "Naziv je nastao od latinske reči *recreare*, što doslovno znači ponovno stvaranje, a u širem smislu odnosi se na oporavak, osveženje, čuvanje zdravlja, odmor, zabavu, relaksaciju ljudi. Rekreacija je biološki neophodna i predstavlja veoma povoljnu mogućnost za obnavljanje životne snage. Rekreacija je postala neminovni sadržaj slobodnog vremena" (Stojiljković i sar., 2012, str. 7).

"Rekreacija je sport na nivou naše svakodnevice". Pod pojmom rekreacija podrazumevamo ponovno stvaranje, obnavljanje, osvežavanje i rasonodu (lat. *recreo*, *recreare* - bukvalno znači ponovo stvoriti, obnoviti). Rekreacija predstavlja spontani izraz čovekove želje da zadovolji svoju potrebu za aktivnostima, ali na dobrovoljan način i po sopstvenom izboru u svrhu odmora i rasonode (Koković, 2000).

Prema Mitiću, rekreacija je delatnost koja se odvija u slobodno vreme, po slobodnom izboru, uz dobrovoljno učešće sa svrhom, osveženja, odmora, zabave i obnavljanja snage, radi zadovoljenja potreba za kretanjem, igrom, druženjem (Mitić, 2001, str. 41).

Stojiljković sa grupom autora u odnosu na dugogodišnje iskustvo u praksi daje sledeću definiciju: „Rekreacija kao područje fizičke kulture je u odnosu na fitnes širi pojam koji obuhvata organizovano ili spontano, individualno ili grupno vežbanje (samo

ponekad u formi takmičenja); koje se odvija bez ili u prisustvu stručnjaka za rekreaciju koji pomaže u realizaciji časa vežbanja; na otvorenom ili u zatvorenom prostoru; bez preciznog doziranja obima, intenziteta i ostalih parametara vežbanja (ili sa preciznim doziranjem, što je karakteristika fitnesa); čiji glavni cilj često nije najefikasnije i najracionalnije popravljjanje fizičkih sposobnosti, već uživanje u samom vežbanju, druženje, raspoloženje, itd, ali je pozitivan uticaj na zdravlje vežbača kao i svest o pozitivnom uticaju (čak i) takvog vežbanja na zdravlje, prisutna kod vežbača koji učestvuju u rekreaciji.“ (Stojiljković i sar., 2012, str. 9).

Pravilno izabrana i na stručan način vođena fizička aktivnost, može imati pozitivan uticaj na zdravlje. Nalazi novijih naučnih istraživanja ukazuju na obrnutu korelaciju između redovnog fizičkog vežbanja i oboljevanja od: kardiovaskularnih bolesti, moždanog udara, povišenog krvnog pritiska, dijabetesa tipa 2, osteoporoze, gojaznosti, raka dojke i debelog creva, anksioznosti i depresije (*Haskell et al.*, 2007; *Oja*, 1995). Zdravlje treba posmatrati u širem smislu, ne samo kao odsustvo bolesti. Dobro zdravlje predstavlja sposobnost da se u svakom smislu odgovori na mnogobrojne izazove svakodnevnog života i važan preduslov za postizanje životnog potencijala. S tim vezi svako vežbanje u oblasti rekreacije ima pozitivan uticaj na zdravlje u najširem smislu.

2.3. Testiranja u oblasti rekreacije

Pod testiranjima u oblasti rekreacije podrazumevaju se testiranja koja se sprovode na osobama koje nisu aktivni sportisti, niti školska deca, odnosno ne učestvuju u trenažnom procesu.

Testiranja u oblasti rekreacije generalno služe da bi se utvrdio trenutni nivo fizičke ili funkcionalne sposobnosti, zatim za potrebe procene i praćenja stanja, za potrebe

naučnog ili praktičnog rada (*Morrow et al*, 2005, Stojilković i sar., 2012). Neki testovi se koriste za potrebe kliničkih testiranja, radi otkrivanja i dijagnostike različitih vrsta nezaraznih oboljenja u najranijoj fazi bolesti kada je moguće adekvatno i uspešno delovati (*Haskell et al.*, 2007). U odnosu na različite kriterijume, testiranja se dele na laboratorijska (preciznija, skupa oprema, manji broj ispitanika istovremeno) i terenska (jeftinija, jednostavnija za sprovođenje, manje precizna od laboratorijskih). Testiranja mogu biti kvalitativna i kvantitativna. Pod kvalitativnim testiranjem podrazumeva se procena stanja (fizičkog, zdravstvenog, socijalnog) pomoću standardizovanog upitnika (SBAS, IPAQ, SERQUAL, upitnik UKK 2km test hodanja, i drugi), dok se kvantitativna procena vrši pomoću standardizovanih testova za procenu morfološkog (merenje visine i mase tela, merenje kožnih nabora, procena telesnog sastava), kardiorespiratornog (test progresivnog opterećenja na tredmilu ili bicikl ergometru, harvardski step test, UKK 2km, *Shuttle run* test, Kuperov test) i neuromišićnog statusa (standardni test sile).

Za testiranja rekreativaca važni su preduslovi koji moraju biti ispunjeni da bi neko mogao da učestvuje u odgovarajućem testu. Kriterijum očigledno zdravih ljudi (*apparently healthy people*) (*Morrow et al*, 2005) je važan preduslov postavljen od strane Američkog koledža sportske medicine (*American College of Sports Medicine*). Kriterijum očigledno zdravih ljudi ispunjavaju odrasle osobe, muškarci do 45, žene do 55 godina starosti, koje imaju najviše jedan faktor rizika za nastanak kardiovaskularnih bolesti (KVB). Faktori rizika su:

- Porodična anamneza KVB (otac ili brat do 55 godine; majka ili sestra do 65 godine)
- Pušenje (pušač ili da je nedavno pre testiranja ostavio cigarete)

- Hipertenzija (srčani i krvni pritisak > 140/90)
- Hiperholesterolemija (povišen holesterol > 200 mg/dl; HDL > 35 mg/dl)
- Povišen šećer u krvi (> 110 mg/dl)
- Gojaznost (BMI > 30, obim struka > 100cm)
- Sedentarne životne navike (manje od minimalne preporučene količine fizičke aktivnosti, 150 min umereno intenzivne fizičke aktivnosti nedeljno)

2.3.1. Upitnici za procenu nivoa fizičke aktivnosti

Veliki broj autora (*Lamb, 1990; Washburn, 2003; Matthews, 2005*) navodi standardizovane upitnike kao pouzdan način procene ovog kriterijuma. Kao pouzdani metodi za procenu stepena fizičke aktivnosti i ispunjavanje kriterijuma za učestvovanje u testiranju koriste se standardizovani upitnici kao što su *Stanford Seven-Day Physical Activity Recall (PAR)*, *The Stanford Brief Activity Survey (SBAS)*, *SERQUAL*- upitnik, *IPAQ*- upitnik, upitnik za *UKK 2km test hodanja*, upitnici u sastavu *EUROFIT* i *ALPHA-FIT* baterije testova i mnogi drugi.

U većem broju radova autori navode *SBAS* upitnik (Prilog 1) kao pouzdan i efikasan način za procenu fizičke aktivnosti na dnevnom nivou (prvenstveno starije populacije) na radnom mestu i u slobodno vreme. Sastavljen je od dva pitanja zatvorenog tipa. Prvo pitanje se odnosi na karakteristike radnog mesta i stepen fizičke aktivnosti. Drugo pitanje procenjuje količinu fizičke aktivnosti i navike u slobodno vreme. Svako pitanje ima pet mogućih odgovora (potrebno je zaokružiti onaj koji najbolje opisuje aktivnosti na poslu i u slobodno vreme). Odgovor predstavlja određeni nivo fizičke aktivnosti na

skali od pet kategorija aktivnosti: neaktivna kategorija, kategorija lakog intenziteta, umereno-aktivna kategorija, vrlo aktivna kategorija i kategorija vrlo visokog intenziteta (*Ruth E. Taylor-Piliae. et al, 2006*).

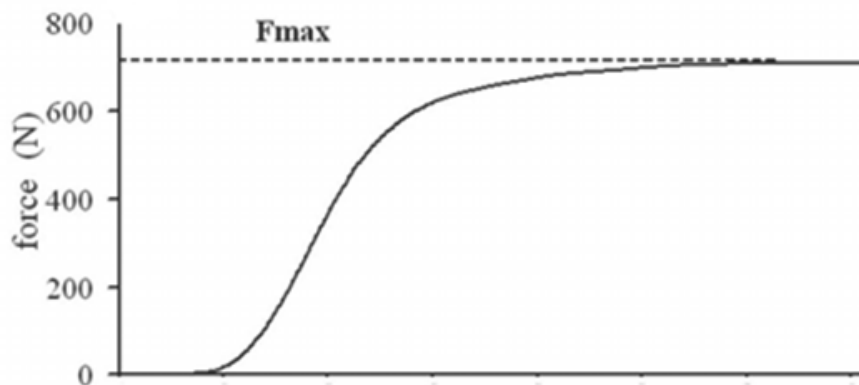
IPAQ (Internacionalni upitnik o fizičkoj aktivnosti) procenjuje fizičku aktivnost na nedeljnom nivou i pogodan je za upotrebu kod populacije uzrasta 15-69 godina (Prilog 2). Sastoji se od četiri grupe pitanja otvorenog tipa, koje se odnose na intenzivne fizičke aktivnosti, umerene fizičke aktivnosti, količinu hodanja i količinu neaktivnog slobodnog vremena na nedeljnom nivou (*Booth M.L., 2000*). Preporuka autora je da se rezultati upitnika zbog nepravilne distribucije podataka u odnosu na populaciju, predstavljaju kao medijani izraženi kroz jedinicu ekvivalenta metaboličke potrošnje u stanju mirovanja (MET-a), odnosno jedinicom MET/minut, koja je proizvod MET-a i dužine trajanja aktivnosti u minutima. U odnosu na ukupan zbir MET/minuta u sve četiri grupe ispitanici se svrstavaju u tri kategorije koji opisuju tri nivoa fizičke aktivnosti: slab nivo, umeren nivo i visok nivo bavljenja fizičkim aktivnostima.

2.4. Prethodna istraživanja

2.4.1. Standardni test jačine

Najčešće primenjivan test za procenu mišićne funkcije je standardni test jačine (*standard strenght test- SST*). Standardni test jačine (SST) je zasnovan na maksimalnoj izometrijskoj kontrakciji testiranih mišićnih grupa u trajanju 3-5 sek. Instrukcije za ovaj test za svakog ispitanika su da treba da pokuša da „razvije maksimalnu silu za što kraće vreme“ i da pokuša da je održi nekoliko sekundi na tom nivou. Najčešće zapisivana zavisna varijabla je maksimalna sila (Fmax) (*Abernethy, Wilson et al., 1995; Sahaly, Vandewalle et al., 2001; Jaric, 2002*). Izmerena Fmax je u većini slučajeva pokazivala

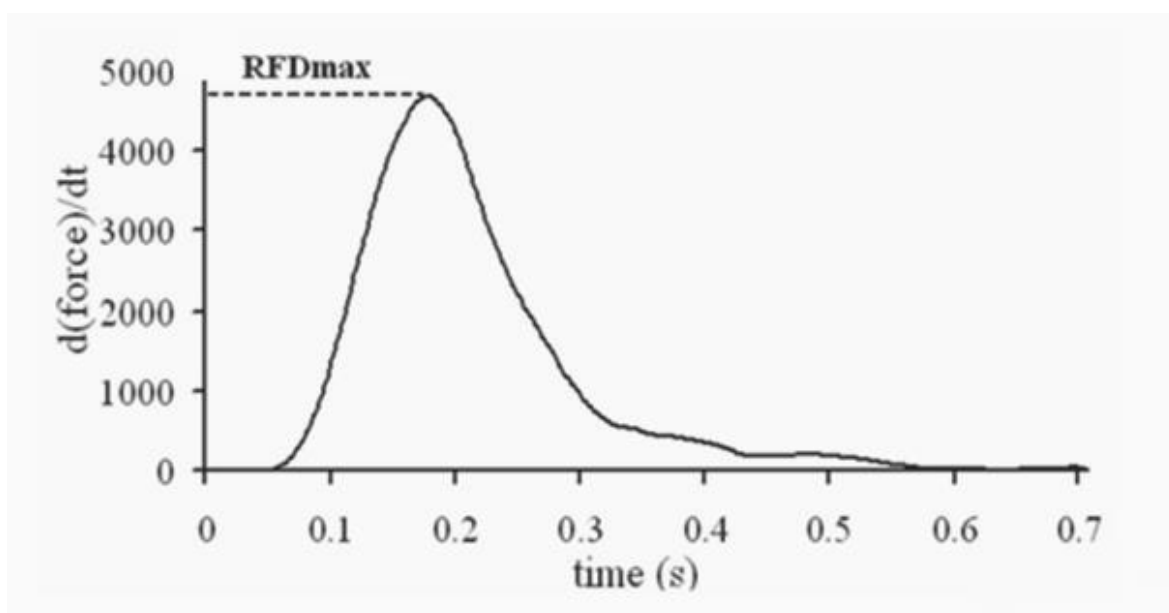
visoku pouzdanost (Wilson and Murphy, 1996; Jaric, 2002). Maksimalna sila se u literaturi najčešće predstavlja kao maksimalna vrednost (tzv. vrh-*peak* sile i izražava se u njutnima (N). Karakterističan zapis signala sile u vremenu pri SST testu prikazan je na Slici 1.



Slika 1. Zapis signala sile kod standardnog testa

U literaturi se često, pored maksimalne sile, istražuje i sposobnost mišića da odgovarajućom brzinom razvije silu (ili moment sile) što predstavlja posebnu vrstu testova jačine (za detalje pogledati Abernethy et al., 1995 i Wilson and Murphy, 1996). Značaj procene brzine razvoja sile (RFD) ogleda se u činjenici da je vreme neophodno da se dostigne određeni nivo sile u određenim sportskim ali i nekim svakodnevnim aktivnostima ponekad i od presudne važnosti (Wilson i Murphy, 1996; Ugarković et al 2002). RFD najbolje opisuje eksplozivne sposobnosti neuromišićnog sistema (Andersen, Aagard, 2006), odnosno sposobnost izvršavanja visoko frekventnih, brzih pokreta i zadataka ograničenog trajanja (Aagaard et al., 2002; Gruber and Gollhofer, 2004; Hakkinen et al., 1985, 1986; McLellan et al., 2011). U literaturi koja se bavi ovom problematikom, pominje se nekoliko različitih kriterijuma za procenu brzine

razvoja sile (testovi RFD). Najčešće korišćeni RFD test je tzv. priraštaj sile. Ukratko, od ispitanika se traži da na najbrži moguć način razviju maksimalnu silu, pri čemu se RFD određuje kao maksimum prvog izvoda zabeleženog signala sile u vremenu (*Haff et al., 1997; Wilson and Murphy, 1996; Slievert and Wenger, 1994*) ili kao nagib krive u datom vremenskom trenutku u odnosu na početak razvoja sile (*Aagaard et al., 2002*).



Slika 2. Karakterističan zapis signala maksimalne brzine razvoja sile kod SST test

Povezanost izmerene sile i brzine razvoja sile istog mišića nisu detaljno ispitane a rezultati postojećih studija su nekonzistentni. Nekoliko studija ukazuju da ove dve neuromišićne karakteristike mišića imaju različite šeme neuralne aktivacije (*Izquierdo et al., 1999; Jaric et al., 1989; McGuigan et al., 2010; Sahaly et al., 2001*), odnosno predstavljaju dve nezavisne osobine neuromišićnog sistema, drugim rečima da sposobnost mišića da proizvede veliku silu i sposobnost da tu silu proizvede velikom brzinom nisu povezane. Brze kontrakcije uključuju trenutni nivo pražnjenja motornih neurona koji se smanjuje prilikom uzastopnih pražnjenja motornih neurona (*Desmedt*

and Godaux, 1977; Van Cutsem and Duchateau, 2005). Prema tome, RFD uglavnom zavisi od neuralne aktivacije mišićnih vlakana na početku kontrakcije (*de Ruiter, Kooistra et al.*, 2004). Za kontrakcije u kojima se mišićna sila razvija postepeno dok se ne dostigne maksimum (kao što je slučaj kod merenja maksimalne sile) postoji postepeno povećanje u stepenu pražnjenja motornih neurona (*Enoka and Fuglevand*, 2001). Kada je potrebno ostvariti maksimalni RFD potreban je veći nivo pražnjenja motornih neurona nego za ostvarenje maksimalne sile (*Hakkinen, Komi et al.*, 1985; *Van Cutsem, Duchateau et al.*, 1998; *Aagaard, Simonsen et al.*, 2002), dok uzastopne faze brzine razvoja sile zavise od različitih neuralnih i fizioloških mehanizama (*Andersen and Aagaard*, 2006).

Poznato je i da su ove dve mišićne osobine povezane sa masom tela (*Jaric et al.*, 2005) i još preciznije sa veličinom mišića (*Bellumori et al.*, 2011). U nekoliko radova je pokazana pozitivna povezanost između F_{max} i RFD-a izmerenih na istom mišiću (*Bozic et al.*, 2012; *Holtermann et al.*, 2007; *Mirkov et al.*, 2004), međutim i dalje nije poznato do koje mere ove dve varijable opisuju istu sposobnost mišića, što sa praktične strane testiranja nameće pitanje da li je potrebno meriti obe varijable na svakom testiranom mišiću ili je to suvišno.

2.4.2. Nedostaci standardnog testa jačine

Iako najčešće primenjivan, pokazano je da standardni test jačine ima više nedostataka. Kao što je već pomenuto na intenzitet i brzinu ispoljene sile utiče više faktora, od kojih neke nije moguće kontrolisati. Faktor koji ima najvećeg uticaja na nivo razvijene sile je šema neuralne aktivacije mišića, koja je u uskoj vezi sa vrstom kontrakcije i pokretom koji se izvodi (zadatak). Nedostaci standardnih testova sile:

- šema neuralne aktivacije za brze i za dugotrajne mišićne kontrakcije je različita. Samim tim što su standardni testovi sile zasnovani na dugotrajnim kontrakcijama ne mogu da zabeleže šemu neuralne aktivacije tipičnu za brza ispoljavanja sile, što može da bude nedovoljno precizno za veliki broj funkcionalnih zadataka (*Enoka and Fuglevand, 2001, Andersen and Aagaard, 2006*).
- Instrukcije „da se ostvari maksimalna sila“ i „da se ostvari što brže“ imaju u osnovi različite uticaje na rezultate standardnih testova sile kada se procenjuje Fmax i RFDmax (*Sahaly, Vandewalle et al., 2001*). Kao posledica, nameće se potreba za odvojenim serijama pokušaja za beleženje Fmax i RFD-a.
- Pet do šest uzastopnih pokušaja je generalno zahtevano za svaku mišićnu grupu kada se primenjuju standardni testovi sile, a zamor je obično problem zbog relativno dugog trajanja svakog pokušaja.
- Prema tome, sprovođenje ukupnog broja od 10-12 pokušaja da bi se zabeležili odvojeno Fmax i RFDmax je verovatno razlog zamora čak i pored relativno dugih pauza koje su obezbeđene između uzastopnih pokušaja. Ukupan broj pokušaja može da bude veći zbog duže familijarizacije neophodne za brze kontrakcije u odnosu na maksimalno ispoljavanje sile (*Wilson and Murphy, 1996; Sahaly, Vandewalle et al., 2001*).
- Dugotrajna ispoljavanja maksimalne sile mogu da budu bolna ili neadekvatna za neke neaktivne osobe, slabe starije osobe ili pojedince u procesu oporavka posle povreda (*Wilson and Murphy, 1996*).

- Povezanost između Fmax i RFDmax ostaje prilično nepoznata. Iako je nekoliko istraživanja pokazalo pozitivnu vezu između njih (*Mirkov, Nedeljkovic et al., 2004*), posebno za RFD zabeležen u kasnijoj fazi (90 ms i duže od početka kontrakcije) (*Aagaard, Simonsen et al., 2002*), dostupni podaci ostaju uglavnom nepostojani (*Wilson and Murphy, 1996; Holtermann, Roeleveld et al., 2007*). Kao posledica ostaje nejasno u kojoj meri Fmax i RFDmax dobijeni iz standardnih testova sile predstavljaju nezavisne sposobnosti testiranih mišića.
- Mada je brzina smanjenja mišićne sile, mehanički možda jednako važna kao i RFDmax za uspeh brzih uzastopnih kontrakcija antagonističkih mišića, ova varijabla je skoro u potpunosti zapostavljena u procedurama standardnih testova jačine (*Andersen and Aagaard, 2006*).

2.4.3. Procena jačine primenom testa zasnovanog na uzastopnim i naizmeničnim maksimalnim kontrakcijama

Uzimajući u obzir navedene nedostatke, grupa autora predložila je i evaluirala nove testove za procenu mišićne funkcije, koji bi mogli da budu zamena za SST test (*Suzovic et al., 2008, Bozic et al., 2011*). Suzović u svom radu evaluira test maksimalnih uzastopnih kontrakcija (UMK). Procedura je podrazumevala 21 pokušaj UMK-a (3 pokušaja za sedam različitih frekvencija od 0.67-2.67Hz, koje su određene uz pomoć metronoma). Testirani su pregibači i opružači u zglobu kolena. Instrukcija je bila da izvedu pokret „maksimalno jako i brzo“, posle čega treba da opuste mišić. Pored testa UMK, jačina je procenjivana i primenom SST, dok je test skok uvis rađen u cilju procene spoljašnje (eksterne) validnosti testova jačine. Ovaj test je izabran kao najčešće korišćen test za procenu brzih ispoljavanja maksimalne sile. Rezultati istraživanja su

pokazali da zadata frekvencija ima mali uticaj na ispoljavanje maksimalne sile, dok nema nikakav uticaj na brzinu razvoja sile, osim kod najveće frekvencije. Korelacije između varijabli maksimalne sile ova tri testa su bile pozitivne i visoke ($r=0.96$). Korelacije između varijabli istog testa su bile mnogo veće kod UMK - a nego kod SST testa.

Kao nastavak ove studije autori su dalje evaluirali UMK test prilikom primene „spontano-izabrane frekvencije“, odnosno frekvencije koju ispitanik izabere na osnovu instrukcije da pokret izvede „maksimalno jako i maksimalno brzo“ i da nakon toga opusti mišić. U poređenju sa standardnim testom sile, novi test omogućava merenje mišićnih funkcija u uslovima koji su približno isti pokretima u svakodnevnim aktivnostima (veliki broj kratkih i brzih pokreta), što ukazuje na jednostavniji protokol testiranja.

Prilikom hodanja, trčanja, plivanja, vožnje bicikla, kao i u mnogim svakodnevnim aktivnostima, koje čine brzi pokreti za održavanje ravnoteže tela (delova tela) retko se ispoljava maksimalna sila, ali se ostvarena sila ispoljava relativno brzo. Uzimajući to u obzir Suzović dalje ispituje odnos između maksimalne sile (F_{max}) i brzine razvoja sile (RFD_{max}) uzimajući u obzir pretpostavku da brzina smanjenja sile (RFR) ima podjednako velikog uticaja na razvoj sile kao i varijabla brzina razvoja sile. Odnosno, da na nivo ispoljene sile utiče i brzina opuštanja mišića antagonista, kao i brzina aktivacije mišića agonista. Testirani su zglob lakta i zglob kolena, odnosno dve mišićne grupe (opružaći i pregibači u oba zgloba), korišćenjem SST i UMK testa. Kao i u prethodnoj studiji povezanost između varijabli dva različita testa je bila na visokom nivou sa koeficijentom korelacije $r=0.9$. Zaključak je bio da se merenjem neuromišićnih

karakteristika jedne mišićne grupe UMK-a testom mogu opisati neuromišićne karakteristike drugih mišićnih grupa. Praktična implikacija ove studije je bila potvrda mogućnosti delimične generalizacije neuromišićnih karakteristika više mišićnih grupa za istog ispitanika, kao i potvrda prethodnih istraživanja, a to je povezanost rezultata dva testa i veća eksterna validnost UMK-a testa. Međutim, pojam generalizacije nije potvrđen ovom, kao ni prethodnim studijama (Suzović, 2009.)

Nastavak ideje o novom testu mišićne funkcije radi Božić 2011, ispitujući naizmenične maksimalne kontrakcije (ACMC) kao novi test za procenu neuromišićne funkcije. Uzimajući u obzir sva prethodna saznanja o testu uzastopnih maksimalnih kontrakcija (Suzović et al., 2008), u kome je instrukcija bila da se na signal metronoma „mišić kontrakuje maksimalno brzo i jako“ a posle toga opusti, u ovom eksperimentu ispitanici su imali zadatak da naizmenično izvode maksimalne kontrakcije u smeru ekstenzije i fleksije u zglobu kolena (instrukcija: najjače i najbrže), angažujući tako u jednom testu dve mišićne grupe (Knežević, 2011.)

Rađena su dva testa SST i ACMC. ACMC test je izvođen pri zadatim frekvencijama (1, 1.33, 1.67 i 2 Hz) kao i „spontano-izabranjoj“ frekvenciji. Osnovni ciljevi rada su bili: a) ispitivanje pouzdanosti ACMC testa i poređenje sa standardnim testom, b) ispitivanje povezanosti između varijabli dobijenih iz ACMC i SST testa i c) poređenje spoljašnje validnosti dva testa sa standardnim testovima za procenu snage (skok uvis, trčanje 30m, *margaria* test, maksimalni čučanj, *Wingate* test. U ovom kao i prethodnim studijama uglavnom su testirane homogene grupe ispitanika (studenti FSFV-a) (Božić et al., 2011.)

Kao i u prethodnim radovima pokazana je umerena do visoka povezanost između F_{max} i RFD_{max} , sa malim izuzecima. Frekvencija nije imala većeg uticaja na ispoljavanje sile. Kod „spontano-izabrane“ frekvencije prosečna vrednost je bila 1.13 Hz. Kao i u prethodnom radu, ACMC test je pokazao visoku pouzdanost i u ovom testiranju. Ovaj test zbog načina izvođenja zahteva manji broj pokušaja u odnosu na standardni test. Iako visoka povezanost između izmerenih varijabli ne potvrđuje u potpunosti prednosti novog ACMC testa sigurno ukazuje na mane SST testa. Takođe, može se zaključiti da se za buduća istraživanja odaberu smernice koje će pomoći u izboru pravog testa u odnosu na sposobnost koja se želi proceniti. Odnosno varijable SST-a mogu biti bolji prediktori sporih i dugotrajnih kontrakcija, dok je ACMC test više primenljiv za procenu mišićne funkcije karakteristične za brze ciklične pokrete.

Glavni nalazi prethodnih istraživanja su bili da je uz pomoć ACMC testa moguće za manji broj pokušaja testirati veći broj varijabli i mišićnih grupa što povećava eksternu i ekološku validnost u odnosu na SST test. Ovi nalazi mogu biti od značaja kod testiranja nehomogenih grupa, međutim i dalje se moraju uzeti u obzir moguće različite šeme neuralne aktivacije kod ova dva testa. Kao nastavak dalje evaluacije ACMC testa, autori predlažu poređenje više mišićnih grupa, testiranjem većeg broja ispitanika koji bi činili nehomogeni uzorak radi povećanja eksterne validnosti novog testa za procenu mišićne funkcije.

Na osnovu pregledane literature i nedovoljno ispitanih relacija sile i brzine razvoja sile kod korišćenih testova, postavljeno je istraživanje, koji bi trebalo da pronade odgovore na sledeća pitanja:

1. Da li varijable maksimalne sile i maksimalne brzine razvoja sile opisuju istu mehaničku sposobnost mišića, odnosno da li se može podrazumevati da će mišić koji je dovoljno jak biti i brz, a sa druge strane mišić koji može da razvija brze i eksplozivne pokrete mora biti jak?
2. Da li postoji povezanost između dva različita testa (SST, APMC) za merenje sile s obzirom na pretpostavljenu različitu šemu neuralne aktivacije i da li oni mere iste sposobnosti mišića? Da li ova dva testa mogu biti zamena jedan za drugi ili se moraju posmatrati kao dva nezavisna testa?
3. Da li se na osnovu rezultata testiranja jedne ili malog broja mišićnih grupa može izvršiti generalizacija i govoriti o sposobnosti i funkciji mišićnog sistema u celini?

3. EKSPERIMENT 1

Za potrebe nalaženja odgovora na postavljena pitanja koja su proistekla iz pregledane literature koja se bavi proučavanjem relacije maksimalne sile i maksimalne brzine razvoja sile postavljena su dva eksperimenta koji bi trebalo preciznije da objasne relacije komponenti mišićne jačine.

3.1. Problem, predmet, cilj i zadaci istraživanja

Problem istraživanja je fundamentalnog karaktera i formulisan je na osnovu metodoloških nedostataka dosadašnjih istraživanja koja su se bavila procenom neuromišićnih karakteristika maksimalne izometrijske sile mišića i maksimalne sile mišića u naizmeničnim maksimalnim kontrakcijama.

Predmet ovog istraživanja se odnosio na ispitivanje relacija između karakteristika različitih mišićnih grupa, merenih uz pomoć dva različita testa za procenu sile.

Cilj istraživanja je da se utvrde relacije između karakteristika različitih mišićnih grupa, merenih uz pomoć dva različita testa za merenje jačine.

U odnosu na definisan cilj istraživanja postavljeni su sledeći **zadaci istraživanja**:

- Ispitati relacije između merenih varijabli (maksimalne sile, brzine razvoja sile)
- Ispitati relacije između dva testa za merenje jačine (SST i APMC)
- Ispitati relacije merenih varijabli u odnosu na različite mišićne grupe

3.2. Hipoteze istraživanja

U odnosu na zaključke prethodnih istraživanja i u odnosu na definisan predmet, cilj i zadatke istraživanja postavljene su **tri radne hipoteze**:

- **H_1** - Neće biti visoke povezanosti između varijabli maksimalne sile i brzine razvoja sile, odnosno ove dve varijable opisuju dve različite sposobnosti mišića.
- **H_2** - Neće biti visoke povezanosti između standardnog (SST) i novog (ACMC) testa, odnosno testovi ne mere iste sposobnosti mišića i novi test ne može biti zamena za standardni test
- **H_3** - Biće dobijena visoka povezanost između testiranih mišićnih grupa, odnosno merenjem jedne mišićne grupe moguće je proceniti karakteristike drugih mišićnih grupa.

3.3. Metodologija istraživanja

Ovo je bilo eksperimentalno istraživanje koje spada u grupu transverzalnih studija, odnosno studija preseka.

3.3.1. Uzorak ispitanika

U istraživanju je učestvovalo 58 ispitanika (29 muškaraca, 29 žena), uzrasta 21-55 godina (34.9 ± 9.5 , vrednosti prikazane kao srednja vrednost \pm standardna devijacija). Svi ispitanici su bili fizički zdravi, desnoruki (dominantnost je utvrđena u odnosu na odgovore ispitanika kojom rukom pišu i koju ruku koriste prilikom bacanja lopte), niko od ispitanika nije prijavio neurološke, kardio-respiratorne probleme, hronične bolesti, kao ni povrede mišićno-skeletnog aparata. Kriterijumi za uključivanje ispitanika u istraživanje bili su da nemaju više od tri puta nedeljno fizičke aktivnosti i da vrednost indeksa telesne mase (BMI) ne bude veći od 30. Ispitanici koji su bili uključeni u istraživanje predstavljaju uzorak vežbača rekreativaca, a njihov dnevni nivo fizičke

aktivnosti je procenjen uz pomoć standardizovanog upitnika SBAS (*Ruth E. Taylor-Piliae. et al., 2006*), koji je za potrebe eksperimenta prilagođen i preveden na srpski jezik (prilog 2). Tri ispitanika su prijavila da su fizički neaktivna, 26 ispitanika je prijavilo laku, dok je 29 prijavilo umerenu fizičku aktivnost. U odnosu na strukturu ispitanika uzorak predstavlja nehomogenu grupu. Pre početka testiranja svi ispitanici su dobili potrebne informacije o samom istraživanju i očekivanim rezultatima i pismenom izjavom dali saglasnost za učestvovanje u istraživanju (prilog 4). Studija je odobrena od strane Etičke komisije Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja, Univerziteta u Beogradu (prilog 1).

3.3.2. Uzorak varijabli

Varijable istraživanja su podeljene prema njihovoj metodološkoj prirodi u dve grupe:

1. U prvu grupu spadaju tri nezavisne varijable morfološkog statusa i to: visina tela, masa tela i indeks telesne mase (BMI).
2. U drugu grupu spada 16 zavisnih varijabli: maksimalna sila, maksimalna brzina razvoja sile koje su merene u dva testa (SST, APMC) na dva zgloba (koleno, lakat), četiri grupe mišića (fleksori i ekstenzori kolena, fleksori i ekstenzori lakta).

3.3.3. Merni instrumenti i procedure

Instrumenti i oprema koja je korišćena u ovom eksperimentu za merenje i zapis zadatah varijabli: standardizovani SBAS upitnik, antropometar po Martinu, aparat za bioimpedancu (*InBody 720m, USA*), izokinetički dinamometar (*Kin-Com, Chatex Corp., Chattanooga, TN*), testovi za procenu mišićne funkcije (SST, APMC).

- Upitnik za procenu fizičke aktivnosti (SBAS) sastavljen je od dva pitanja zatvorenog tipa. Prvo pitanje se odnosi na karakteristike radnog mesta i stepen fizičke aktivnosti. Drugo pitanje procenjuje količinu fizičke aktivnosti i navike u slobodno vreme. Svako pitanje ima pet mogućih odgovora (potrebno je zaokružiti onaj koji najbolje opisuje aktivnosti na poslu i u slobodno vreme). Odgovor predstavlja određeni nivo fizičke aktivnosti na skali od pet kategorija aktivnosti: neaktivna kategorija, kategorija lakog intenziteta, umereno-aktivna kategorija, vrlo aktivna kategorija i kategorija vrlo visokog intenziteta. (*Ruth E. Taylor-Piliae. et al, 2006*).
- Antropometar - merenje visine je vršeno korišćenjem antropometra po Martinu čija je tačnost merenja 0.1 cm. Ispitanik se nalazi u standardnom stojećem stavu na čvrstoj, vodoravnoj podlozi. Stopala su sastavljena, a pete, sedalna regija i gornji deo leđa dodiruju antropometar. Glava se nalazi u položaju Frankfurtske ravni i ne sme da dodiruje skalu antropometra (*Norton et al., 2000*).
- Uređaj za bioimpedancu (*InBody 720m, USA*) - Analiza bioelektričnom impedansom (BIA) je metoda za procenu sastava tela, emitovanjem niske i bezbedne doze električne struje kroz ljudski organizam. Struja prolazi kroz telo sa niskim otporom kroz mišiće, dok izvestan veći otpor postoji pri prolasku kroz masno tkivo. Ispitanici su bili u donjem vešu, ne smeju imati metalne predmete. U skladu sa preporukama proizvođača merenje je obavljeno u jutarnjim časovima, na prazan stomak, posle odlaska u toalet.
- Izokinetički dinamometar - *Kin-Com (Chatex Corp., Chattanooga, TN)* je služio za procenu Fmax i RFD. Uređaj je bio podešen na izometrijski režim rada. Ispitanik je postavljen u stolicu, dok su delovi tela fiksirani uz pomoć

kaiševa tako da je moguće izolovati deo tela i mišićnu grupu koja treba da se testira. Osovina dinamometra je postavljena paralelno sa natkolenicom i nadlakticom, pri čemu je najvažnije da se centar rotacije glave dinamometra poklapa sa centrom rotacije zgloba koji se testira, dok je ugao u zglobu podešen na 120° . Kaiševima su fiksirani natkolenica, odnosno nadlaktica, zglob kuka, kako bi se sprečilo podizanje kuka i dovođenje mišića natkolenice i nadlaktice u najpovoljniji ugao za ispoljavanje jačine. Prilikom merenja sile mišića u zglobu kolena na distalnom delu potkolenice, odnosno u zglobu lakta na distalnom delu nadlaktice, postavljena je manžetna koja je krutom vezom spojena sa osovinom dinamometra. Dinamometar je povezan sa računarom, tako da je grafički prikaz vidljiv za ispitanika i za merioce.

- Testovi za procenu mišićne funkcije - u ovom eksperimentu korišćena su dva testa: standardni test sile (SST), test naizmeničnih maksimalnih kontrakcija (ACMC). U oba testa merene su iste varijable maksimalna sila (F) i maksimalna brzina razvoja sile (RFD) kod fleksora i ekstenzora u zglobu kolena i lakta, u zadatim uslovima merenja. Rađena su ukupno tri pokušaja, a pauza između pokušaja je bila 2 minuta. Prvi pokušaj je bio probni, dok je za dalju analizu bolji pokušaj biran između poslednja dva, čiji je proizvod F i RFD-a bio veći.
- Standardni test sile (SST) - test meri maksimalnu voljnu mišićnu silu u izometrijskim uslovima. Instrukcija u ovom testu je da ispitanik iz položaja mirovanja mišića razvije maksimalnu silu za što kraće vreme i da taj nivo sile održi 3-5 sekundi. Za vreme svakog pokušaja ispitanik dobija verbalnu podršku.
- Test naizmeničnih maksimalnih kontrakcija (ACMC) - ovim testom se meri maksimalna voljna mišićna sila razvijena u izometrijskim uslovima. Instrukcija

u ovom testu je da ispitanik iz položaja mirovanja i opuštenosti mišića razvije maksimalnu silu „maksimalno brzo i maksimalno jako“ (instrukcija: najjače, najbrže), više uzastopnih kontrakcija (minimum 5 ciklusa) od kojih je prvi pokret u smeru ekstenzije u zglobu kolena, dok je kod zgloba lakta u smeru fleksije. Imajući u vidu nastojanje da se izvrši racionalizacija procedura testiranja, a zasnovano na zaključcima prethodnih istraživanja odlučeno je da se ACMC test izvodi pri “spontano izabranoj” frekvenciji, tako da posle objašnjena zadatka ispitanici nisu dobijali verbalnu podršku za vreme izvođenja testa kako ona ne bi imala uticaja na frekvenciju izvođenja. Dakle, ispitanici su imali zadatak da naizmenično izvode maksimalne kontrakcije u smeru ekstenzije i fleksije u zglobu kolena, odnosno u smeru fleksije i ekstenzije u zglobu lakta (instrukcija: najjače i najbrže) u ritmu koji su sami odabrali tokom probnih pokušaja. Kao što je već napomenuto, ispitanicima je bila obezbeđena vizuelna povratna informacija u realnom vremenu. Naizmenične maksimalne kontrakcije obuhvatale su period od najmanje 5 punih ciklusa (ciklus je podrazumevao razvoj sile kontrahovanjem mišića opružaća i pregibača). Merenja su ponovljena u situacijama kada sile i izvodi sila u vremenu nisu imali konzistentan oblik ili nisu odgovarali prvobitno izabranoj frekvenciji (kada se razlikuju više od 5 %).

3.3.4. Protokol testiranja

- Istraživanje je sprovedeno u Metodičko-istraživačkoj laboratoriji Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja u Beogradu

- Eskperiment je imao jednu sesiju, gde su za svakog ispitanika sva navedena merenja obavljena u istom danu
- Pre zagrevanja izmerena je visina i masa tela, i izvršena procena telesnog sastava
- Sva merenja su obavili isti merioci
- Ispitanici su bili u sportskoj opremi (šorc, majica, patike)
- Standardna desetominutna procedura zagrevanja (5 minuta vožnje bicikla, 5 min, vežbe oblikovanja i rastezanja)
- Podešavanje stolice dinamometra u odnosu na ispitanika
- Objašnjenje procedura i zadataka u testu
- Prvo je rađen standardni, pa onda ACMC test, dok je redosled testiranja između zglobova određivan metodom slučajnog izbora.

Instrukcije za ispitanike kod SST testa:

- da se rukama drže za pojaseve
- da pred početak kontrakcije potpuno opuste miškulaturu
- da na zadatu komandu („VUCI“ ili „GURAJ“) ostvare maksimalno brzu i jaku kontrakciju u zadatom smeru i zadrže taj nivo 3-5 sekundi.

Instrukcije za ispitanike kod ACMC testa:

- da se rukama drže za pojaseve
- da pred početak kontrakcije potpuno opuste miškulaturu
- da na komadu „KRENI“ maksimalno jako i maksimalno brzo ostvare kontrakciju u zadatom smeru, čim dostignu maksimalnu silu, ostvare kontrakciju

u suprotnom smeru bez pauze i zadržavanja i da u istom zadatom ritmu povežu minimum 5 ciklusa.

3.3.5. Prikupljanje i obrada podataka

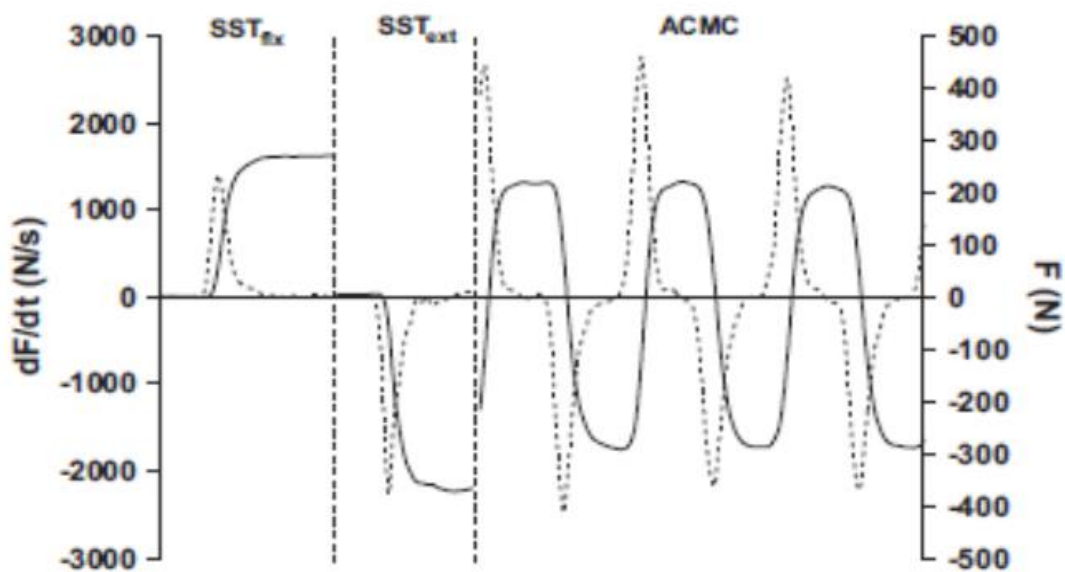
Za potrebe ovog istraživanja u cilju prikupljanja i obrade dobijenih podataka korišćen je *LabView* softver, prilagođen potrebama ovog istraživanja. Kriva sila-vreme za sve grupe mišića beležena je frekvencijom 500 Hz sa niskopropusnim filterom 10 Hz (*Butterworth* filter). Merena je maksimalna sila za standardne testove sile, kao i za uzastopne maksimalne kontrakcije, na osnovu čega su računati izvodi iz krive sila-vreme. Dobijene vrednosti su zatim usrednjavane unutar pokretnog prozora od 20 ms. Maksimumi kriva prvog izvoda zabeležene sile su predstavljali maksimalnu brzinu razvoja sile (RFDmax). Varijable naizmeničnih maksimalnih kontrakcija su dobijene iz poslednja kompletna tri perioda zabeležene jačine, kada je uspostavljena odgovarajuća „spontano-izabrana“ frekvencija i dostignut maksimum sile za zadate uslove. Vrednosti svih 16 zavisnih varijabli su normalizovane u odnosu na masu tela - $m^{2/3}$ (*Jaric*, 2002.).

3.3.6. Statistička analiza

Za sve varijable urađena je deskriptivna statistika (srednja vrednost, standardna devijacija, opseg vrednosti), u odnosu na pol i za celu grupu ispitanika. Normalnost distribucije podataka je ispitana uz pomoć *Kolmogorov-Smirnov* testa. Relacije (povezanost) između varijabli dobijenih iz SST i ACMC testova procenjena je na osnovu pirsonovog koeficijenta korelacije (r). Za sve zavisne varijable urađena je faktorska analiza. Broj faktora je determinisan prema *Kaiser-Guterman* kriterijumu (*Nunnaly and Bernstein*, 1994), koji izdvaja faktore koji imaju vrednost *eigenvalues* veći od jedan. Određeno je da prag značajnosti statističkih nalaza bude na nivou

poverenja od $p = 0.05$. Svi statistički testovi su računati korišćenjem softvera SPSS 17.0 (SPSS Inc, Chicago, IL) i Office Excel 2007 (Microsoft Corporation, Redmond, WA).

3.3.7. Rezultati eksperimenta 1



Slika 3. Karakteristični zapisi signala za oba testa (na levoj strani grafika se nalaze signali standardnog testa, dok su na desnoj signali ACMC testa). Pune linije predstavljaju zapis sile u vremenu, dok isprekidane predstavljaju zapis brzine razvoja sile.

Na slici 3. prikazani su karakteristični zapisi signala maksimalne sile (F) i brzine razvoja sile (RFD) merenih u dva testa jačine. Zapis signala pokazuje stabilne vrednosti varijable maksimalne sile dobijene ACMC testom kroz tri uzastopna ciklusa. Takođe, vrednosti sile merene ACMC testom su nešto niže u odnosu na vrednosti dobijene SST testom, dok je sa vrednostima RFD-a obrnut slučaj.

Rezultati deskriptivne analize su predstavljeni u gornjem delu Tabele 1. Kao što je očekivano, muškarci imaju veće telesne dimenzije u odnosu na žene (visinu, telesnu masu, indeks telesne mase). U donjem delu tabele prikazane su normalizovane vrednosti za svih 16 zavisnih varijabli. Takođe, vrednosti kod muškaraca su u svim varijablama veće nego kod žena. U odnosu na pol i u odnosu na celu grupu ispitanika, ispitana je normalnost distribucije podataka (*Kolmogorov-Smirnov* test, $p > 0.17$) i pokazano je da normalna distribucija nije narušena. Vrednosti maksimalne sile (F) su veće kod SST testa u odnosu na ACMC, dok su za varijablu RFD-a izmerene veće vrednosti kod ACMC testa, naročito kod fleksora kolena. Na Slici 3. su prikazani karakteristični zapisi signala kod oba testa, za reprezentativnog ispitanika. „Spontano-izabrana“ frekvencija je bila slična za sve ispitanike, kod muškaraca ($f = 1.17 \text{ Hz} \pm 0.19$), kod žena ($f = 1.15 \pm 0.14$) kod oba zgloba. Relacije između svih 16 varijabli dobijenih merenjem u dva testa (SST, ACMC) ispitane su korišćenjem pirsonovog koeficijenta korelacije (r). Sve korelacije su pozitivne i statistički značajne i nalaze se u opsegu 0.37-0.95 (*median* $r = 0.56$, $p < 0.01$) i rezultati su prikazani u Tabeli 2.

Tabela 1. Deskriptivna statistika varijabli izmerenih SST i APMC testom

		Muškarci (N=29)		Žene (N=29)		Svi ispitanici (N=58)			
		SV (SD)	opseg	SV (SD)	opseg	SV (SD)	opseg		
Ispitanici	Starost (godine)	35.3 (9.3)	23-55	34.6 (9.8)	21-51	34.9 (9.5)	21-55		
	TV (cm)	18.2 (4.9)	173-191	168.1 (5.5)	158-181	174 (8.0)	158-191		
	TM (kg)	82.9 (8.3)	68.5-109	62.0 (8.8)	51.0-84.5	72.4 (13.5)	51.0-109		
	BMI (kg/m ²)	25.5 (2.0)	21.8-29.9	21.9 (2.7)	18.3-27.5	23.7 (3.0)	18.3-29.9		
SST	KOLENO	ext	<i>F</i>	42.6 (6.5)	28.3-58.1	33.0 (7.3)	15.7-49.3	37.8 (8.4)	15.7-58.1
			<i>RFD</i>	234 (31)	172-301	182 (31)	119-244	208 (41)	119-301
		flx	<i>F</i>	16.6 (3.2)	9.5-22.6	14.1 (2.8)	7.9-19.5	15.4 (3.2)	7.9-22.6
			<i>RFD</i>	99.6 (21.3)	53.6-143	75.0 (13.7)	49.5-104	87.3 (21.6)	49.5-143
	LAKAT	ext	<i>F</i>	18.9 (5.7)	10.2-29.4	12.3 (3.7)	6.3-19.8	15.6 (5.8)	6.3-29.4
			<i>RFD</i>	119 (36)	61-192	72 (26)	18-131	96 (39)	18-192
		flx	<i>F</i>	19.9 (3.0)	14.0-26.0	12.3 (2.9)	6.3-17.8	16.1 (4.8)	6.3-26.0
			<i>RFD</i>	127 (25)	82-182	75 (24)	28-122	101 (36)	28-182
APMC	KOLENO	ext	<i>F</i>	34.5 (5.4)	26.7-44.8	27.4 (5.6)	17.1-39.9	30.9 (6.5)	17.1-44.8
			<i>RFD</i>	266 (46)	166-367	205 (42)	117-291	235 (53)	117-367
		flx	<i>F</i>	12.9 (3.4)	6.7-19.6	9.9 (2.5)	6.2-15.8	11.4 (3.3)	6.2-19.6
			<i>RFD</i>	312 (55)	201-433	236 (60)	134-359	274 (69)	134-433
	LAKAT	ext	<i>F</i>	18.0 (3.6)	10.3-26.5	10.9 (2.8)	6.2-16.0	14.4 (4.8)	6.2-26.5
			<i>RFD</i>	203 (50)	118-298	118 (36)	56-209	161 (60)	56-298
		flx	<i>F</i>	13.5 (3.6)	7.2-19.6	7.9 (2.2)	5.1-12.4	10.7 (4.1)	5.1-19.6
			<i>RFD</i>	203 (46)	125-289	114 (31)	54-185	158 (60)	54-289

SST- standardni test sile; APMC- test naizmeničnih maksimalnih kontrakcija; ext- ekstenzija;

flx- fleksija; F- maksimalna sila (N); RFD- maksimalna brzina razvoja sile (N/s)

Tabela 2. Rezultati relacija svih varijabli ispitanih pirsonovim koeficijentom korelacije

		SST								ACMC									
		KOLENO				LAKAT				KOLENO				LAKAT					
		ext		flx		ext		flx		ext		flx		ext		flx			
		F	RFD	F	RFD	F	RFD	F	RFD	F	RFD	F	RFD	F	RFD	F	RFD		
SST	KOLENO	ext	F	1															
		RFD	.78	1															
	flx	F	.51	.60	1														
		RFD	.51	.73	.77	1													
	LAKAT	ext	F	.43	.52	.44	.55	1											
		RFD	.46	.61	.51	.61	.91	1											
flx	F	.51	.63	.47	.59	.80	.80	1											
	RFD	.45	.63	.48	.64	.75	.78	.89	1										
ACMC	KOLENO	ext	F	.84	.72	.50	.50	.40	.44	.48	.36	1							
		RFD	.70	.80	.58	.69	.37	.43	.51	.51	.74	1							
	flx	F	.48	.57	.75	.73	.47	.54	.51	.51	.55	.74	1						
		RFD	.86	.74	.47	.50	.40	.43	.48	.45	.88	.81	.57	1					
	LAKAT	ext	F	.48	.56	.52	.62	.75	.76	.86	.85	.52	.53	.58	.48	1			
		RFD	.47	.59	.46	.61	.85	.85	.88	.86	.46	.50	.55	.48	.89	1			
flx	F	.48	.54	.42	.50	.84	.81	.86	.72	.52	.43	.50	.46	.76	.88	1			
	RFD	.53	.62	.47	.65	.80	.82	.88	.87	.51	.56	.55	.54	.90	.95	.85	1		

SST- standardni test sile; ACMC- test naizmeničnih maksimalnih kontrakcija ; ext- ekstenzija; flx- fleksija; F- maksimalna sila (N); RFD- maksimalna brzina razvoja sile (N/s)

U Tabeli 3. prikazani su rezultati faktorske analize urađene na svih 16 varijabli. Analiza je izdvojila 3 faktora koja opisuju 85.5% ukupne varijanse svih varijabli. Prvi faktor je pokazao najveću korelaciju između varijabli fleksora i ekstenzora u zglobu lakta u oba testa. Drugi i treći faktor se reflektuju na varijable fleksora i ekstenzora zgloba kolena, gde jedini izuzetak predstavlja varijabla RFD-a kod fleksora u zglobu kolena dobijena kod APMC testa.

Tabela 3. Rezultati faktorske analize

				FAKTORI			
				1	2	3	
SST	KOLENO	Ext	<i>F</i>	.267	.874	.181	
			<i>RFD</i>	.386	.683	.422	
		Flx	<i>F</i>	.244	.268	.833	
			<i>RFD</i>	.406	.280	.784	
		LAKAT	Ext	<i>F</i>	.880	.165	.181
				<i>RFD</i>	.848	.191	.280
	Flx		<i>F</i>	.878	.273	.210	
			<i>RFD</i>	.835	.186	.314	
	APMC	KOLENO	Ext	<i>F</i>	.236	.884	.207
				<i>RFD</i>	.213	.714	.529
			Flx	<i>F</i>	.301	.330	.777
				<i>RFD</i>	.233	.904	.214
LAKAT		Ext	<i>F</i>	.821	.251	.307	
			<i>RFD</i>	.908	.231	.235	
		Flx	<i>F</i>	.866	.278	.119	
			<i>RFD</i>	.872	.302	.248	
<i>Varijansa</i>				41.6%	25.3%	18.6%	
<i>Kumulativna varijansa</i>				41.6%	67.0%	85.5%	
<i>Eigenvalues</i>				10.4	2.3	1.1	

3.3.8. Diskusija

Glavni cilj eksperimenta je bio da se ispituju razlike između karakteristika različitih mišićnih grupa, odnosno relacije između maksimalne sile (F) i maksimalne brzine razvoja sile (RFD), koje su merene u dva različita testa (SST i APMC) na dva zgloba (koleno, lakat). Umesto ispitivanja relacija između mišićnih grupa pojedinačno, kao što je rađeno u prethodnim studijama (Božić, 2011, 2012; Suzović, 2008), relacije svih 16 varijabli su ispitane faktorskom analizom.

Pre same analize dobijenih rezultata, kako sa teorijske tako i sa strane praktičnih implikacija rezultata, važno je napomenuti nekoliko metodoloških činjenica koje se moraju uzeti u obzir. Iako se broj od pet ispitanika po varijabli čini malim, ukupan broj ispitanika koji su učestvovali u ovoj studiji prevazilazi minimalan nivo prihvatljivosti (Nunnally, 1994) i taj broj je sličan broju ispitanika koji su učestvovali u studijama sličnog karaktera u kojima su ispitivane mišićne karakteristike (Jarić, 2012; Wilson, 1996). Pored toga što su varijable pokazale visoku pouzdanost, pokazana je i njihova pozitivna, umerena do visoka povezanost (*median* $r = 0.56$, $p < 0.01$) što ukazuje na dobar izbor zavisnih varijabli. Takođe, vrlo visoka kumulativna varijansa koja opisuje 85% svih varijabli potvrđuje da je sam izbor vrste faktorske analize bio ispravan. Iako su podaci za oba pola obrađivani zajedno, pri čemu su razlike u odnosu na pol postojale i posle normalizacije u odnosu na telesnu masu, važno je napomenuti da normalna distribucija podataka nije narušena. U prilog tome ide i činjenica da smo u procesu statističke obrade podataka, posebno radili faktorsku analizu u odnosu na pol i da je u oba slučaja broj i grupisanje faktora ostao isti (podaci nisu prikazani). U vezi sa tim

može se smatrati da je učešće oba pola u ovom eksperimentu povećalo eksternu validnost rezultata, bez smanjenja njihove validnosti.

Iako smo pretpostavili da će faktorska analiza pokazati razlike između testova i merenih varijabli, analiza je pokazala samo razlike u odnosu na mišićne grupe. Pretpostavke su bile zasnovane na delom različitim neuromišićnim sposobnostima mišića i procesa koji utiču na ispoljavanje maksimalne sile sa jedne i maksimalne brzine razvoja sile sa druge strane, kao i različitim instrukcijama dva testa (SST, APMC). Takođe, neke rutinske baterije testova ukazuju na činjenicu da je testiranje jednog ili malog broja mišića dovoljno za opisivanje mišićnog sistema.

Na prvom faktoru su reflektovane sve varijable vezane za zglob lakta, dok se drugi i treći faktor reflektuju na varijable zgloba kolena. Iako su se faktori razdvojili po delovima tela, podaci generalno ukazuju na činjenicu da primenjeni testovi i merene varijable opisuju iste sposobnosti testiranog mišića. I pored sličnosti dobijenih rezultata, iako se sa oba testa meri mišićna jačina, stoji činjenica o mogućim različitim šemama neuralne aktivacije i broju aktiviranih motornih neurona (*Bozic et al., 2012; Enoka and Fuglevand, 2001; Komi and Bosco, 1978; Van Cutsem and Duchateau, 2005*). Međutim, iako ova činjenica još uvek nije dovoljno ispitana, smatra se da u izometrijskim uslovima šema neuralne aktivacije nema previše uticaja na ostvarenu jačinu.

Prema različitim autorima na maksimalnu silu (F) i maksimalnu brzinu razvoja sile (RFD) nezavisno utiču način treninga i procedure rehabilitacije (*Gruber and Gollhofer, 2004; Holtermann et al., 2007*), kao i veličina mišića, broj mišićnih vlakana i poprečni presek (*Bellumori et al., 2011*). Pošto su rezultati pokazali visoku povezanost između

ove dve karakteristike mišićne jačine, merenje obe u istom testu može biti suvišno. Merenjem samo jedne od sposobnosti (F ili RFD) uprošćava se procedura izvođenja testa (Abernethy et al., 1995; Bozic et al., 2011; Wilson and Murphy, 1996), što je sa aspekta racionalizacije važan metodološki napredak u beleženju varijabli. Suprotno prvoj hipotezi može se zaključiti da maksimalna sila i maksimalna brzina razvoja sile opisuju iste karakteristike mišićne jačine merene u izometrijskom režimu rada testiranog mišića.

Hipoteza 1 koja je glasila da neće biti visoke povezanosti između varijabli maksimalne sile i brzine razvoja sile, odnosno da ove dve varijable opisuju dve različite sposobnosti mišića nije potvrđena i odbija se u odnosu na dobijene rezultate prvog eksperimenta.

Takođe, suprotno drugoj hipotezi dva različita testa za merenje mišićne jačine u izometrijskim uslovima pokazala su visoku povezanost tako da se mogu koristiti kao zamena jedan drugom, uzimajući u obzir stanje i stepen treniranosti ispitanika, u odnosu na različite protokole testiranja. Pokazano je da APMC test po svom protokolu ima više prednosti u odnosu na SST test i preporučuje se kod testiranja osoba kod kojih nije potrebno ili nije moguće izvesti testiranje maksimalnim naprezanjem u izometrijskim uslovima. Takođe primena novog testa omogućava merenje mišićnih funkcija u uslovima koji su približno isti pokretima u svakodnevnim aktivnostima (veliki broj kratkih i brzih dvosmernih pokreta), što ukazuje na jednostavniji protokol testiranja, a pogotovo na veću eksternu validnost novog testa sile.

Pošto su faktori pokazali povezanost između merenih varijabli u dva različita testa, može se zaključiti da primenjeni testovi mogu da se koriste za procenu istih mišićnih

karakteristika. Iako nalazi pokazuju povezanost ostaje činjenica da ova dva testa u zavisnosti od instrukcija i uslova izvođenja testa i dalje imaju različite šeme neuralne aktivacije (*Enoka and Fuglevand, 2001; Komi and Bosco, 1978; Van Cutsem and Duchateau, 2005*), međutim činjenica je da te razlike nemaju previše uticaja u izometrijskim uslovima testiranja. Za dalje ispitivanje ovih razlika potrebno je uraditi elektromiografske (EMG) analize testiranog mišića kako u statičkim tako i u dinamičkim uslovima rada.

Hipoteza 2 koja je glasila da neće biti visoke povezanosti između standardnog (SST) i novog (ACMC) testa, odnosno da testovi ne mere iste sposobnosti mišića i novi test ne može biti zamena za standardni test nije potvrđena i odbija se u odnosu na dobijene rezultate prvog eksperimenta.

Takođe, treća hipoteza koja se odnosila na mogućnost generalizacije mišićnih karakteristika sa jednog ili malog broja testiranih mišića na mišićni sistem u celini, je samo delimično potvrđena. Dok je prvi faktor vezan za svih osam varijabli merenih u zglobu lakta, drugi i treći se vezuju posebno za varijable zgloba kolena. Dobijeni nalazi ukazuju na to da je na osnovu dobijenih rezultata teško govoriti o generalizaciji, osim na jednom zglobu i na jednom antagonističkom paru mišića.

Hipoteza 3 koja je glasila da će biti dobijena visoka povezanost između testiranih mišićnih grupa, odnosno da je merenjem jedne mišićne grupe moguće proceniti karakteristike drugih mišićnih grupa je prema dobijenim rezultatima samo delimično potvrđena i potrebno je dalje ispitivanje generalizacije mišićnih karakteristika za opisivanje mišićnog sistema.

Praktične implikacije rezultata prvog eksperimenta ukazuju na potrebu provere metoda testiranja mišićne jačine u izometrijskim uslovima, odnosno ispitivanje nedostataka standardnog testa. Merenje sile i brzine razvoja sile je suvišno prilikom merenja jačine u izometrijskim uslovima, s obzirom na njihovu povezanost dovoljno je meriti maksimalnu silu, zbog veće pouzdanosti u poređenju sa brzinom razvoja sile (Abernethy, 1995; Bozic, 2011; Wilson, 1996). Novi test za merenje jačine može biti zamena za standardni test u zavisnosti od karakteristika i mogućnosti ispitanika, naročito zbog jednostavnijeg protokola u odnosu na standardni test. Nije dovoljno ispitano koji broj mišićnih grupa je potreban da bi se dobile informacije o sposobnosti mišićnog sistema u celini. Iako je povezanost između varijabli merenih na istom zglobo i paru mišića velika, ista nije dobijena kada su se poredile mišićne grupe koje deluju u različitim zglobovima.

Pošto rezultati ukazuju na visoku pozitivnu povezanost između testova, nameće se potreba dalje evaluacije novog testa, kao zamena za standardni test, zbog jednostavnijeg protokola. Međutim, merenje obe varijable u istom testu, za istu grupu mišića se smatra suvišnim. Dalje, s obzirom da je povezanost između mišića u različitim zglobovima bila niska, kao nastavak studije se predlaže veći broj zglobova ruku i nogu, kao i mišićnih grupa, naročito testiranje zglobova koji mogu izvoditi pokrete u više prostornih ravni. Što se tiče izbora uzorka ispitanika predlaže se formiranje grupe homogenih ispitanika kako bi se potvrdila eksterna validnost dobijenih rezultata.

4. EKSPERIMENT 2

U odnosu na pregledanu literaturu prethodnih istraživanja i uzimajući u obzir dobijene rezultate prvog eksperimenta postavljen je drugi eksperiment.

4.1. Problem, predmet, cilj i zadaci istraživanja

Problem istraživanja je fundamentalnog karaktera i formulisan je na osnovu metodoloških nedostataka dosadašnjih istraživanja koja su se bavila procenom neuromišićnih karakteristika maksimalne izometrijske sile mišića i maksimalne sile mišića u naizmeničnim maksimalnim kontrakcijama. Problem se odnosi na dalje ispitivanje dva testa sile primenjenih na više zglobova gornjeg i donjeg dela tela, kao i relacija između varijabli koje se mere tim testovima. Problem je definisan u odnosu na nalaze i ograničenja prvog eksperimenta na osnovu kojeg je i konstruisan drugi eksperiment.

Predmet istraživanja se odnosi na evaluaciju i poređenje novog testa za merenje maksimalne sile sa već validiranim standardnim testom, za koji su uočeni nedostaci kod testiranja nehomogenih uzoraka (naročito kod netreniranih osoba), kao i ispitivanje mišićnih funkcija merenih različitim varijablama na više mišićnih grupa. Novi test treba da na odgovarajući način opiše mišićne kontrakcije tipične za brze, ciklične pokrete, sa manjim brojem pokušaja, submaksimalnog intenziteta, u odnosu na maksimalnu silu.

Cilj istraživanja je da se utvrde relacije između mišićnih karakteristika maksimalne sile i maksimalne brzine razvoja sile, u odnosu na vrstu testa (SST, ACMC) i u odnosu na testirani deo tela (zglob kolena, kuka, lakta i ramena), u sagitalnoj (pokreti fleksije i

ekstenzije) i frontalnoj ravni (pokreti abdukcije i adukcije). Glavni cilj eksperimenta je realizovan pomoću **pojedinačnih ciljeva**:

1. Ispitati relacije između maksimalne sile i maksimalne brzine razvoja sile, dobijenih primenom standardnog (SST) i testom naizmeničnih maksimalnih kontrakcija (ACMC) na istim mišićnim grupama
2. Ispitati relacije između standardnog testa (SST) i testa naizmeničnih maksimalnih kontrakcija (ACMC) za merenje maksimalne sile
3. Ispitati relacije između maksimalne sile i maksimalne brzine razvoja sile, merenih na različitim mišićnim grupama koje deluju u zglobovima istog ekstremiteta
4. Ispitati mogućnost generalizacije rezultata prilikom procene karakteristika mišićne funkcije različitih delova tela

Na osnovu problema, predmeta i ciljeva istraživanja postavljeni su sledeći **zadaci istraživanja**:

1. Utvrditi da li postoji povezanost između varijabli maksimalne sile i maksimalne brzine razvoja sile koje se beleže prilikom testiranja mišićne funkcije
2. Utvrditi da li postoji povezanost između dva testa za merenje maksimalne sile
3. Utvrditi povezanost mišićnih karakteristika merenih na mišićima koji deluju u različitim zglobovima istog ekstremiteta
4. Utvrditi dovoljan broj varijabli i mišića koje je potrebno izmeriti da bi se dobile preciznije informacije o sposobnosti mišićnog sistema

Za realizaciju postavljenog cilja sprovedeni su sledeći **istraživački koraci**:

1. Formirana je grupa ispitanika
2. Urađena je procena morfološkog statusa (visina tela, masa, tela, telesni sastav)
3. Urađena su merenja maksimalne sile i maksimalne brzine razvoja sile primenom dva testa, na četiri zglobova (koleno, kuk, lakat, rame)

4.2. Hipoteze istraživanja

Na osnovu detaljne analize relevantnih istraživanja i dobijenih rezultata prvog eksperimenta, a na osnovu definisanog problema, predmeta, ciljeva i zadataka za ovaj eksperiment postavljena je jedna **generalna** i četiri **radne hipoteze**

GH - Postoji značajna povezanost između mišićnih karakteristika maksimalne sile i maksimalne brzine razvoja sile u odnosu na vrstu testa i testiranu mišićnu grupu

H₁ - Maksimalna sila i maksimalna brzina razvoja sile opisuju iste sposobnosti testiranog mišića

H₂ - Standardni test sile i test naizmeničnih maksimalnih kontrakcija mere iste sposobnosti mišića i novi test se može koristiti kao zamena sa SST test

H₃ - Varijable maksimalne sile i maksimalne brzine razvoja sile izmerene na dva različita zglobova i grupe mišića istog ekstremiteta će biti povezane

H₄ - Merenjem jedne ili malog broja mišićnih grupa nije moguće proceniti sposobnost mišićnog sistema u celini

4.3. Metodologija istraživanja

Ova studija je eksperimentalno istraživanje koje spada u grupu transverzalnih studija, odnosno studija preseka.

4.3.1. Uzorak ispitanika

Uzorak je činilo 60 fizički aktivnih ispitanika, studenata Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu, starosti od 21 do 28 godina (22.1 ± 1.7), prosečne visine 181.9 ± 6.2 cm, mase tela 78 ± 8.4 kg i indeksa telesne mase $BMI=23.5 \pm 2.1$ kg/m², koji svoje aktivnosti sprovode u okviru nastave Fakulteta. Svi ispitanici su prijavili desnu stranu tela kao dominantnu, tako da je svima testirana desna strana tela. Ispitanici su bili bez prethodnog iskustva u izvođenju testova predviđenih za potrebe ovog eksperimenta i nisu aktivni sportisti. Niko od ispitanika nije prijavio neurološke, kardio-respiratorne probleme, hronične bolesti, kao ni povrede mišićno-skeletnog aparata. Ispitanici su za vreme testiranja imali odgovarajući nivo motoričkih sposobnosti, što je procenjeno standardizovanim upitnikom za procenu fizičke aktivnosti na nedeljnom nivou IPAQ (*Booth, M L, 2000*) koji je za potrebe eksperimenta prilagođen i preveden na srpski jezik (prilog 3). Prema podacima iz upitnika svi ispitanici su prijavili umeren nivo bavljenja fizičkim aktivnostima na nedeljnom nivou, odnosno u opsegu od 600-1500 MET/minuta u toku jedne nedelje. Pre početka testiranja ispitanici su dobili potrebne informacije o samom istraživanju i očekivanim rezultatima i pismenom izjavom dali saglasnost za učestvovanje u istraživanju (prilog 4). Studija je odobrena od strane Etičke komisije Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja, Univerziteta u Beogradu (prilog 1).

4.3.2. Uzorak varijabli

Varijable istraživanja su podeljene prema njihovoj metodološkoj prirodi u dve grupe:

1. U prvu grupu spadaju tri nezavisne varijable morfološkog statusa i to: visina tela, masa tela, indeks telesne mase (BMI)
2. U drugu grupu spada 48 zavisnih varijabli: dva testa (*SST*, *ACMC*), maksimalna sila (F), brzina razvoja sile (RFD), merene na četiri zglobova (koleno, kuk, lakat, rame)

4.3.3. Merni instrumenti i procedure

Standardizovani IPAQ upitnik, antropometar, aparat za bioimpedancu (*InBody 720m*), izokinetički dinamometar (*Kin-Com*, *Chatex Corp.*, *Chattanooga, TN*), testovi za procenu mišićne funkcije

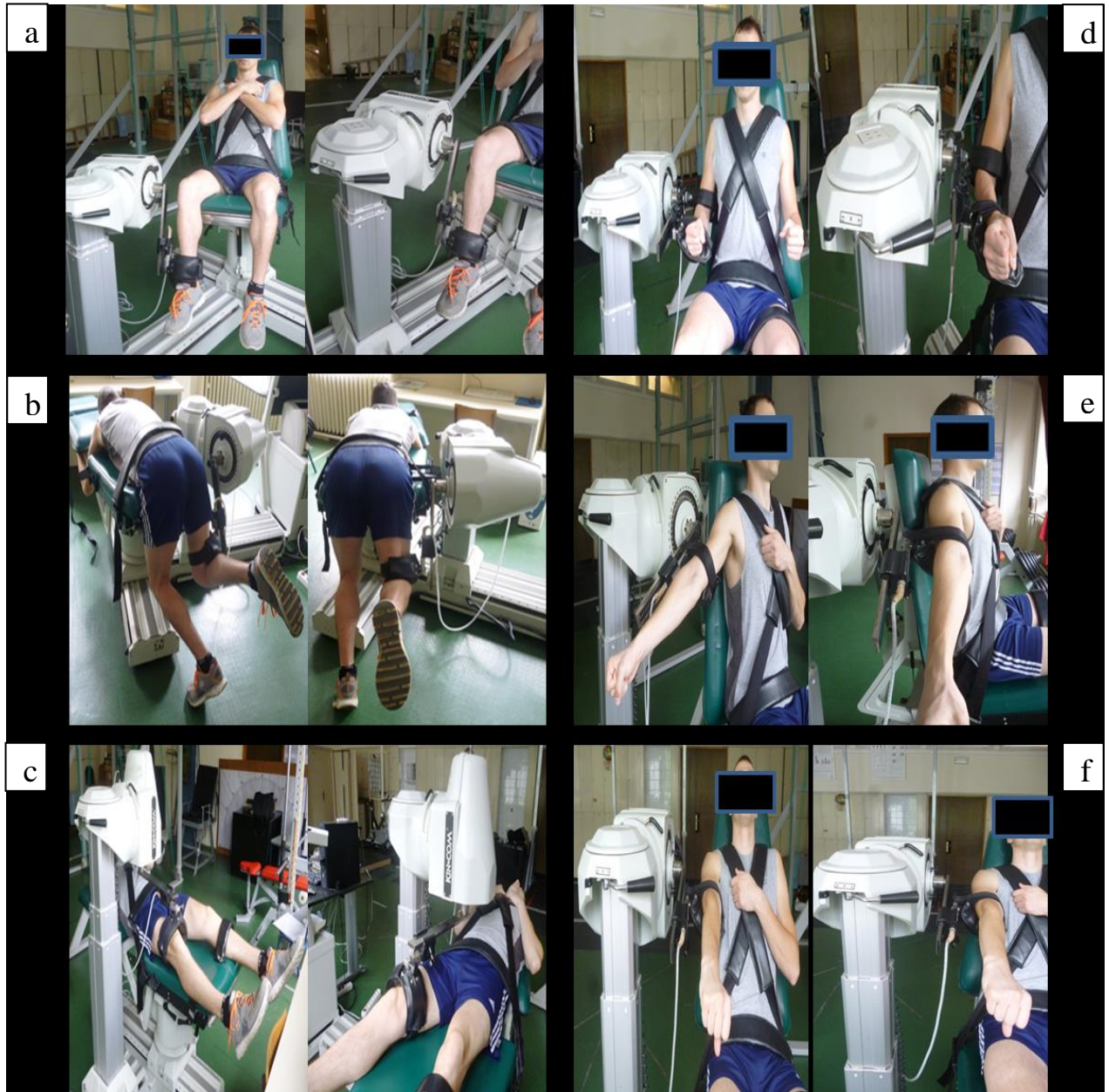
- IPAQ (Internacionalni upitnik o fizičkoj aktivnosti) procenjuje fizičku aktivnost na nedeljnom nivou i pogodan je za upotrebu kod populacije uzrasta 15-69 godina (prilog 3). Sastoji se od četiri grupe pitanja otvorenog tipa, koje se odnose na intenzivne fizičke aktivnosti, umerene fizičke aktivnosti, količinu hodanja i količinu neaktivnog slobodnog vremena na nedeljnom nivou (Booth M.L., 2000). Preporuka autora je da se rezultati upitnika zbog nepravilne distribucije podataka u odnosu na populaciju, predstavljaju kao medijani predstavljeni kroz jedinicu ekvivalenta metaboličke potrošnje u stanju mirovanja (MET-a), odnosno jedinicom MET/minut, koja je proizvod MET-a i dužine trajanja aktivnosti u minutima. U odnosu na ukupan zbir MET/minuta u sve četiri grupe ispitanici se svrstavaju u tri kategorije koji opisuju tri nivoa fizičke aktivnosti: slab nivo, umeren nivo i visok nivo bavljenja fizičkim aktivnostima.

- Antropometar - merenje visine je vršeno korišćenjem antropometra po Martinu čija je tačnost merenja 0.1 cm. Ispitanik se nalazi u standardnom stojećem stavu na čvrstoj, vodoravnoj podlozi. Stopala su sastavljena, a pete, sedalna regija i gornji deo leđa dodiruju antropometar. Glava se nalazi u položaju Frankfurtske ravni i ne sme da dodiruje skalu antropometra (*Norton et al.*, 2000).

- Uređaj za bioimpedancu (*InBody 720m, USA*) - Analiza bioelektričnom impedansom (BIA) je metoda za procenu sastava tela, emitovanjem niske i bezbedne doze električne struje kroz ljudski organizam. Struja prolazi kroz telo sa niskim otporom kroz mišiće, dok izvestan veći otpor postoji pri prolasku kroz masno tkivo. Ispitanici su bili u donjem vešu, ne smeju imati metalne predmete. Merenje je obavljeno u skladu sa preporukama proizvođača u jutarnjim časovima, na prazan stomak, posle odlaska u toalet.

- Izokinetički dinamometar - *Kin-Com (Chatex Corp., Chattanooga, TN)* je podešen na izometrijski režim rada. Ispitanik je postavljen u stolicu, dok su delovi tela fiksirani uz pomoć kaiševa tako da je omogućeno testiranje izolovanih mišićnih grupa. Poluga dinamometra postavljena je paralelno sa ekstremitetom koji se testira, pri čemu se centar rotacije glave dinamometra poklapao sa centrom rotacije zgloba, dok je ugao u zglobu bio podešen na 120°. Prilikom merenja sile mišića u zglobu kolena manžetna koja je krutom vezom spojena sa osovinom dinamometra postavljena je na distalnom delu podkolenice (Slika 4a), kod zgloba kuka na distalnom delu natkolenice (Slika 4b, 4c), u zglobu lakta na distalnom delu podlaktice (Slika 4d) i u zglobu ramena na distalnom delu nadlaktice (Slika 4e, 4f). Dinamometar je povezan sa računarom, tako da je grafički prikaz vidljiv sve vreme i za ispitanike i za merioce. Na slici 4 su prikazani

karakteristični položaji tela prema uputstvu proizvođača dinamometra, kao i pozicije stolice i osovine dinamometra za testiranje odgovarajuće mišićne grupe.



Slika 4 - Karakteristični položaji tela i dinamometra za testiranje različitih mišićnih grupa; a) položaj za testiranje fleksora/ekstenzora u zglobu kolena; b) položaj za testiranje fleksora/ekstenzora u zglobu kuka; c) položaj za testiranje abduktora/aduktora u zglobu kuka; d) položaj za testiranje fleksora/ekstenzora u zglobu lakta; e) položaj za testiranje abduktora/aduktora u zglobu ramena; f) položaj za testiranje fleksora/ekstenzora u zglobu ramena

- Testovi za procenu mišićne funkcije - u ovom eksperimentu korišćena su dva testa: standardni test sile (SST), test naizmeničnih maksimalnih kontrakcija (ACMC). U oba testa merene su maksimalna sila (F) i maksimalna brzina razvoja sile (RFD), na četiri zglobova i dva ekstremiteta, fleksori i ekstenzori u zglobu kolena, kuka, lakta i ramena, kao i aduktori i abduktori u zglobu kuka i ramena, u zadatim uslovima merenja. Rađena su ukupno tri pokušaja, jedan probni i dva eksperimentalna. Pauza između pokušaja bila je 2 minuta. Za dalju analizu uziman je bolji eksperimentalni pokušaj (pokušaj u kome je proizvod F i RFD-a bio veći).

- Standardni test sile (SST) - test meri maksimalnu voljnu mišićnu silu razvijenu u izometrijskim uslovima. Ispitanici su imali zadatak da na znak merioca, iz stanja potpune opuštenosti mišića, razviju maksimalnu silu za što kraće vreme i da taj nivo sile održe tokom 3-5 sekundi. Za vreme svakog pokušaja ispitanik je dobijao verbalnu podršku.

- Test naizmeničnih maksimalnih kontrakcija (ACMC) - test meri maksimalnu voljnu mišićnu silu razvijenu u izometrijskim uslovima. Ispitanici su imali zadatak da izvode naizmenične maksimalne kontrakcije testiranih mišića (instrukcija: najjače i najbrže) u ritmu koji su sami izabrali. Tokom merenja, ispitanici su imali vizuelnu povratnu informaciju u realnom vremenu. Dužina trajanja naizmeničnih maksimalnih kontrakcija obuhvatala je period od minimum 5 punih ciklusa (ciklus je podrazumevao razvoj sile kontrahovanjem mišića fleksora i ekstenzora ili abduktora i aduktora - u zavisnosti od testiranog zgloba). Merenja su ponovljena u slučajevima kada sile i izvodi sila u vremenu nisu pokazivale konzistentan oblik ili dok nisu dobijena dva zapisa koja se nisu razlikovala više od 5 % od prvobitno odabrane frekvencije. Što se tiče pokreta

adukcije i abdukcije kod zgloba kuka i ramena prvi pokret je bio u smeru abdukcije. Frekvencija uzastopnih kontrakcija je bila zadata (1Hz), tako da posle objašnjena zadatka ispitanici nisu dobijali verbalnu podršku za vreme izvođenja testa kako ne bi imala uticaja na frekvenciju izvođenja. Poslednja tri ciklusa su uzimana za dalju obradu. Frekvencija je diktirana uz pomoć softverskog metronoma.

4.3.4. Protokol testiranja

- Istraživanje je sprovedeno u Metodičko-istraživačkoj laboratoriji Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja u Beogradu
- Eksperiment je obavljen u četiri ciklusa, kao četiri odvojene celine
- Pre zagrevanja izmerena je visina i masa tela i urađena je procena telesnog sastava, samo u prvom dolasku ispitanika
- Sva merenja su obavili isti merioci
- Ispitanici su bili u sportskoj opremi (šorc, majica, patike)
- Standardna desetominutna procedura zagrevanja (5 minuta vožnje bicikla, 5 min. vežbe oblikovanja i rastezanja)
- Podešavanje stolice dinamometra u odnosu na ispitanika
- Objašnjenje procedura i zadataka u testu
- Prvo se radio SST, pa onda ACMC test, dok je redosled testiranja između zglobova bio određen metodom slučajnog izbora
- U jednom ciklusu testiranje samo jedan od planiranih zglobova

Instrukcije za ispitanike kod SST testa:

- da se rukama drže za pojaseve
- da pred početak kontrakcije potpuno opuste mišiće
- da na zadatu komandu („VUCI“ ili „GURAJ“) najjače i najbrže ostvare kontrakciju u zadatom smeru i zadrže taj nivo 3-5 sekundi

Instrukcije za ispitanike kod APMC testa:

- da se rukama drže za pojaseve
- da pred početak kontrakcije potpuno opuste muskulaturu
- da na komadu „KRENI“ maksimalno jako i maksimalno brzo ostvare kontrakciju u zadatom smeru, čim dostignu maksimalnu silu, ostvare kontrakciju u suprotnom smeru bez pauze i zadržavanja i da u istom ritmu povežu minimum 5 ciklusa

4.3.4. Prikupljanje i obrada podataka

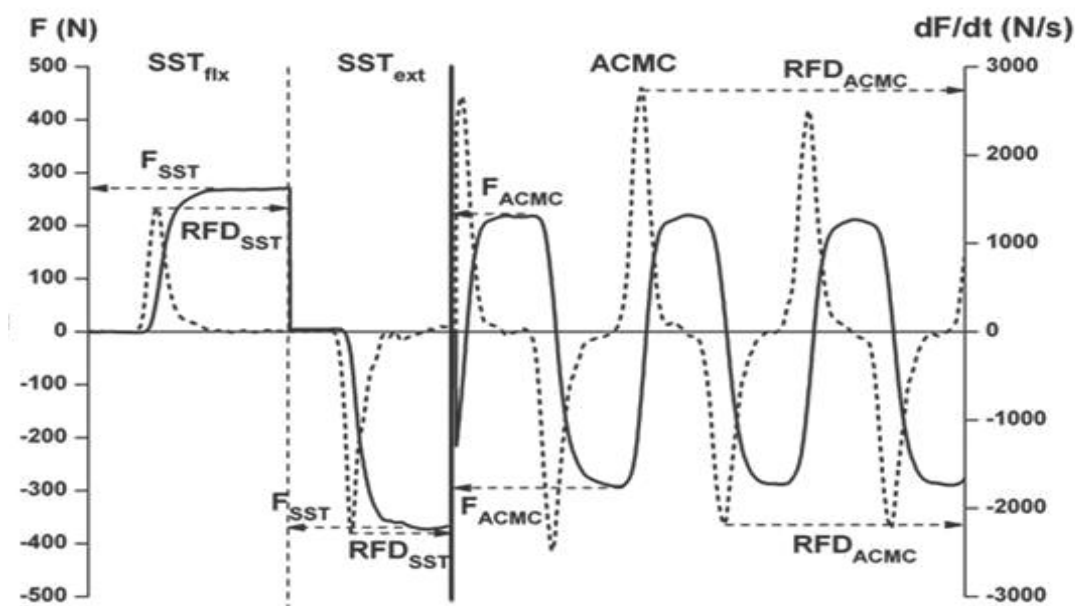
Za potrebe ovog istraživanja u cilju prikupljanja i obrade dobijenih podataka korišćen je *LabView* softver, prilagođen potrebama ovog istraživanja. Kriva sila-vreme za sve grupe mišića beležena je frekvencijom od 500 Hz sa niskopropusnim filterom 10 Hz (*Butterworth* filter). Merena je maksimalna sila standardnim i novim testom, na osnovu toga računati su izvodi iz kriva sila-vreme. Dobijene vrednosti su zatim usrednjavane unutar pokretnog prozora od 20 ms. Maksimumi kriva prvog izvoda zabeležene sile predstavljaju maksimalnu brzinu razvoja sile (RFDmax). Varijable maksimalnih uzastopnih kontrakcija dobijane su iz poslednja tri kompletna perioda zabeležene jačine, kada je uspostavljena odgovarajuća frekvencija i dostignut

maksimum sile za zadate uslove. Vrednosti svih 48 zavisnih varijabli su normalizovane u odnosu na masu tela - $m^{2/3}$ (Jaric, 2002).

4.3.5. Statistička analiza

Za sve varijable urađena je deskriptivna statistika (srednja vrednost, standardna devijacija, opseg vrednosti). Normalnost distribucije za sve zavisne varijable ispitana je pomoću *Kolmogorov-Smirnov* testa. Za sve zavisne varijable kao nastavak ispitivanja stepena povezanosti urađena je faktorska analiza, kako bi se ispitaio latentni prostor u kome će se veći broj visoko koreliranih varijabli grupisati u jedan ili više faktora. Određeno je da prag značajnosti statističkih nalaza bude na nivou poverenja od $p = 0.05$. Sve statističke analize urađene su u softverskom paketu SPSS 17.0 (*SPSS Inc, Chicago, IL, USA*).

4.3.6. Rezultati eksperimenta 2



Slika 5. Karakteristični zapisi signala za oba testa (na lijevoj strani grafika se nalaze signali standardnog testa, dok su na desnoj signali ACMC testa). Pune linije predstavljaju zapis sile u vremenu, dok isprekidane predstavljaju zapis brzine razvoja sile.

Na Slici 5. prikazani su karakteristični zapisi signala kod oba testa, za reprezentativnog ispitanika, za zadatu frekvenciju od 1 Hz. Kao i u prvom eksperimentu dobijene su stabilne vrednosti sile kod ACMC testa za tri uzastopna ciklusa. Vrednosti izmerene sile su nešto veće kod SST u odnosu na ACMC test, dok je za vrednosti RFD-a obrnut slučaj. U Tabeli 4. prikazani su deskriptivni pokazatelji za svih 48 zavisnih varijabli koje su normalizovane u odnosu na masu tela ($m^{2/3}$). Za celu grupu ispitanika ispitana je normalnost distribucije podataka (*Kolmogorov-Smirnov* test, $p > 0.20$) i pokazano je da normalna distribucija nije narušena. Kao što je i očekivano sve vrednosti varijabli izmerenih na mišićima nogu su veće od onih koje su izmerene na mišićima

ruku i ramenog pojasa. Vrednosti maksimalne sile (F) su veće kod SST-a u odnosu na ACMC test, dok su za varijablu RFD-a izmerene veće vrednosti kod ACMC testa, naročito kod fleksora kolena i kuka. Što se tiče maksimalne sile najveće vrednosti su izmerene standardnim testom kod opružača podkolenice, dok je najveća vrednost maksimalne brzine razvoja sile izmerena ACMC testom kod opružača u zglobu kuka.

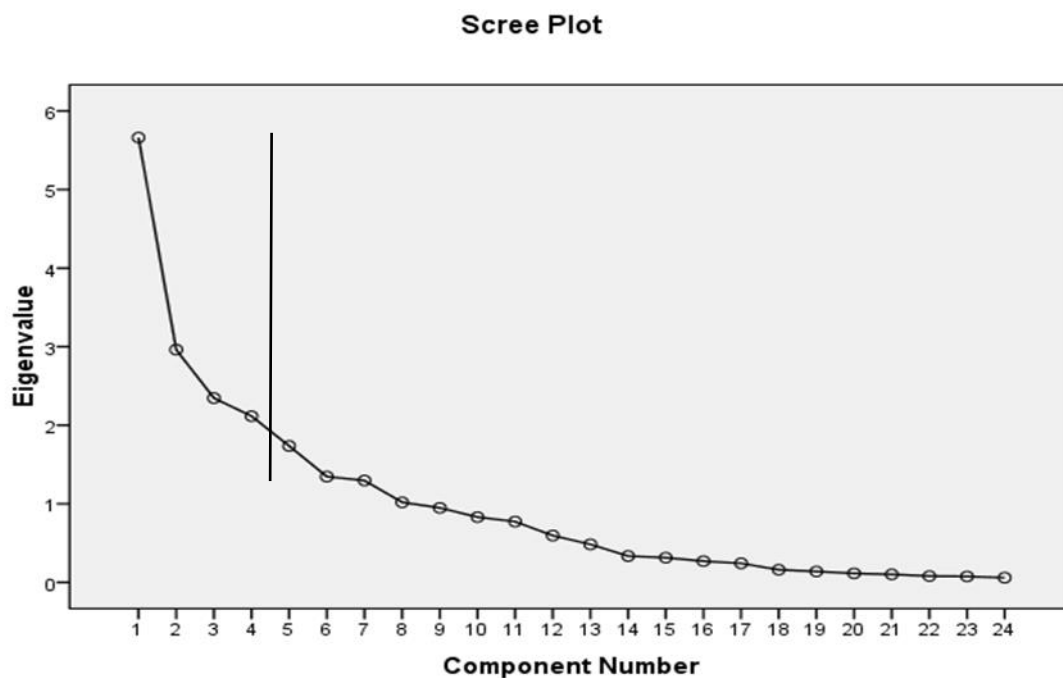
Tabela 4. Deskriptivna statistika F (N/kg^{2/3}) i RFD (N/s/kg^{2/3}) izmerenih SST i ACMC testom

		N=60						
		SV (SD)		opseg	SV (SD)		opseg	
KOLENO	SST	ext	F	46.9 (7.6)	30.0-62.0	LAKAT	16.4 (3.0)	10.8-21.7
			Rfd	254 (28.8)	206.4-325.8		103 (16.0)	67.4-133.8
	flx	F	20.8 (3.5)	14.7-28.1	16.8 (2.8)		10.5-23.7	
		Rfd	115 (15.7)	83.9-149.1	114 (18.7)		81.0-155.3	
	ACMC	ext	F	36.1 (5.6)	24.0-46.8		12.3 (2.4)	7.0-17.2
			Rfd	291 (40.3)	216.9-383.7		165 (27.3)	99.0-221.3
	flx	F	15.3 (2.9)	8.8-21.3	13.3 (2.6)	7.3-18.8		
		Rfd	324 (63.7)	190.2-462.6	165 (29.6)	99.5-238.4		
KUK flx/ext	SST	ext	F	42.8 (8.5)	24.5-62.0	RAME flx/ext	18.8 (2.4)	13.5-23.7
			Rfd	286 (63.3)	179.5-423.0		158 (22.2)	106.0-208.3
	flx	F	20.3 (3.4)	13.2-27.4	23.1 (3.6)		15.3-30.0	
		Rfd	153 (32.7)	76.5-228.4	172 (29.6)		103.8-231.2	
	ACMC	ext	F	33.2 (6.6)	18.7-47.4		16.2 (2.3)	11.4-20.7
			Rfd	346 (61.7)	226.7-477.9		197 (29.6)	131.7-261.2
	flx	F	17.4 (2.9)	11.4-22.7	16.9 (2.8)	10.6-23.7		
		Rfd	298 (57.5)	189.3-438.2	230 (40.7)	134.0-292.0		
KUK abd/add	SST	abd	F	21.7 (3.4)	14.5-29.8	RAME abd/add	16.6 (2.4)	11.3-22.3
			Rfd	142 (34.2)	79.8-220.1		134 (22.9)	91.6-186.7
	add	F	23.4 (4.9)	13.5-32.1	23.1 (4.0)		16.3-31.9	
		Rfd	161 (42.3)	58.3-250.0	170 (37.2)		89.7-253.2	
	ACMC	abd	F	17.1 (3.8)	9.4-25.7		14.5 (2.0)	9.6-19.0
			Rfd	188 (39.3)	112.1-276.6		174 (27.4)	109.5-237.5
	add	F	18.9 (3.8)	11.3-28.2	15.6 (3.0)	10.0-21.9		
		Rfd	189 (41.5)	105.9-289.9	229 (39.2)	141.4-303.6		

SST- standardni test sile; ACMC- naizmenične maksimalne kontrakcije ; ext- ekstenzija; flx- fleksija; abd- abdukcija; add- adukcija; F- maksimalna sila (N); RFD- maksimalna brzina razvoja sile (N/s)

U tabelama 5. i 6. su prikazani rezultati faktorske analize urađene na svih 48 zavisnih varijabli (u tabelama su predstavljeni rezultati jedne faktorske analize ali su podaci podeljeni u dve tabele zbog obima podataka). S obzirom da je u prvom koraku faktorske analize dobijen veliki broj faktora, u narednom koraku je analiziran *scree plot* grafik (Slika 6), kada je vizuelnom analizom broj faktora zadat na šest. Izdvojeni faktori opisuju 60.1% ukupne varijanse svih varijabli. Prvi faktor je pokazao najveću korelaciju između varijabli merenih na antagonističkom paru u zglobu lakta. Drugi faktor se reflektuje na fleksore i ekstenzore potkolenice bez izuzetaka, dok se četvrti faktor vezuje za sve varijable koje su merene na abduktorima i aduktorima kuka bez obzira na korišćeni test. Varijable koje su dobijene na fleksorima i ekstenzorima kuka se reflektuju na dva faktora (3, 6), gde se varijable F i RFD-a izmerene na fleksorima kuka u oba testa i varijabla RFD-a ekstenzora dobijena SST testom vezuju za šesti faktor. Sila ekstenzora kuka u SST testu i varijable F i RFD-a ekstenzora merene ACMC testom vezuju se za treći faktor. Važno je napomenuti da su vrednosti varijabli koje se vezuju u trećem faktoru slične, odnosno neznatno veće od onih koje se nalaze u šestom faktoru (videti Tabelu 5). Slično tome, varijable fleksora i ekstenzora u zglobu ramena su uglavnom reflektovane u trećem faktoru, osim F i RFD-a ekstenzora izmerenih standardnim testom i sile ekstenzora izmerene ACMC testom koje se reflektuju u petom faktoru (videti Tabelu 6). Što se tiče abduktora i aduktora ramena, varijable F i RFD-a izmerene sa oba testa na aduktorima reflektuju se u trećem faktoru, dok se varijable F i RFD-a izmerene na abduktorima reflektuju na dva faktora u odnosu na primenjeni test, odnosno za standardni test na prvi faktor a za ACMC na peti faktor. Generalno, bez obzira na korišćeni test, testiranu mišićnu grupu i smer kontrakcije, u svim ispitivanim slučajevima varijable F i RFD-a grupisane su na istom faktoru (osim kod ekstenzora

kuka kod SST i ekstenzora ramena kod ACMC testa). Takođe, varijable dva testa su uglavnom grupisane u istom faktoru.



Slika 6 - scree plot grafik

Tabela 5. Rezultati faktorske analize varijabli merenih u zglobu kolena i kuka

			FAKTORI							
			1	2	3	4	5	6		
N=60										
KOLENO	SST	ext	F	.144	.666	.019	.177	.211	.013	
			Rfd	.181	.535	-.055	.072	.241	.149	
		flx	F	.065	.781	.111	-.097	.043	.084	
			Rfd	.118	.680	.215	.002	.027	.144	
	ACMC	ext	F	-.011	.850	.048	.104	.023	-.098	
			Rfd	-.141	.819	-.071	.077	-.029	-.033	
		flx	F	-.059	.650	.032	.094	-.197	.047	
			Rfd	.065	.762	-.048	.074	-.069	-.089	
	KUK flx/ext	SST	ext	F	-.194	.321	.428	-.099	-.081	.410
				Rfd	-.086	.277	.197	-.149	.036	.580
			flx	F	.075	-.089	-.243	.246	.207	.686
				Rfd	.009	-.076	-.260	.294	.214	.660
ACMC		ext	F	-.074	.453	.512	-.229	-.200	.379	
			Rfd	-.119	.378	.594	-.049	-.245	.411	
		flx	F	-.073	-.132	.155	.294	.087	.748	
			Rfd	-.071	.116	.128	.006	-.255	.649	
KUK abd/add		SST	abd	F	.215	.194	.032	.557	.009	.033
				Rfd	-.098	.224	.011	.564	.126	.210
			add	F	-.015	.116	.059	.857	-.001	.149
				Rfd	.016	.074	.102	.722	.159	.044
	ACMC	abd	F	.036	-.030	.038	.598	.209	-.119	
			Rfd	-.170	.068	.141	.799	-.042	-.088	
		add	F	-.022	-.016	.066	.748	-.232	.138	
			Rfd	.139	-.110	-.105	.804	.007	.120	

Tabela 6. Rezultati faktorske analize varijabli merenih u zglobu lakta i ramena

			FAKTORI							
			1	2	3	4	5	6		
LAKAT	SST	ext	F	.794	-.015	.171	.067	.018	-.031	
			Rfd	.736	.006	-.010	.159	.184	.102	
		flx	F	.811	-.033	-.007	.062	.173	-.026	
			Rfd	.661	.002	-.008	.065	.419	.025	
		ACMC	ext	F	.825	-.066	.205	-.079	-.178	-.113
				Rfd	.881	.119	.200	-.050	-.050	-.126
	flx		F	.847	.019	.088	-.171	.157	-.044	
			Rfd	.910	.042	.125	-.028	-.015	-.016	
	RAME flx/ext	SST	ext	F	.153	-.116	.328	.020	.661	-.167
				Rfd	.029	.078	.188	-.017	.702	.041
			flx	F	.117	.009	.550	.224	.487	-.098
				Rfd	.142	-.134	.585	.225	.368	-.108
ACMC			ext	F	.203	-.018	.268	.148	.540	.109
				Rfd	.324	.218	.484	.204	.223	.066
		flx	F	.089	-.013	.758	-.055	-.062	-.195	
			Rfd	.097	-.077	.768	.056	.019	-.175	
RAME abd/add		SST	abd	F	.531	.101	.031	.028	.568	.047
				Rfd	.379	.104	-.004	-.080	.513	.333
			add	F	.224	.026	.604	.077	.323	.232
				Rfd	.136	-.001	.486	.254	.370	.244
	ACMC		abd	F	.593	.087	.046	.041	.328	-.044
				Rfd	.503	.187	.401	.128	.171	-.016
		add	F	.146	.079	.636	-.050	.228	.205	
			Rfd	.130	.072	.628	.070	.196	.095	
	Varijansa %			14.4	10.6	10.6	10.1	7.4	7.0	
	Kumulativna varijansa %			14.4	25.0	35.6	45.7	53.1	60.1	
	Eigenvalues			9.4	5.9	4.7	3.8	2.8	2.2	

4.3.7. Diskusija

Glavni cilj eksperimenta je bio da se utvrde relacije između mišićnih karakteristika maksimalne sile i maksimalne brzine razvoja sile, u odnosu na vrstu testa i u odnosu na testirani deo tela. U odnosu na nalaze i ograničenja prvog eksperimenta povećan je broj mišićnih grupa koje su testirane, čime je povećan i broj varijabli (48) koje su zapisivane. Uzorak ispitanika je činilo 60 muškaraca, čime je uzorak bio mnogo homogeniji nego u prethodnom eksperimentu (za detalje pogledati metode eksperimenta 1 str. 21). Za potrebe testiranja korišćena su dva testa, standardni test sile (SST) i novi test naizmeničnih maksimalnih kontrakcija (ACMC). Testiranje je urađeno na četiri zgloba (koleno, kuk, lakat i rame) gde su testirani antagonistički parovi mišića koji deluju u tim zglobovima u dve ravni sagitalnoj (fleksije/ekstenzije) i frontalnoj (abdukcije/adukcije). Kao i u prethodnom eksperimentu korišćena je faktorska analiza koja je pokazala ukupnu kumulativnu varijansu 60.1 %. Za razliku od prethodne kod ove faktorske analize je broj faktora bio zadat na šest. Broj faktora je zadat posle vizuelne analize *sree-plot* grafika.

Prema različitim autorima na maksimalnu silu (F) i maksimalnu brzinu razvoja sile (RFD) utiču način treninga i procedure rehabilitacije (*Gruber and Gollhofer, 2004; Holtermann et al., 2007*), kao i veličina mišića (*Bellumori et al., 2011*). Rezultati faktorske analize su pokazali visoku povezanost između varijabli maksimalne sile (F) i maksimalne brzine razvoja sile (RFD), od 24 u 22 slučaja su ove dve varijable grupisane u istom faktoru za svaki antagonistički par i testirani zglob. Jedini izuzetak su ekstenzori kuka kod SST- a i ekstenzori ramena kod ACMC testa. Razlog ovog neslaganja jeste princip određivanja faktora u kojoj se neka varijabla reflektuje, a to je

najveća vrednost koja je dobijena za svaku varijablu i faktor posebno. Uzimajući to u obzir važno je napomenuti da su vrednosti varijabli koje se vezuju u trećem faktoru slične, odnosno neznatno veće od onih koje se nalaze u šestom faktoru za zglob kuka (videti Tabelu 5). Može se zaključiti da varijable maksimalne sile i maksimalne brzine razvoja sile, merene u izometrijskim uslovima opisuju iste mišićne karakteristike, čime je prva hipoteza u potpunosti potvrđena. Beleženje obe varijable (F, RFD-a) u istom testu se smatra suvišnim, beleženjem samo jedne varijable uprošćava se procedura i protokol izvođenja testa. Ovi nalazi se u potpunosti slažu sa rezultatima dobijenim u prvom eksperimentu.

Hipoteza 1 koja je glasila da maksimalna sila i maksimalna brzina razvoja sile opisuju iste sposobnosti testiranog mišića je u potpunosti potvrđena i prihvaćena.

I pored činjenice da se dva korišćena testa razlikuju prema instrukcijama, uslovima izvođenja testa i različitim šemama neuralne aktivacije, faktorska analiza je pokazala povezanost u 20 od 24 slučaja. Odstupanja u četiri slučaja se mogu objasniti principom određivanja faktora (videti prethodni pasus). Pošto su dva testa pokazala visoku povezanost mogu se koristiti kao zamena jedan drugom, uzimajući u obzir stanje i stepen treniranosti ispitanika koji se testiraju. Iako je dokazana povezanost i dalje stoje činjenice o nedostacima protokola standardnog testa sile naročito za testiranje rekreativne populacije, starijih osoba i osoba u procesu oporavka. APMC test po svom protokolu ima više prednosti u odnosu na SST test i preporučuje se kod testiranja osoba kod kojih nije potrebno ili nije moguće izvesti testiranje maksimalnim naprezanjem u izometrijskim uslovima. Takođe primena novog testa omogućava merenje mišićnih funkcija u uslovima koji su približno isti pokretima u svakodnevnim aktivnostima

(veliki broj relativno kratkih i brzih dvosmernih pokreta), što ukazuje na jednostavniji protokol testiranja, a pogotovo na veću eksternu validnost novog testa sile, s tim u vezi potrebno je dalje razvijati novi test za merenje jačine i detaljnije ispitati procese aktivacije i ponašanja mišića korišćenjem EMG tehnologije. Kao i kod prve hipoteze i ovi nalazi se slažu sa dobijenim rezultatima prvog eksperimenta.

Hipoteza 2 koja je glasila da standardni test sile i test naizmeničnih maksimalnih kontrakcija mere iste sposobnosti mišića i da se novi test može koristiti kao zamena sa SST test je u potpunosti potvrđena i prihvaćena.

Prema trećoj postavljenoj hipotezi, a u odnosu na nalaze Eksperimenta 1 (str. 27), pretpostavljeno je da će faktorska analiza pokazati povezanost između rezultata dobijenih na zglobovima istog ekstremiteta. Naime, nalazi prvog eksperimenta ukazuju da je dovoljno meriti jednu mišićnu grupu u zglobu kolena ili lakta da bi se dobili podaci o sposobnosti mišića u tim zglobovima. U odnosu na postavljenu hipotezu testirana su po dva zgloba nogu i ruku, i to zglob kolena i kuka desne noge i zgloba lakta i ramena desne ruke. Varijable su se uglavnom grupisale po zglobovima, međutim povezanost je potvrđena samo za antagonističke parove koje deluju u jednom zglobu i u jednoj ravni. Nije dobijena nikakva povezanost između zglobova istog ekstremiteta, čak kod zgloba kuka i ramena nije dobijena povezanost za mišićne parove koji deluju u sagitalnoj (fleksori/ekstenzori) u odnosu na parove koji deluju u frontalnoj ravni (abduktori/aduktori). Dobijenim rezultatima se treća hipoteza odbacuje i može se zaključiti da nije dovoljno testirati mišiće koji deluju u jednom zglobu da bi se moglo govoriti o sposobnostima mišića drugog zgloba istog ekstremiteta.

***Hipoteza 3* je glasila da će varijable maksimalne sile i maksimalne brzine razvoja sile izmerene na dva različita zgloba i grupe mišića istog ekstremiteta biti povezane, međutim na osnovu dobijenih rezultata ova hipoteza se odbacuje.**

Uzimajući u obzir prethodna istraživanja prema kojima je dovoljno testirati samo jednu mišićnu grupu (stisak šake) postavljena je hipoteza u prvom eksperimentu da je dovoljno testirati mali broj mišićnih grupa da bi se govorilo o mišićnom sistemu u celini. Kako je ova hipoteza samo delimično potvrđena pošto je povezanost dobijena samo za mišiće koje deluju u istom zglobu, u ovom eksperimentu testiran je veći broj antagonističkih parova. Postavljena je četvrta hipoteza prema kojoj nije dovoljno testirati mali broj mišićnih grupa da bi se moglo govoriti o sposobnosti mišićnog sistema u celini. Na osnovu dobijenih rezultata faktorske analize može se videti da se u jednom faktoru grupišu isključivo varijable dobijene na antagonističkom paru mišića koji deluju u istom zglobu. Može se zaključiti da se o generalizaciji može govoriti samo na nivou parova mišića koji deluju u jednom zglobu i jednoj ravni.

***Hipoteza 4*, koja je glasila da merenjem jedne ili malog broja mišićnih grupa nije moguće proceniti sposobnost mišićnog sistema u celini, u potpunosti je potvrđena i prihvaćena.**

5. ZAKLJUČAK

Preporukama o vrsti, obimu, trajanju i intenzitetu vežbanja, programiranju i količini energetske unosa, bavi se veliki broj naučno-istraživačkih radova novijeg datuma. Može se reći da svetski trendovi vežbanja tragaju za pravim modelom bavljenja fizičkim aktivnostima koji će zadovoljiti potrebe savremenog čoveka u savremenom društvu.

Neizostavan i važan deo procesa vežbanja jeste periodična provera i praćenje efekata vežbanja primenom testova za procenu motoričkih sposobnosti, međusobno poređenje različitih programa vežbanja i njihovih benefita na zdravlje pojedinca. Testiranjem određenih sposobnosti dobijamo informacije od značaja za planiranje kompleksnog procesa vežbanja. Inicijalnim testiranjem dobijamo informacije o trenutnim sposobnostima vežbača, dok periodično testiranje služi praćenju napretka vežbača u odnosu na primenjeni model vežbanja. S tim u vezi, danas razlikujemo veliki broj različitih funkcionalnih testova i baterija testova za procenu opšte fizičke spremnosti, kao i motoričkih sposobnosti.

Istraživanje funkcije mišićnog sistema je od velike važnosti za nauke koje se bave motornom kontrolom čoveka, sa druge strane dobijeni nalazi imaju veliku praktičnu i upotrebnu vrednost. Razvijen je veliki broj testova kojima se procenjuje mišićna funkcija, a čiji se nalazi koriste za identifikaciju talenata, analizu treninga i planiranje trenažnih procedura. Međutim, standardizovani testovi koji se koriste imaju niz metodoloških nedostataka u odnosu na protokol izvođenja i primene na širokoj netreniranoj populaciji. Uzimajući u obzir nedostatke standardnog testa za procenu mišićne jačine grupa autora je predložila novi test naizmeničnih maksimalnih

kontrakcija. Pored vrste testa, uzete su u obzir i varijable koje se mere prilikom testiranja kao i realna potreba za njihovim merenjem.

Glavni cilj ovog istraživanja je bio da se utvrde relacije između komponenti mišićne jačine, maksimalne sile i maksimalne brzine razvoja sile, u odnosu na vrstu testa (SST, APMC) i u odnosu na testirani deo tela. Drugim rečima cilj je bio ispitati da li je merenje obe varijable prilikom merenja u izometrijskim uslovima zaista neophodno i da li su te relacije konzistentne bez obzira na testirani deo tela.

Šema neuralne aktivacije za brze, kratkotrajne i za dugotrajne mišićne kontrakcije je različita. Standardni testovi su zasnovani na dugotrajnim kontrakcijama koje ne mogu da zabeleže šemu neuralne aktivacije tipičnu za brza ispoljavanja sile, što može da bude nedovoljno precizno za funkcionalne zadatke koji imaju ograničeno vreme za razvijanje relativno velike sile (hodanje, trčanje, korigovanje položaja), a što bi trebalo da bude prevaziđeno novim testom za procenu mišićne jačine.

Za potrebe ispitivanja postavljenih ciljeva, zadataka i hipoteza urađena su dva eksperimenta. U prvom eksperimentu su relacije ispitivane na nehomogenom uzorku koji je činilo 58 netreniranih osoba. Ovakav izbor uzorka se bazirao na pretpostavci da APMC test zbog svoje prirode izvođenja više odgovara starijim, netreniranim ili osobama koje su u procesu oporavka.

U drugom eksperimentu uzorak je činilo 60 zdravih, fizički aktivnih studenata FSFV-a, čime je uzorak bio mnogo homogeniji za razliku od prvog eksperimenta. U drugom eksperimentu su potvrđeni nalazi prvog eksperimenta koji su se odnosili na relacije sile i brzine razvoja sile, kao i na izbor testa za merenje jačine.

Uzimajući u obzir sve dobijene rezultate oba eksperimenta može se izvući generalni zaključak da se za procenu mišićne funkcije, odnosno merenje mišićne jačine mogu koristiti dva testa za merenje (standardni i ACMC test), uzimajući u obzir stepen treniranosti i opšte pripremljenosti ispitanika. Zbog jednostavnijeg protokola preporučuje se korišćenje ACMC testa, prvenstveno za testiranje netrenirane populacije, osoba starije dobi, osoba koje su u fazi oporavka posle povreda. Korišćenjem bilo koja od dva testa za merenje jačine preporučuje se merenje samo maksimalne sile, iz razloga što u izometrijskim uslovima testiranja maksimalna sila i maksimalna brzina razvoja sile opisuju iste sposobnosti mišića. Kada je potrebno dobiti podatke o sposobnostima mišićnog sistema u celini preporučuje se testiranje što većeg broja mišića gornjeg i donjeg dela tela.

Značaj istraživanja se ogleda u rešavanju nekoliko bitnih metodoloških problema kada je u pitanju procena mišićne jačine. Standardni test jačine i test naizmeničnih maksimalnih kontrakcija se u svojim protokolima merenja razlikuju prema instrukcijama izvođenja, tako da bi u budućim istraživanjima trebalo ispitati osetljivost varijabli ACMC testa na različite kategorije ispitanika (zdravi nasuprot neuroloških pacijenata, različitih uzrasnih grupa, ili različitog nivoa treniranosti). Razlike između dva testa je potrebno preciznije utvrditi elektromiografskim ispitivanjima, koje bi trebalo da da precizniju sliku neurološke aktivacije mišića u zavisnosti od korišćenog testa.

6. LITERATURA

1. Abernethy P, Wilson G, Logan P. Strength and power assessment: issues, 479 controversies and challenges. *Sports Med* 1995;19:401–17. 480
2. Astrand P-O, Rodhal K. *Textbook of work physiology. 3rd ed.* New York: McGraw-Hill; 1986.
3. Aagaard P, Simonsen EB, Andersen JL, Magnusson P, Dyhre-Poulsen P. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *J Appl Physiol* 2002; 93:1318–26.
4. Bellumori M, Jaric S, Knight CA. The rate of force development scaling factor (RFD-SF): protocol, reliability, and muscle comparisons. *Exp Brain Res* 2011; 212:359–69.
5. Bozic P, Suzovic D, Nedeljkovic A, Jaric S. Alternating consecutive maximum contractions as a test of muscle function. *J Strength Cond Res* 2011; 25:1605–15.
6. Bozic P, Pazin N, Berjan B, Jaric S. Evaluation of alternating consecutive maximum contractions as an alternative test of neuromuscular function. *Eur J Appl Physiol* 2012;112:1445–56.
7. Booth M. Assessment of Physical Activity: An International Perspective. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 2000; 71 (2): 114-20.
8. Desmedt JE, Godaux E, Ballistic contractions in man: characteristic recruitment pattern of single motor units of the tibialis anterior muscle. *J Physiol*, 1977; 264 (3): 673-93.
9. De Ruyter CJ, Kooistra RD, et al. Initial phase of maximal voluntary and electrically stimulated knee extension torque development at different knee angles. *J Appl Physiol*, 2004; 97(5): 1693-701.
10. Enoka RM, Fuglevand AJ. Motor unit physiology: some unresolved issues. *Muscle Nerve* 2001; 24:4–17.
11. Eurofit. *European test of physical fitness*. Council of Europe, Committee for the Development OD Sport, Rome, Italy; 1988.

12. Gruber M, Gollhofer A. Impact of sensorimotor training on the rate of force development and neural activation. *Eur J Appl Physiol* 2004; 92:98–105.
13. Hakkinen K, Komi PV, Alen M. Effect of explosive type strength training on isometric force-time and relaxation-time, electromyographic and muscle-fiber characteristics of leg extensor muscles. *Acta Physiol Scand*, 1985; 125:587–600.
14. Hakkinen K, Komi PV, Kauhanen H. Electromyographic and force production characteristics of leg extensor muscles of elite weight lifters during isometric, concentric, and various stretch-shortening cycle exercises. *Int J Sports Med*, 1986;7:144–51.
15. Haskell W, Lee I, Pate R, Powell E, Blair N, Franklin A, Macera A, Heath W, Thompson D, Bauman A. Physical activity and public health: Updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Med. Sci. Sports Exerc*, 2007; vol. 39, no. 8, pp. 1423-1434.
16. Holtermann A, Roeleveld K, Vereijken B, Ettema G. The effect of rate of force development on maximal force production: acute and training-related aspects. *Eur J Appl Physiol*, 2007;99:605–13.
17. Ilić, N. Fiziologija za studente Više trenerske škole za sportske trenere, SIA, Beograd, 2009; 76-77.
18. Ivanovski A. Animacija programima rekreativnih aktivnosti u turizmu, doktorska disertacija, Beograd, 2014.
19. Izquierdo M, Aguado X, Gonzalez R, Lopez JL, Hakkinen K. Maximal and explosive force production capacity and balance performance in men of different ages. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 1999;79:260–7.
20. Jaric S. Muscle strength testing: use of normalisation for body size. *Sports Med*, 2002; 32: 615–31.
21. Jaric S. Role of body size in the relation between muscle strength and movement performance. *Exerc Sport Sci Rev*, 2003; 31:8–12.
22. Jaric S, Mirkov D, Markovic G. Normalizing physical performance tests for body size: a proposal for standardization. *J Strength Cond Res*, 2005; 19:467–74.

23. Jaric S, Radovanovic S, Milanovic S, Ljubisavljevic M, Anastasijevic R. A comparison of the effects of agonist and antagonist muscle fatigue on performance of rapid movements. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 1997; 76:41–7.
24. Jaric S, Radosavljevic-Jaric S, et al. Muscle force and muscle torque in humans require different methods when adjusting for differences in body size." *Eur J Appl Physiol*, 2002; 87(3): 304-307.
25. Jaric S, Ristanovic D, Corcos DM. The relationship between muscle kinetic parameters and kinematic variables in a complex movement. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 1989;59: 370–6.
26. Jaric S, Ropret R, Kukolj M, Ilic B. Role of agonist and antagonist muscle strength in performance of rapid movements. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 1995;71:464–8.
27. Koković, D. Sociologija sporta, Beograd, 2000.
28. Knežević O, Mirkov D. Sila i snaga mišića opružaća u zglobu kolena. *Fizička kultura*, 2011 65 (2): 5-15.
29. Komi PV, Bosco C. Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles bymen and women. *Med Sci Sports*, 1978; 10:261–5.
30. Kukolj i saradnici. Opšta antropomotorika. Fakultet fizičke kulture, Beograd, 1996.
31. Lamb KL, Brodie DA. The assessment of physical activity by leisure-time physical activity questionnaires. *Sports Med*, 1990; 10:159–80.
32. Matavulj D, Kukolj M, Ugarkovic D, Tihanyi J, Jaric S. Effects of plyometric training on jumping performance in junior basketball players. *J Sports Med Phys Fitness*, 2001; 41:159–64.
33. Matthews CE, Ainsworth BE, Hanby C, et al. Development and testing of a short physical activity recall questionnaire. *Med Sci Sports Exerc* 2005; 37:986–94.
34. McGuigan MR, Newton MJ, Winchester JB, Nelson AG. Relationship between isometric and dynamic strength in recreationally trained men. *J Strength Cond Res*, 2010;24:2570–3.
35. Morrow R, Jackson W, DischG, MoodP. Measurement and Evaluation in Human Performance, third edition. Human Kinetics, Champaign, IL. 2005.

36. McLellan CP, Lovell DI, Gass GC. The role of rate of force development on vertical jump performance. *J Strength Cond Res*, 2011; 25:379–85.
37. Mitić D. *Rekreacija*. Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja, Univerzitet u Beogradu. 2002.
38. Mirkov D, Nedeljkovic A, Milanovic S, Jaric S. Muscle strength testing: evaluation of tests of explosive force production. *Eur J Appl Physiol*, 2004; 91:147–54.
39. Norton K, Marfell-Jones M, Whittingham N, Kerr D, Carter L, Saddington K, Gore C. *Anthropometric Assessment Protocols*. In: Gore SJ, editor. *Physiological Tests for Elite Athletes*. Champaign, IL: Human Kinetics, 2000: 66-85.
40. Nunnally JC, Bernstein IH. *Psychometric theory*; 1994.
41. Oja P, Tuxworth B. Eurofit for adults – Assessment of health-related fitness. Council of Europe. Committee for the development of sport and UKK Institute for health promotion research, 1995, Tampere, Finland.
42. Prebeg G, Stojiljković S. Teretana na otvorenom kao model saradnje lokalne samouprave i fakulteta. *Zbornik apstrakata, FSFV conference 2011*, Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja, Beograd
43. Prebeg G, Cuk I, Suzovic D, Stojiljkovic S, Mitic D, Jaric S. Relationships among the muscle strength properties as assessed through various tests and variable, *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2013, Vol. 23, Issue 2, Pages 455-461.
44. Sahaly R, Vandewalle H, Driss T, Monod H. Maximal voluntary force and rate of force development in humans - importance of instruction. *Eur J Appl Physiol* 2001; 85:345–50.
45. Sale DG. Testing strength and power. In: MacDougall JD, Wenger HA, Green HJ, editors. *Physiological testing of high-performance athlete*; 1991. p. 21–75.
46. Suni J, Husu P, Rinne M. *Fitness for health: the ALPHA-FIT test battery for adults aged 18–69*. DG Sanco, European Union & UKK Institute for health Promotion Research, Tampere, Finland; 2010.

47. Suzovic D, Nedeljkovic A, Pazin N, Planic N, Jaric S. Evaluation of Consecutive Maximum Contractions as a Test of Neuromuscular Function. *J Hum Kinet*, 2008; 20:51-61.
48. Suzović D, Nedeljković A. Kratke pulsne kontrakcije: odnos između maksimalne sile i brzine razvoja sile. *Fizička kultura*, vol. 63, 1, str. 17-34. Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja, Beograd. 2009.
49. Stojiljković S, Mitić D, Mandarić S, Nešić D. *Personalni fitnes*. Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja, Univerzitet u Beogradu. 2012.
50. Taylor-Piliae R, Norton L, Haskell L, Mahbouda H, Fair M, Iribarren C, Hlatky A, Go S, Fortmann P. Validation of a new brief physical activity survey among men and women aged 60–69 years. *Am J Epidemiol*, 2006.164: 598–606
51. Ugarkovic D, Matavulj D, Kukolj M, Jaric S. Standard anthropometric, body composition, and strength variables as predictors of jumping performance in elite junior athletes. *J Strength Cond Res*, 2002; 16:227–30.
52. Van Cutsem M, Duchateau J. Preceding muscle activity influences motor unit discharge and rate of torque development during ballistic contractions in humans. *J Physiol*, 2005; 562 (Pt 2): 635-44.
53. Wilson G, Murphy A. The use of isometric tests of muscular function in athletic assessment. *Sport Medicine*, 1996; 22 (1), 19-37.
54. Washburn RA, Jacobsen DJ, Sonko BJ, et al. The validity of the Stanford Seven-Day Physical Activity Recall in young adults. *Med Sci Sports Exerc* 2003; 35:1374–80.

Prilog 1. 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
Бр. 3894-3
07. 12. 2011. год.
БЕОГРАД, Београд, Павлова 156

Predmet - Na zahtev zaveden pod brojem 02-3894-2 od 07. 11. 2011. godine, koji je podneo asistent Goran Prebeg, Etička komisija Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu daje

S A G L A S N O S T

Za realizaciju istraživanja u cilju izrade doktorske disertacije pod nazivom „Relacije sile i brzine razvoja sile različitih mišića u odnosu na vrstu testa“ (mentor red. prof. dr Stanimir Stojiljković) koje se realizuje okviru projekata odobrenog od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, pod nazivom „Mišićni i neuralni faktori humane lokomocije i njihove adaptivne promene“ (broj IO175037, rukovodilac doc. dr Aleksandar Nedeljković).

O b r a z l o ž e n j e

Na osnovu uvida u nacrt istraživanja koji se realizuje u okviru navedenog projekata (broj IO175037), Etička komisija Fakulteta iznosi mišljenje da se, kako u konceptu tako i u planiranju realizacije istraživanja i primene dobijenih rezultata, polazilo od principa koji su u skladu sa etičkim standardima, čime se obezbeđuje zaštita ispitanika od mogućih povreda njihove psiho-socijalne i fizičke dobrobiti.

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

Za Etičku komisiju

Članovi

1. red. prof. dr Dušanka Lazarević



2. red. prof. dr Dušan Ugarković

3. red. prof. dr Vladimír Koprivica

Prilog 2. SBAS upitnik**SBAS UPITNIK**

- Želimo da saznamo koliko ste aktivni na Vašem radnom mestu, kako i koliko aktivno provodite svoje slobodno vreme. Vaši iskreni odgovori će nam biti od velike pomoći. Unapred zahvaljujemo.

UPITNIK 1- Karakteristike Vašeg radnog mesta

Pol - M Ž Stepen obrazovanja _____ Starost _____

- A Ako nemate stalan posao ili ste nezaposleni precrtajte polje A i pređite na

UPITNIK 2

- B U toku radnog vremena uglavnom sedim (stojim). Posao mi se sastoji od pisanja, kucanja, razgovora telefonom, aktivnosti koje zahtevaju minimalno fizičko naprezanje.
- C Za vreme posla uglavnom hodam (stojim), upražnjavam aktivnosti koje zahtevaju umereno fizičko naprezanje (portir, poštar, konobar, moler, koristim mašine koje umereno angažuju muskulaturu).
- D U toku radnog vremena uglavnom podižem i nosim teške predmete (magacioner, rad na stovarištu, fizički radnik). Radim teže fizičke poslove bez upotrebe mašina.
- E Radim težak fizički posao, na kome sve aktivnosti zahtevaju maksimalni napor (rad na građevini, drvoseča, rad u teškoj industriji,...), sa kratkim pauzama za odmor.

UPITNIK 2- Aktivnosti u toku Vašeg slobodnog vremena

- F Slobodno vreme uglavnom provodim bez fizičke aktivnosti (gledam TV, čitam, igram karte, šah, koristim internet, ležim. Povremeno, 1-2 puta mesečno radim intenzivnije poslove oko kuće, džogiram, igram tenis i slične aktivnosti
- G Ponekad posle radnog vremena imam umerenu fizičku aktivnost, uglavnom preko vikenda imam vremena za šetnju, lagano vežbanje, vožnju bicikla, radove oko kuće
- H U proseku tri puta nedeljno upražnjavam umerenu fizičku aktivnost kao što je brzo hodanje, lagano trčanje, vožnja bicikla (oko 20 min.), plivanje. Ponekad teži fizički poslovi oko kuće (oko 45 minuta)
- I U poslednjih godinu dana redovno upražnjavam fizičku aktivnost minimum tri puta nedeljno. Trčanje, vožnja bicikla (min. 30 minuta), sportske igre (oko 1h) Pratim grupne programe vežbanja koji traju minimum 30 minuta (pilates, aerobik, yoga)
- J U poslednjih godinu dana redovno upražnjavam fizičke aktivnosti opisane pod tačkom I, samo ih upražnjavam pet ili više puta nedeljno

- ✓ *Za testiranje je potrebno da budete u sportskoj opremi (šorc, majica, patike)*
- ✓ *Testiranje se obavlja na Fakultetu sporta i fizičkog vaspitanja, Blagoja Parovića 156, Čukarica*
- ✓ *Testiranje se sastoji iz dva dela*
- ✓ *Prvi deo testa podrazumeva procenu telesne kompozicije (metodom body impedance) na najsavremenijem aparatu u našoj zemlji, gde dobijate precizne podatke o Vašem telesnom sastavu (% mišića, masti, vode, bazalni metabolizam)*
- ✓ *Drugi deo testa podrazumeva funkcionalne testove za procenu snage mišića nogu i ruku*
- ✓ *Ukupno trajanje testiranja je oko 30 minuta po jednom ispitaniku*
- ✓ *Kao kod bilo kakvog vežbanja, postoji rizik lokalnog mišićnog zamora i upale. Međutim, oba faktora su prolazna i bez posledica.*

Saglasan/sna sam da učestvujem u testiranju

Vaš potpis _____

Telefon _____

e-mail adresa _____

Osoba za kontakt:

Goran Prebeg 064/2371529

Prilog 3. IPAQ upitnik

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

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

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

_____ dana u nedelji

Nisam hodao duže od 10 minuta



Pređite na pitanje br. 7

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

_____ sati na dan

_____ minuta na dan

Ne znam/nisam siguran

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

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

_____ sati na dan

_____ minuta na dan

Ne znam/nisam siguran

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

Saglasan sam da učestvujem u testiranju Vaš potpis _____

Telefon _____ e-mail adresa _____

Prilog 4. Formular za saglasnost sa eksperimentalnom procedurom**FORMULAR ZA SAGLASNOST SA EKSPERIMENTALNOM PROCEDUROM**

Istraživački projekat: Procena neuromišićne funkcije

Istraživači: prof. dr Slobodan Jarić, ass. Goran Prebeg

IME ISPITANIK: _____

1. NAMENA I OPIS ISTRAŽIVANJA

Vi ste zamoļjeni da učestvujete u istraživačkom projektu Univerziteta u Beogradu i Univerziteta Delavera. Cilj projekta je razvijanje dva nova testa za procenu brzine mišića. Ta brzina je bitna za pokrete, kao što su, na primer, hvatanje predmeta koji pada, brzog prelaska ulice i kritična je za mnoga kretanja iz svakodnevnog života i prevenciju padova. Ta brzina se, na žalost, ne procenjuje u tipičnim merenjima mišićne jačine i snage. Kao učesniku eksperimenta, mi ćemo proceniti brzinu vaših mišića na dva načina i zatim ćemo te rezultate dovesti u vezu sa dva standardna testa fizičkih sposobnosti. Ti testovi će biti bazirani na pokretima kao što su skokovi, šut lopte rukom ili nogom i slično.

Vi ćete biti jedan od najmanje 60 zdravih i fizički aktivnih učesnika starih 20-60 godina. Mi ćemo ispitivati brzinu mišićnih kontrakcija vaših nogu i ruku. Test će se obaviti tako što ćete sedeti na stolici sa meračem sile pri čemu će vaše ruke i noge biti fiksirane pojasevima. Merićemo brzinu kojom razvijate sile u vašim pokretima koji će da liče na guranje, vučenje i stiskanje nepokretnih predmeta. Takođe ćemo uzeti podatke koji se odnose na vašu visinu, težinu, kompoziciju telesnog sastava, opštu procenu vaše dnevne fizičke aktivnosti i podatke o vašoj levorukosti, odnosno, desnorukosti.

Vaše učešće u ovom projektu obuhvata ili jedan ili dva odvojena eksperimenta:

1. Eksperiment 1: Testiranje će se obaviti kao jedna celina u toku jednog dana. Testiranje će trajati oko 30 minuta. U ovom eksperimentu ćemo proceniti jačinu vaših mišića ruku i nogu, kao i brzinu kojom se ta jačina razvija.
2. Eksperiment 2: Drugo testiranje će biti potrebno da se obavi merenje snage nožnih mišića i mišića ruku, kao i za funkcionalne testove fizičkih sposobnosti. Pauza od najmanje 48 sati će biti data između dva testiranja.

2. USLOVI UČEŠĆA U EKSPERIMENTU

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

3. KRITERIJUMI ZA UČEŠĆE U STUDIJU

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

4. RIZIK I BENEFICIJE

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

MOGUĆE BENEFICIJE: U slučaju da postoje sredstava, bićete plaćeni 2 000 dinara za vaše učešće.

5. KONTAKTI

U slučaju da imate bilo kakvo pitanje u vezi sa studijom, pozovite profesora Slobodan Jarića ili Gorana Prebega, 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. Naslovna strana objavljenog rada

Journal of Electromyography and Kinesiology 23 (2013) 455–461



Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Journal of Electromyography and Kinesiology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jelekin

Relationships among the muscle strength properties as assessed through various tests and variables

Goran Prebeg^{a,b}, Ivan Cuk^a, Dejan Suzovic^a, Stanimir Stojiljkovic^a, Dusan Mitic^a, Slobodan Jaric^{b,*}^aFaculty of Sport and Physical Education, University of Belgrade, Serbia^bDepartment of Kinesiology and Applied Physiology, University of Delaware, 541 South College Avenue, Newark, DE 19716, USA

ARTICLE INFO

Article history:

Received 4 June 2012

Received in revised form 30 October 2012

Accepted 31 October 2012

Keywords:

Flexor

Extensor

Force

Contraction

Isometric

ABSTRACT

We tested the hypotheses that the individual strength properties depend on the applied test and the variable extracted, rather than on the muscle group tested. Flexor and extensor muscles acting in the knee and elbow joint were tested in 58 participants. The standard strength test (SST; based on sustained maximum contraction) and alternating consecutive maximum contractions (ACMCs; alternating contractions of antagonistic muscles) performed under static conditions were separately applied to provide the maximum force (F) and the rate of force development (RFD) of each tested muscle. The principal component analysis applied on all 16 variables revealed three factors that explained 85.5% of the total variance. Contrary to our hypotheses, the individual factors were loaded with the variables recorded from individual muscles, rather than with either the particular variables or tests. The present findings suggest that recording both F and RFD in routine strength testing procedures could be redundant since they may assess the same strength property of the tested muscle. In addition, ACMC may be a feasible alternative to SST since it could assess the same strength properties from two antagonist muscles through a single trial, while being based on relatively low and transient forces.

© 2012 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

The assessment of function of the neuromuscular system is of profound importance in human movement science. A large variety of routine procedures have been employed in both clinical and non-clinical assessments with purposes such as the exploration of intrinsic risk factors due to sport injury, identifying performance-limiting factors, monitoring the effects of training and rehabilitation programs, comparisons among the individuals and populations, and talent identification (Abernethy et al., 1995; Astrand and Rodhal, 1986; Jaric, 2002; Wilson and Murphy, 1996).

In addition to various tests of functional movements, the most frequent assessment of the neuromuscular function has been based on strength testing (Abernethy et al., 1995; Wilson and Murphy, 1996). Muscle strength usually refers either to maximum force (such as recorded by a dynamometer) or torque (recorded by isokinetic apparatus) exerted by the tested muscle group (Astrand and Rodhal, 1986; Sale, 1991). However, note that the routine strength testing procedures applied in athletic training and

rehabilitation research have been usually focused upon individual muscle groups (Aagaard et al., 2002; Matavulj et al., 2001; Ugarkovic et al., 2002). Similarly, the routine batteries of physical fitness typically include a single test of muscle strength (e.g., the grip strength (Eurofit, 1988; Suni et al., 2010)), while a few other test items may assess muscles' ability to overcome the load originating from the subject's own body (e.g., push-ups, chin-ups) which inevitably provides a body size dependent outcome (Jaric, 2003). That approach has been apparently based on an implicit presumption that the strength measures recorded from a single or several muscles can be generalized across the muscular system of the tested individual. However, that presumption remains questionable since a number of studies have revealed moderate relationships among the strength properties obtained from different muscles of the same individual (Bellumori et al., 2011; Jaric et al., 1989; Sahaly et al., 2001). Therefore, it still remains unclear whether one or, alternatively, several muscles acting around different joints need to be tested in order to assess the strength generating capacity of the entire neuromuscular system.

The most often applied test of muscle strength has been the *standard strength test* (SST) based on the sustained maximum voluntary contraction of a selected muscle performed under either isometric or concentric contraction conditions (Abernethy et al., 1995; Jaric, 2002; Wilson and Murphy, 1996). The regularly

* Corresponding author. Address: Rust Arena, Rm. 143, University of Delaware, 541 South College Avenue, Newark, DE 19716, USA. Tel: +1 302 8316174; fax: +1 302 8313693.

E-mail address: jaric@udel.edu (S. Jaric).

Prilog 6: Kopija izjave o autorstvu

Прилог 1.

Изјава о ауторствуПотписани - Горан Ж. Пребегброј уписа 02-ДС/2010

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

**“РЕЛАЦИЈЕ СИЛЕ И БРЗИНЕ РАЗВОЈА СИЛЕ
РАЗЛИЧИТИХ МИШИЋА У ОДНОСУ НА ВРСТУ ТЕСТА”**

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

Потпис докторанта

У Београду, 15.4.2015.

Prilog 7: Kopija izjave o istovetnosti štampane i elektronske verzije dokorskog rada

Прилог 2.

**Изјава о истоветности штампане и електронске верзије
докторског рада**Име и презиме аутора Горан ПребегБрој уписа 02-ДС/2010Студијски програм Експерименталне методе истраживања хумане локомоцијеНаслов рада “Релације силе и брзине развоја силе различитих мишића у односу
на врсту теста”

Ментор редовни професор др Станимир Стојиљковић

Потписани Горан Пребег

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

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

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

Потпис докторанта

У Београду, 15.4.2015.

Prilog 8: Kopija izjave o korišćenju

Прилог 3.

Изјава о коришћењу

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

“Релације силе и брзине развоја силе различитих мишића у односу на врсту теста”

која је моје ауторско дело.

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

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

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

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

У Београду, 15.4.2015.

Потпис докторанта

BIOGRAFIJA AUTORA

Goran Prebeg je rođen 6 jula 1982.godine u Slavonskom brodu, Hrvatska. Osnovnu školu završio u Slavonskom brodu i Beogradu. Završio srednju elektrotehničku školu “Nikola Tesla” u Beogradu.

Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja upisuje 2000. godine. Diplomirao je 14.06.2007. sa temom „Predlozi za unapređenje letnjeg kampa učenika Rimini - Italija“ sa ocenom deset. Tokom studija ostvario je prosečnu ocenu 8,36.

Diplomske akademske master studije upisuje 2008. godine na FSFV-a u Beogradu. Završni master rad odbranio je 8.06.2010. godine sa temom „Primena sportskih igara u rekreaciji“ sa ocenom deset. Prosečna ocena tokom studiranja 9,62.

Doktorske studije upisao je 2010. godine na FSFV-a u Beogradu, program Eksperimentalne metode istraživanja humane lokomocije. Tokom doktorskih studija, 3 meseca je proveo na usavršavanju u SAD, u Laboratoriji za motornu kontrolu na odeljenju za kineziologiju i primenjenu fiziologiju Univerziteta u Delaveru.

Od februara 2011. godine zaposlen kao asistent na predmetu TiM Rekreacije, na Fakultetu sporta i fizičkog vaspitanja, Univerziteta u Beogradu. Od 2010 godine saradnik na predmetu TiM Skijanja, u realizaciji praktične nastave skijanja.

Objavljeni radovi:

➤ Izvorni naučni članak

1. UYGUR, Mehmet, **PREBEG, Goran**, JARIĆ, Slobodan. Force control in manipulation tasks : comparison of two common methods of grip force calculation. Motor control, ISSN 1087-1640, 2014, vol. 18, issue 1, str. 18-28, doi: 10.1123/mc.2012-0121. [COBISS.SR-ID 514425772]

2. NIKIĆ, Marina Đorđević-, DOPSAJ, Milivoj, RAKIĆ, Slađana, SUBOŠIĆ, Dane, **PREBEG, Goran**, MACURA, Marija, MLAĐAN, Dragan, KEKIĆ, Dalibor. Morfološki model populacije radno aktivnih žena Beograda meren metodom električne multikanalne bioimpedance: pilot istraživanje = Morphological Model of the Population of Working-Age Women in Belgrade Measured Using Electrical Multichannel Bioimpedance : Pilot Study. Fizička kultura, ISSN 0350-3828, 2013, vol. 67, br. 2, str. 103-112. http://www.fizickakultura.com/fk/6702cir_m_nikic.pdf. [COBISS.SR-ID 514331308]

3. **PREBEG, Goran**, ĆUK, Ivan, SUZOVIĆ, Dejan, STOJILJKOVIĆ, Stanimir, MITIĆ, Dušan, JARIĆ, Slobodan. Relationships among the muscle strength properties as assessed through varioustests and variables. Journal of electromyography and kinesiology, ISSN 1873-5711, 2013, vol. 23, iss. 2, str. 455-461.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1050641112002039>. [COBISS.SR-ID 514330796]

4. EMGE, Nicholas, **PREBEG, Goran**, UYGUR, Mehmet, JARIĆ, Slobodan. Effects of muscle fatigue on grip and load force coordination and performance of manipulation tasks. *Neuroscience letters*, ISSN 0304-3940. [Online ed.], 2013, vol. 50, str. 46-50. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030439401300640X#>. [COBISS.SR-ID 514331052]

5. **PREBEG, Goran Ž.**, MIHAJLOVIĆ, Natalija, MITIĆ, Dušan. Aerobic fitness trend of students of the Faculty of sport and physical education at the University of Belgrade. *Exercise and quality of life*, ISSN 1821-3480, 2012, vol. 4, no. 2, str. [41]-47. [COBISS.SR-ID 514012076]

➤ **Objavljeno naučno izlaganje na konferenciji**

6. BADAU, Dana, MITIĆ, Dušan, **PREBEG, Goran**, ROGOZEA, Liliana. Relationship between the reaction time of right-hand and left-hand. U: MILANOVIĆ, Dragan (ur.), SPORIŠ, Goran (ur.). *Fundamental and applied kinesiology: steps forward : proceedings*. Zagreb: University, Faculty of Kinesiology, 2014, str. 131-136. [COBISS.SR-ID 514606508]

7. IVANOVSKI, Aleksandar, MITIĆ, Dušan, KORETIĆ, Marija Zegnal, **PREBEG, Goran**, DIMITRIJEVIĆ, Marko. Studentski zimski kamp kao model građenja liderstva u funkciji menadžmenta sportskog turizma = Students winter camps as model of developing leadership in function of sports tourism menagement. U: BRESLAUER, Nevenka (ur.). *Tehnološki razvoj u funkciji održivog turizma i sporta: [zbornik radova]*. Čakovec: Međimursko veleučilište u Čakovcu, 2014, str. 97-100. [COBISS.SR-ID 514558636]

8. DOPSAJ, Milivoj, **PREBEG, Goran Ž.**, MACURA, Marija, ĐORĐEVIĆ-NIKIĆ, Marina, DIMITRIJEVIĆ, Raša, ILIĆ, Vladimir. Trend promena indikatora gojaznosti kod populacije muškaraca Beograda u funkciji uzrasta. U: DOPSAJ, Milivoj (ur.), JUHAS, Irina (ur.), KASUM, Goran (ur.). *Tematski zbornik radova = Proceedings of the Thematic Conference*. Beograd: Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja: = Faculty of Sport and Physical Education, 2013, str. 588-593, tabele, graf. prikazi. <http://phaidrabg.bg.ac.rs/o:5216>. [COBISS.SR-ID 514094252]

9. ROPRET, Robert, TOMIĆ, Miloš, RAKIĆ, Ivan, **PREBEG, Goran**. Asimetrija nogu kod skijaša = Lower limbs asymmetry in alpine skiers. U: NEDELJKOVIĆ, Aleksandar (ur.). *Zbornik radova = Conference Proceedings*. Beograd: Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja: = Faculty of Sport and Physical Education, 2014, str. 690-695. [COBISS.SR-ID 514532268]

10. MIHAJLOVIĆ, Natalija, MITIĆ, Dušan, **PREBEG, Goran**. Stanje kondicije učesnika dva letnja festivala rekreacije. U: BOKAN, Božo (ur.), RADISAVLJEVIĆ JANIĆ, Snežana (ur.). *Zbornik radova = Conference proceedings*. Beograd: Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja, 2012, str. 118-124, tabele. [COBISS.SR-ID 40568847]

11. **PREBEG, Goran Ž.** Team building - importance and application in the education of students as future managers. U: STOJILJKOVIĆ, Stanimir (ur.), DOPSAJ, Milivoj (ur.). The role of University sports in education and society - a platform for change : proceedings. Beograd: Faculty of Sport and Physical Education, 2009, str. 94-97. [COBISS.SR-ID 514047148]

➤ **Objavljeni sažetak naučnog izlaganja na konferenciji**

12. **PREBEG, Goran Ž.**, MIHAJLOVIĆ, Natalija, IVANOVSKI, Aleksandar, BADAU, Dana, MITIĆ, Dušan. Aerobic capacity of physical education students from Tigru Mures and Belgrade University. Acta Medica Marisiensis, ISSN 2068-3324, 2013, vol. 59, suppl. 2, str. [17]. [COBISS.SR-ID 514030252]

13. ROPRET, Robert, TOMIĆ, Miloš, RAKIĆ, Ivan, **PREBEG, Goran**. Asimetrija nogu kod skijaša = Lower limbs asymmetry in alpine skiers. U: NEDELJKOVIĆ, Aleksandar (ur.). Zbornik sažetaka = Book of Abstracts. Beograd: Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja: = Faculty of Sport and Physical Education, 2013, str. 158-159. [COBISS.SR-ID 514421932]

14. MIHAJLOVIĆ, Natalija, **PREBEG, Goran**, MITIĆ, Dušan. Speleologija kao oblik fizičke aktivnosti = Caving as a form of physical activity. U: DOPSAJ, Milivoj (ur.), JUHAS, Irina (ur.). Zbornik sažetaka = Book of Abstracts. Beograd: Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja: = Faculty of Sport and Physical Education, 2012, str. 36-37. [COBISS.SR-ID 514046380]

15. DOPSAJ, Milivoj, **PREBEG, Goran Ž.**, MACURA, Marija, ĐORĐEVIĆ-NIKIĆ, Marina, DIMITRIJEVIĆ, Raša, ILIĆ, Vladimir. Trend promena indikatora gojaznosti kod populacije muškaraca Beograda u funkciji uzrasta = A change trend in obesity indicators in Belgrade male population relative to age. U: DOPSAJ, Milivoj (ur.), JUHAS, Irina (ur.). Zbornik sažetaka = Book of Abstracts. Beograd: Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja: = Faculty of Sport and Physical Education, 2012, str. 161-162. [COBISS.SR-ID 514268844]

16. UYGUR, Mehmet, **PREBEG, Goran Ž.**, JARIĆ, Slobodan. Comparison of two commonly used methods of grip force calculation in static manipulation tasks. U: 9th Annual Biomechanics Research Symposium, April 23, 2012 : [book of abstracts]. Newark, Delaware: Center for Biomedical Engineering Resaerch, 2012, str. 11. [COBISS.SR-ID 514047916]

17. **PREBEG, Goran**, STOJILJKOVIĆ, Stanimir. Teretana na otvorenom kao model saradnje lokalne samouprave i Fakulteta = Outdoor gym as a model of cooperation between local self-government and the faculty. U: RADISAVLJEVIĆ JANIĆ, Snežana (ur.), MILANOVIĆ, Ivana (ur.), BOKAN, Božo (ur.). Zbornik sažetaka = Book of Abstracts. Beograd: Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja: = Faculty of Sport and Physical Education, 2011, str. 70-71. [COBISS.SR-ID 513294252]

18. MITIĆ, Dušan, IVANOVSKI, Aleksandar, **PREBEG, Goran**. Students camps as model of education of healthy lifestyle. U: KOVAČ, Marjeta (ur.), JURAK, Gregor

(ur.), STARC, Gregor (ur.). Book of abstracts. Ljubljana: Faculty of Sport, 2010, str. 156. [COBISS.SR-ID 512763564]

19. MITIĆ, Dušan, **PREBEG, Goran**. The role of Sport for all in national program of prevention, curing and control of cardiovascular diseases in Serbia till 2020. U: Move 2010 : European congress on sport for all and health : a strategic partnership : booklet. Frankfurt: [b.n.], 2010, str. 28. [COBISS.SR-ID 512742060]