

Univerzitet u Beogradu
Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja

Dragan B. Banićević

**EVALUACIJA BILATERALNIH
NAIZMENIČNIH UZASTOPNIH
MAKSIMALNIH KONTRAKCIJA KAO
ALTERNATIVNOG TESTA ZA PROCENU
NEUROMIŠIĆNE FUNKCIJE**

Doktorska disertacija

Beograd, 2013

University of Belgrade
Faculty of Sport and Physical Education

Dragan B. Banićević

**EVALUATION OF BILATERAL
ALTERNATING CONSECUTIVE
MAXIMUM CONTRACTIONS AS AN
ALTERNATIVE TEST OF
NEUROMUSCULAR FUNCTION**

Doctoral dissertation

Belgrade, 2013

Informacije o mentoru i članovima komisije

Mentor:

Dr Milivoj Dopsaj, vanredni profesor
Univerzitet u Beogradu
Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja
Blagoja Parovića 156
11030 Beograd
Srbija

Članovi komisije:

Dr Dragan Mirkov, vanredni profesor
Univerzitet u Beogradu
Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja
Blagoja Parovića 156
11030 Beograd
Srbija

Dr Dragan Radovanović, vanredni profesor
Univerzitet u Nišu
Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja
Čarnojevića 10A
18000 Niš
Srbija

Datum odbrane: __. __. 20___. godine

Predgovor

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

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

Materijal izložen u ovoj disertaciji jednim delom je zasnovan na rezultatima koji su objavljeni u časopisu od međunarodnog značaja verifikovanog posebnom odlukom (kategorija M24):

1. **Banicevic, D.**, Markovic, S., Knezevic, O., Nedeljkovic, A., Mirkov, D., Dopsaj, M., *Reliability and validity of bilateral alternating consecutive maximum contractions as a test of neuromuscular function: a pilot study*, *Serb J Sport Sci*, 6 (2012) 137-145.

Rezime

Evaluacija bilateralnih naizmeničnih uzastopnih maksimalnih kontrakcija kao alternativnog testa za procenu neuromišićne funkcije

U pojedinim oblastima kao što su: sport, fizičko vaspitanje, fizikalna terapija, rehabilitacija, ergonomija, neurologija i sl., veoma je važno da se na validan i pouzdan način proceni neuromišićna funkcija. Najčešće korišćen test za procenu neuromišićne funkcije je Standardni test jačine (STJ), za koji je utvrđeno da poseduje određene nedostatke. Pretpostavlja se da bi većina uočenih nedostataka mogla biti otklonjena, ukoliko bi se dizajnirao test zasnovan na istim, ili približno istim, neurofiziološkim mehanizmima, karakterističnim za svakodnevne kretne aktivnosti, kao što su: hodanje, trčanje, vožnja bicikla i sl. Nakon sprovedenog pilot istraživanja, dizajnirana je studija sa ciljem da se proverí ova pretpostavka. Tačnije, evaluiran je novi alternativni test za procenu neuromišićne funkcije, zasnovan na izvođenju naizmeničnih uzastopnih maksimalnih kontrakcija (NUMK) u uslovima bilateralne mišićne aktivnosti. Neuromišićna funkcija procenjena je kod 25 studenata. Za procenu neuromišićne funkcije korišćene su tri varijante iz dva različita testa (STJ i NUMK). Varijante testova su bile izvođene u uslovima Unilateralne, Bilateralne fazne (istovremena aktivnost istoimenih mišića u dva različita ekstremiteta; ekstenzori i ekstenzori) i Bilateralne antifazne mišićne aktivnosti (istovremena aktivnost raznoimenih mišića u dva različita ekstremiteta; ekstenzori i fleksori). Pored toga, procenjivan je, kako morfološki, tako i motorički status ispitanika, a na osnovu rezultata različitih motoričkih testova. Rezultati istraživanja pokazali su da se primenom Bilateralnih NUMK (fazna i antifazna varijanta) dobijaju stabilni profili sila i brzina razvoja sile. Pored toga, u obe varijante evaluiranog testa, dobijeni su pouzdani rezultati. Tačnije, između ponavljanih pokušaja zabeležen je visok stepen povezanosti i istovremeno odsustvo sistemskih razlika. Prilikom procene konkurentne validnosti, pokazano je da nešto veći stepen povezanosti sa STJ beleži varijanta testa Bilateralnih faznih NUMK, što je poredivo sa stepenom povezanosti koji sa STJ beleži varijanta testa Unilateralnih NUMK. Dalje, rezultati faktorske analize su pokazali da se primenom STJ procenjuje samo jedno svojstvo mišića, dok se primenom testa NUMK procenjuju dva različita svojstva. Eksterna validnost testa Bilateralnih NUMK je ostala na niskom nivou, uprkos pretpostavci da će je prisustvo neurofizioloških mehanizama, karakterističnih za bilateralnu mišićnu aktivnost, povećati. Konačno, dobijeni rezultati pokazuju da je fenomen bilateralnog deficita prisutan u primeni testa Bilateralnih NUMK. Tačnije, primenom varijante testa Bilateralnih faznih NUMK beleže se značajno manje i sile i brzine razvoja sile. Na osnovu dobijenih nalaza, može se zaključiti da je varijanta testa Bilateralnih faznih NUMK validna i pouzdana u proceni neuromišićne funkcije. Kao takva, mogla bi se preporučiti za dalju rutinsku primenu, s obzirom da su prednosti ove varijante u odnosu na STJ i nedavno evaluirani test Unilateralnih NUMK očigledne: (1) istovremena procena neuromišićne funkcije u četiri odvojene mišićne grupe, čime se smanjuje ne samo fizički, već i mentalni napor; (2) procena dva odvojena svojstva mišića: da ispolji maksimalnu silu i da maksimalnu silu ispolji maksimalno brzo; (3) značajno smanjenje ispoljenih sila, uz zadržavanje validnosti, što je značajno u testiranju posebnih grupa ispitanika, kao što su: rekovalescenti, starije osobe ili neurološki bolesnici; (4) naizmeničnost kontrakcija čime se značajno smanjuje izlaganje mišića dugotrajnim ekstremnim silama, što je karakteristično za STJ; (5) jednostavni protokol testiranja čime se smanjuje potreba za dugotrajnom familijarizacijom.

Summary

Evaluation of bilateral alternating consecutive maximum contractions as an alternative test of neuromuscular function

In the particular area, such as: sport, physical education, physical therapy, rehabilitation, ergonomics, neurology etc., it is of utmost importance to validly and reliably assess neuromuscular function. The most often used test for the assessment of neuromuscular function has been Standard strength test (SST), which has been determined to have particular shortcomings. It has been assumed that the most of noticed shortcomings could be removed if the test, based on the neurophysiological mechanisms similar to the ones that characterize everyday movement activities, would be designed. After the pilot study was conducted, the separate study has been designed in order to test this assumption. Specifically, the novel alternative test for the assessment of neuromuscular function, based on the alternating consecutive maximum contractions (ACMC) performed in the condition of bilateral muscle activity, has been evaluated. 25 students have been tested in order to assess their neuromuscular function. For this purpose, three separate variants of two different tests (SST & ACMC) have been used. The separate variants of the tests have been performed in the conditions of Unilateral, Bilateral in-phase (eg. the simultaneous activity of homonymous muscle within two different limbs; extensors & extensors) and Bilateral anti-phase muscle activity (eg. the simultaneous activity of heteronymous muscle within two different limbs; extensors & flexors). In addition, morphological and physical status of participants have been assessed, based on the results of different physical performance tests. The obtained results showed that the Bilateral ACMC (eg. in-phase and anti-phase variants) provide the stable force and rate of force developments profiles. Moreover, both variants of test provide reliable results. Specifically, it has been detected very high relationship between successive trials together with absence of systematic differences. When concurrent validity was assessed, the Bilateral in-phase ACMC showed slightly higher relationship with SST and it was comparable with the relationship obtained between Unilateral ACMC and SST. Further, the results of factor analysis showed that SST assesses only one muscle ability, while ACMC assess two separate muscle ability. The external validity of the Bilateral ACMC remained low, despite the assumption that it will be increased since the presence of different neurological mechanisms that characterized bilateral muscle activity. Finally, the obtained results indicate that the phenomenon of bilateral deficit exists when the test of Bilateral ACMC is applied. Specifically, when the variants of Bilateral in-phase ACMC is applied the recorded forces and rates of force development are significantly lower. Based on the obtained findings, it could be concluded that the variant of the Bilateral in-phase ACMC is valid and reliable test for the assessment of neuromuscular function. This variant could be further recommended for the routine application within standard test batteries since the advantages of this test are obvious: (1) simultaneous assessment of neuromuscular function within four different muscle groups, which decreases not only physical, but mental effort; (2) the assessment of two different muscle ability: to produce maximum muscle force and to produce it as fast as possible; (3) the significant decrease of the produced forces, which is important in the testing of particular groups of subjects, such as: the rehabilitants, elderly and neurological patients; (4) the alternations of contractions significantly decrease the exposure of muscle tissue to the long-lasting extremely high forces, which characterized SST; (5) simple testing protocols decrease the need for long-lasting familiarization procedures.

Pregled skraćenica

$^{\circ}$ - stepen ugla

μamp – mikro amper

1 RM – test jednog ponavljajućeg maksimuma

10 m – test sprinta na 10 m iz visokog starta

20 m – test sprinta na 20 m iz letećeg starta

b – alometrijski eksponent

BI – bilateralni

BMI – body-mass indeks

BRS – brzina razvoja sile

BRSmax – maksimalna brzina razvoja sile

BSS – brzina smanjenja sile

BSSmax – maksimalna brzina smanjenja sile

CI – interval pouzdanosti

cm – centimetar (jedinica mere za dužinu)

CNS – centralni nervni sistem

CV – koeficijent varijacije

Dom – dominantna noga

EXT – ekstenzor

FLX – fleksor

Fmax – maksimalna sila

g – gravitaciona sila

h – visina

H – visina tela

Hz – Herc

IC – infra-crveni zraci

ICC – intraklasni korelacioni koeficijent

kg – kilogram (jedinica mere za težinu)

M – masa tela

m – metar (jedinica mere za dužinu)
Marg – Margarija test
MAX – maksimalna vrednost
MIN – minimalna vrednost
MPowO – test maksimalne snage mišića u skoku iz polučučnja sa opterećenjem
ms – milisekunda (jedinica mere za vreme)
MSM – masa skeletnih mišića
MTM – masa telesnih masti
N – Njutn (jedinica mere za silu)
Ndom – nedominantna noga
NUMK – naizmenične uzastopne maksimalne kontrakcije
p – nivo statističke značajnosti
PVS – prirodni vertikalni skok
R – Pirsonov koeficijent korelacije
s – sekunda (jedinica mere za vreme)
SD – standardna devijacija
SEM – standardna greška merenja
STJ – standardni test jačine
SV – srednja vrednost
SVS – skok uvis nakon saskoka
T – izmereno vreme
UMK – uzastopne maksimalne kontrakcije
UNI – unilateralni
VS – vrh sile
VSČ – vertikalni skok iz polučučnja
W – ispoljena snaga (jedinica mere)

Sadržaj

Informacije o mentor i članovima komisije.....	i
Predgovor.....	ii
Rezime.....	iii
Summary.....	iv
Pregled skraćenica.....	v
1. Uvod.....	1
1.1 Ljudsko kretanje i mišićna aktivnost.....	2
1.1.1 Svakodnevni kretni zadaci i šeme mišićne aktivacije.....	2
1.1.2 Neurofiziološki mehanizmi pri brzom razvoju sile mišića.....	3
1.2 Procena neuromišićne funkcije.....	5
1.2.1 Standardni test jačine (STJ).....	6
1.2.1.1 Pouzdanost Standardnog testa jačine (STJ).....	8
1.2.1.2 Validnost Standardnog testa jačine (STJ).....	8
1.2.1.3 Osetljivost Standardnog testa jačine (STJ).....	9
1.2.1.4 Nedostaci Standardnog testa jačine (STJ).....	10
1.2.2 Alternativni testovi za procenu neuromišićne funkcije.....	13
1.2.2.1 Uzastopne maksimalne kontrakcije (UMK).....	14
1.2.2.2 Naizmenične uzastopne maksimalne kontrakcije (NUMK).....	16
1.3 Bilateralna mišićna aktivnost.....	18
1.3.1 Bilateralni deficit.....	19
1.3.2 Neurofiziološki mehanizmi pri bilateralnoj mišićnoj aktivnosti.....	22
1.4 Pilot istraživanje.....	25
1.4.1 Problem, predmet, ciljevi i zadaci pilot istraživanja.....	26
1.4.2 Hipoteze pilot istraživanja.....	27
1.4.3 Metode pilot istraživanja.....	28
1.4.4 Rezultati pilot istraživanja sa diskusijom.....	32
2. Problem, predmet, ciljevi i zadaci istraživanja.....	43
3. Hipoteze istraživanja.....	45
4. Metode istraživanja.....	46
4.1 Tok i postupci istraživanja.....	46
4.2 Uzorak ispitanika.....	47

4.3	Uzorak varijabli i način njihovog merenja.....	47
4.3.1	Procena morfološkog statusa.....	48
4.3.2	Procena neuromišićne funkcije.....	49
4.3.3	Procena motoričkog statusa.....	55
4.4	Statistička obrada podataka.....	62
5.	Rezultati istraživanja.....	65
5.1	Karakteristike uzorka.....	65
5.2	Pouzdanost testa Naizmeničnih uzastopnih maksimalnih kontrakcija (NUMK).....	66
5.3	Konkurentna validnost testa Naizmeničnih uzastopnih maksimalnih kontrakcija (NUMK).....	70
5.4	Latentna struktura motoričkog prostora procenjivana primenom testa Naizmeničnih uzastopnih maksimalnih kontrakcija (NUMK).....	75
5.5	Eksterna validnost testa Naizmeničnih uzastopnih maksimalnih kontrakcija (NUMK).....	80
5.6	Bilateralni deficit u testu Naizmeničnih uzastopnih maksimalnih kontrakcija (NUMK).....	83
6.	Diskusija rezultata istraživanja sa zaključcima.....	86
6.1	Karakteristike uzorka.....	86
6.2	Pouzdanost testa Naizmeničnih uzastopnih maksimalnih kontrakcija (NUMK).....	88
6.3	Konkurentna validnost testa Naizmeničnih uzastopnih maksimalnih kontrakcija (NUMK).....	90
6.4	Latentna struktura motoričkog prostora procenjivana primenom testa Naizmeničnih uzastopnih maksimalnih kontrakcija (NUMK).....	92
6.5	Eksterna validnost testa Naizmeničnih uzastopnih maksimalnih kontrakcija (NUMK).....	96
6.6	Bilateralni deficit u testu Naizmeničnih uzastopnih maksimalnih kontrakcija (NUMK).....	98
7.	Značaj istraživanja.....	101
	Literatura.....	103
	Prilog 1: Naslovna strana originalnog naučnog rada objavljenog na osnovu rezultata istraživanja (kategorija M24).....	118
	Prilog 2: Saglasnost Etičke komisije Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja za realizaciju istraživanja.....	119
	Prilog 3: Fotografije ispitanika tokom testiranja.....	120
	Biografija autora.....	121

1. Uvod

Procena neuromišićne funkcije je izuzetno važan i često nezaobilazan detalj u okviru najrazličitijih oblasti ljudskog delovanja, kao što su: sport i fizičko vaspitanje, fizikalna terapija, rehabilitacija, ergonomija, neurologija (Abernethy i sar. 1995; Wilson i Murphy 1996; Rainoldi i sar. 2001; Aasa i sar. 2003; Weir 2005). Naime, u neurologiji se procena neuromišićne funkcije koristi u cilju dijagnostifikovanja različitih neuroloških oboljenja u ranoj fazi njihovog razvoja. Dalje, procenom neuromišićne funkcije može se detektovati i narušena ravnoteža u funkcionisanju antagonističkih mišićnih grupa, kao jedan od najizraženijih faktora rizika od povreda. Konačno, u sportu i rehabilitaciji se efikasnost različitih trenažnih, odnosno rehabilitacionih procedura, procenjuje na osnovu promena neuromišićne funkcije izazvanih njihovom primenom. U sportu i fizičkom vaspitanju se na osnovu procene neuromišićne funkcije vrši još i poređenje između pojedinaca ili grupa, odnosno identifikacija talenata u procesu selekcije (Abernethy i sar. 1995; Wilson i Murphy 1996; Ugarkovic i sar. 2002; Jaric 2002; Jaric i sar. 2005).

Jedan od najčešće primenjivanih testova za procenu neuromišićne funkcije (ili jednostavnije rečeno samo mišićne funkcije) je zasigurno Standardni test jačine (STJ), zasnovan na produženoj maksimalnoj voljnoj kontrakciji izabrane mišićne grupe (Abernethy i sar. 1995). STJ se odlikuje ne samo visokom pouzdanošću i očiglednom validnošću, već i jednostavnim protokolom testiranja i korišćenjem relativno jeftine i lako dostupne opreme. Ipak, pored očiglednih prednosti u primeni STJ, sve češće se u različitim studijama ukazuje na njegove brojne nedostatke (Suzovic i sar. 2008; Bozic i sar. 2011; Bozic i sar. 2012).

Neki od novopredloženih testova za procenu neuromišićne funkcije, čija je evaluacija rađena u okviru nekoliko nedavnih studija (Suzovic i sar. 2008; Bozic i sar. 2011; Bozic i sar. 2012), a koji su imali za cilj da otklone pojedine nedostatke STJ, zasnivali su se na uzastopnim maksimalnim kontrakcijama. Nakon inicijalne studije u okviru koje su evaluirane jednosmerne uzastopne maksimalne kontrakcije (Suzovic i sar. 2008), prešlo se na evaluaciju dvosmernih, odnosno naizmeničnih uzastopnih maksimalnih kontrakcija u okviru kojih su istovremeno testirane dve mišićne grupe (agonisti i antagonisti; Bozic i sar. 2011; Bozic i sar. 2012). Pokazano je da obe

varijante novopredloženog testa u izvesnoj meri otklanjaju nedostatke STJ. Ipak, iako je eksterna validnost druge varijante novopredloženog testa zasnovanog na naizmeničnim uzastopnim maksimalnim kontrakcijama u određenoj meri povećana u odnosu na STJ, a delom i u odnosu na prvu varijantu, zasnovanoj na jednosmernim uzastopnim maksimalnim kontrakcijama, slobodnog prostora za iznalaženje potencijalno nove varijante još uvek ima. Pretpostavka je da bi se eksterna validnost mogla dodatno povećati u okviru nove varijante, ukoliko bi se šema mišićne aktivacije, zajedno sa neurofiziološkim mehanizmima koji je prate, još više približila realnim uslovima u izvođenju svakodnevnih kretnih zadataka (hodanje, trčanje, skokovi, vožnja bicikla i sl.). Pored toga, mogućnost istovremenog testiranja više od dve mišićne grupe uz zadržavanje metrijskih karakteristika novopredloženog testa na odgovarajućem nivou, predstavlja još jedan od mogućih prostora za dalja poboljšanja.

1.1 Ljudsko kretanje i mišićna aktivnost

Svoje voljno kretanje, čovek vrši sinhronizovanom kontrolom serije pojedinačnih pokreta. Svaki pojedinačni pokret nastaje kao rezultat ispoljavanja sile mišića, koji preko svog pripoja na kosti, obrću kost oko centra rotacije (zgloba). Ispoljavanje sile mišića direktno je pod kontrolom nervnog sistema. Različita nervna aktivnost proizvodi različitu aktivaciju pojedinih mišića, kao i različit redosled aktivacije pojedinih grupa mišića. Konačno, u različitim svakodnevnim kretnim zadacima prisutne su različite šeme mišićne aktivacije.

1.1.1 Svakodnevni kretni zadaci i šeme mišićne aktivacije

Jedan mišić čini veći broj mišićnih vlakana. Mišićno vlakno ispoljava silu kada do njega, duž nervnog vlakna koje ga inerviše, pristigne akcioni potencijal. Akcioni potencijal se u nervnom vlaknu javlja usled aktivacije alfa-motoneurona, do koje dolazi kao posledica refleksne aktivnosti nižih, odnosno voljne aktivnosti viših nivoa centralnog nervnog sistema (CNS). Jedan alfa-motoneuron inerviše veći broj mišićnih vlakana i svi zajedno čine jednu motornu jedinicu. U jednom mišiću ima veći broj

motornih jedinica. Redosled i obim njihovog uključivanja zavise od ukupne sile koju mišić ispoljava. U uslovima ispoljavanja manjih sila broj aktiviranih motornih jedinica je ograničen. Prvo se regrutuju motorne jedinice s niskim pragom aktivacije i niskom frekvencijom pražnjenja. Kada se sila koju mišić ispoljava tokom kontrakcije dodatno poveća, aktiviraju se dodatne motorne jedinice koje imaju veću frekvenciju pražnjenja. Motorne jedinice koje su ranije uključene sporije povećavaju frekvenciju pražnjenja s povećanjem sile kontrakcije, dok kasnije uključene motorne jedinice brže povećavaju frekvenciju pražnjenja i silu kontrakcije. Osim toga, na brzinu ispoljavanja sile utiče i struktura mišića, tačnije odnos sporih i brzih mišićnih vlakana unutar samog mišića.

Kao što je već rečeno, šema mišićne aktivacije unutar različitih svakodnevnih kretnih zadataka može biti različita. Na primer, održavanje različitih položaja prilikom podizanja teškog tereta zahteva ispoljavanje velike mišićne sile koja se relativno sporo dostiže. Međutim, brojna kretanja su bazirana na relativno kratkim aktivnostima odgovarajućih mišićnih grupa (brzi pojedinačni pokreti ili posturalne korekcije) ili naizmeničnim aktivacijama antagonističkih mišićnih grupa (hodanje, trčanje, bacanje, šutiranje). Potrebno vreme za izvođenje većine ovih pokreta je ograničeno i često je jednako trajanju eksplozivnih radnji (50-250 ms; Kukolj i sar. 1999; van den Bogert i sar. 2002; Domkin i sar. 2005; Aura i Viitasalo 1989; Takei 1990; Mero i sar. 1992). Takođe, veoma kratke vremenske intervale u ispoljavanju relativno velikih sila mišića od približno 170 ms, imamo prilikom prevencije pada kod neurološki zdravih osoba (van den Bogert i sar. 2002). Sa druge strane, kod osoba obolelih od Parkinsonove bolesti vreme nepohodno da se brzo razvije sila, dovoljna da spreči pad, znatno je produženo. Zbog ograničenog trajanja većine prirodnih pokreta, osim maksimalne sile i brzina njenog razvoja predstavlja značajnu sposobnost mišića od koje zavisi ljudsko kretanje.

1.1.2 Neurofiziološki mehanizmi pri brzom razvoju sile mišića

Kao što je već ranije napomenuto, sila mišića tokom maksimalne voljne kontrakcije zavisi od nervne aktivnosti, ali isto tako i od veličine poprečnog preseka mišić (Wilson i Murphy 1996), morfologije (Narici i sar. 1996) i tipa mišićnih vlakana

(Harridge i sar. 1996). Bez obzira na to, mišić svoju maksimalnu napetost ne ostvaruje trenutno, već u određenom vremenskom intervalu tokom koga, zavisno od nervne aktivnosti, brzina razvoja sile (gradijent sile) može biti manja ili veća, utičući time i na ostvareni maksimum sile. Maksimalna brzina razvoja sile (BRS_{max}) u velikoj meri je povezana sa neuralnim faktorima kao što su: veća inicijalna frekvencija pražnjenja motoneurona (Pijnappels i sar. 2005), povećani broj dvostrukih akcionih potencijala (eng. „*discharge doublets*“; dva akciona potencijala koji su vremenski razdvojeni manje od 5 ms; videti van den Bogert i sar. 2002) i pojavljivanje premotornog perioda tišine odmah pre brze kontrakcije (Conrad i sar. 1983; Mortimer i sar. 1987; Aoki i sar. 1989). Kao i maksimalna sila mišića, i maksimalna brzina razvoja sile zavisi od nekoliko faktora, koji nisu nužno u vezi sa nervnom aktivnošću, a koji se odnose na: silu mišića (Mirkov i sar. 2004), površinu poprečnog preseka (Aagaard i sar. 2002), tip mišićnih vlakana (Harridge i sar. 1996) ili visko-elastična svojstva mišićno-tetivnog aparata (Bojsen-Moller i sar. 2005).

Kao što je već rečeno, šema neuralne aktivacije značajna je kako za ispoljavanje maksimalne sile, tako i za brzinu njenog razvoja. Na veličinu ispoljene sile utiče broj aktivnih motornih jedinica (Bodine i sar. 1987; Kanda i Hashizume 1992; van Cutsem i Duchateau 2005), ali isto tako i frekvencija pražnjenja alfa-motoneurona, odnosno brzina kojom akcioni potencijali pristižu u mišićno vlakno (tetanusna kontrakcija), što dodatno utiče i na brzinu razvoja sile mišića (Fuglevand i sar. 1999; Macefield i sar. 1996; Totosy de Zepetnek i sar. 1992).

Razvoj sile u sporim kontrakcijama se vrši regrutacijom novih motornih jedinica. Ona se vrši prema Henelmanovom principu (poznat i kao princip veličine), koji podrazumeva uključivanje prvo manjih, pa tek onda i većih motornih jedinica. Pri nivoima sile bliskim maksimalnim, dodatno povećanje sile ostvaruje se na račun povećanja frekvencije pražnjenja alfa-motoneurona aktivnih motornih jedinica (de Luca i sar. 1982; Kukulka i Clamann 1981; Milner-Brown i sar. 1973; Tanji i Kato 1973). Ipak, nalazi pojedinih studija, relativizuju ulogu regrutacije i brzine pražnjenja alfa-motoneurona, s obzirom da se njihovi obrasci razlikuju u odnosu na specifičnost različitih kretnih aktivnosti (za detalje videti Enoka i Fuglevand 2001).

Sa druge strane, šema neuralne aktivacije brzih kontrakcija se razlikuje donekle od one u sporim kontrakcijama, odnosno kada je razvoj sile postepen. Naime, brze kontrakcije karakteriše visok trenutni nivo pražnjenja motornih neurona, koji se smanjuje prilikom njihovog uzastopnog uključivanja (Desmedt i Godaux 1977; van Cutsem i Duchateau 2005). Prema tome, ispoljavanje sile u brzim kontrakcijama zavisi u velikoj meri od neuralne aktivacije mišićnih vlakana na samom početku kontrakcije (de Ruyter i sar. 2004; de Ruyter i sar. 2006). Veća inicijalna frekvencija pražnjenja se delimično postiže povećanim brojem dvostrukih akcionih potencijala (Burke i sar. 1976; Miller i sar. 1981), kao i produžavanjem premotornog perioda tišine neposredno pre brze kontrakcije za koji se veruje da sinhronizuje pražnjenje motornih jedinica (Conrad i sar. 1983; Mortimer i sar. 1987; Aoki i sar. 1989) doprinoseći, na taj način, većim maksimumima sila u uzastopnim fazama kontrakcije.

Pored neurofizioloških razlika između brzih i sporih mišićnih kontrakcija, Anderson i Aagaard (2006) su pokazali da čak i eksplozivni zadaci sa različitim vremenom trajanja mogu biti pod uticajem različitih neuralnih i fizioloških mehanizama. Takođe, naizmenične i uzastopne aktivacije mišića agonista i antagonista tokom cikličnih pokreta i kretanja uključuju dodatne mehanizme za koje se veruje da regulišu mišićnu ekscitaciju tokom tih aktivnosti i koji čine šemu neuromišićne aktivacije još složenijom (npr. centralni generator pokreta i recipročna inhibicija; Latash 2008).

Uključenost različitih neurofizioloških mehanizama u okviru različitih pojava oblika ispoljavanja sile mišića, kao što su: razvoj i održavanje maksimalne sile, razvoj sile maksimalnom brzinom, kao i brza naizmenična aktivacija mišića agonista i antagonista, dovodi do potreba dizajniranja različitih metoda za procenu različitih pojava oblika ispoljavanja sile (Bemben i sar. 1990; Sahaly i sar. 2001).

1.2 Procena neuromišićne funkcije

Procena neuromišićne funkcije predstavlja osnovno polazište u mnogim oblastima ljudskog delovanja, koje za osnovu imaju izvođenje kretanja. U sportu, procena neuromišićne funkcije vrši se kako bi se obezbedili normativi za pojedine

sportske discipline (tzv. „sportsko profilisanje“; Agre i sar. 1988; Taylor i sar. 1991; Wisloff i sar 1998; Jaric i sar. 2002), definisale razlike u performansama sportista različitog takmičarskog nivoa (Fry i Morton 1991; Taylor i sar. 1991; Cometti i sar. 2001; Ivanovic i Dopsaj 2013), ili procenili efekti fizičkog vežbanja ili programa atletskog treninga (Fry i Morton 1991; Abernethy i sar. 1994; Murphy i Spinks 2000; Kraemer i sar. 2001; Matavulj i sar. 2001).

U ergonomiji, procena neuromišićne funkcije vrši se kako bi se odredili kriterijumi za selekciju pri zapošljavanju na određene poslove sa specifičnim fizičkim zahtevima (policija, vojska, vatrogasna služba, rudarstvo i sl.; Stevenson i sar. 1996; Mathiassen 1999).

U medicini, procena neuromišićne funkcije vrši se kako bi se ustanovili normativi za zdravu populaciju (Andrews i sar. 1996; Beenakker i sar. 2001), procenili rezultati operativnih i terapijskih tretmana (Pfeifer i Banzer 1999; Reuter i sar. 1999) ili odredio stepen rizika od povređivanja ili zdravstvenih problema (Fleck i Falkel 1986; Magnusson i sar. 1995; Takala i Viikari-Juntura 2000).

Zajedničko za sportske, ergonomske i medicinske studije je da se na osnovu procene mišićne funkcije vrši posredna procena funkcionalnih performansi kretanja (Imrhan 1994; Akesson i sar. 1997; Kraemer i sar. 2000; Takala i Viikari-Juntura 2000; Kwon i sar. 2001). Veza između maksimalne jačine aktivne mišićne grupe i izabrane performanse kretanja (brzina trčanja, visina skoka, snaga kod vožnje bicikla ili trčanja uz stepenice) često se označava kao eksterna (spoljašnja) validnost testa za procenu neuromišićne funkcije (Abernethy i sar. 1995; Wilson i Murphy 1996; Marcora i Miller 2000). Najčešće korišćeni test za procenu neuromišićne funkcije jeste tzv. Standardni test jačine (STJ).

1.2.1 Standardni test jačine (STJ)

Standardni test jačine (STJ) je baziran na produženoj maksimalnoj voljnoj kontrakciji izabrane mišićne grupe koja se izvodi u izometrijskim uslovima (Abernethy i sar. 1995; Jaric 2002; Sale 1991; Wilson i Murphy 1996; Dopsaj i Ivanovic 2011). U okviru STJ se korišćenjem sonde dinamometra, ili izokinetičkog dinamometra, na način

da je obezbeđen standardizovani položaj segmenata, beleži promena sile u vremenu. Naknadnom analizom zabeležene krive, izračunavaju se dve najčešće zavisne varijable STJ, a to su: maksimalna sila (F_{max}) i maksimalna brzina razvoja sile (BRS_{max}). F_{max} se obično dostiže nakon 3-5 s maksimalne kontrakcije. Smatra se da STJ ima očiglednu validnost, s obzirom na pretpostavljenu sličnost sa maksimalnom silom koju mišić može da ostvari u različitim kretnim zadacima (Abernethy i sar. 1995; Jaric 2002; Sahaly i sar. 2001). Sa druge strane, BRS_{max} predstavlja maksimalnu vrednost prvog izvoda računatog iz zabeležene krive sile u vremenu, odnosno predstavlja tačku najvećeg nagiba te krive (Andersen i Aagaard 2006; Mirkov i sar. 2004). Očigledna validnost BRS_{max} zasnovana je na činjenici da je vreme vršenja eksplozivnih i brzih pokreta i kretanja ili posturalnih korekcija, znatno kraće od vremena koje je potrebno za dostizanje F_{max} (Andersen i Aagaard 2006; Holtermann i sar. 2007; Mirkov i sar. 2004). Značaj procene BRS_{max} ogleda se u činjenici da je vreme neophodno da se dostigne određeni nivo sile u pojedinim sportskim, ali i različitim svakodnevnim aktivnostima, često od presudne važnosti (Wilson i Murphy 1996; Paasuke i sar. 2001; Ugarkovic i sar. 2002). Uzimajući implicitno i moguće efekte dimenzije mišića, pojedini autori prikazuju BRS_{max} po jedinici postignute mišićne jačine (BRS_{max}/F_{max} ; Sahaly i sar. 2001; Aagaard i sar. 2002). BRS_{max} je najčešće dobijan iz istih pokušaja kao i F_{max} (Wilson i Murphy 1996; Sahaly i sar. 2001), što se može smatrati metodološkim nedostatkom, s obzirom na činjenicu da se maksimalna sila ostvaruje tokom produžene maksimalne kontrakcije u okviru koje bi prirast sile trebalo da bude postepen.

Pored BRS_{max} u brojnim radovima predlažu se alternativni testovi za procenu brzine razvoja sile. Na primer, pojedini autori procenjuju brzinska svojstva mišića vremenom proteklom između dva dostignuta nivoa sile, pri čemu se nivoi određuju relativno u odnosu na F_{max} (npr. vreme proteklo između 30-70% od F_{max} ; Mirkov i sar. 2004; Sleivert i Wenger 1994; Gorostiaga i sar. 1999). Suprotno tome, brzinska svojstva mišića mogu se procenjivati i na osnovu nivoa sile zabeleženog nakon određenog vremenskog intervala (sila nakon 100 ms, 180ms i 250 ms; Mirkov i sar. 2004; Wilson i Murphy 1996; Izquierdo i sar. 1999; Ivanovic, Dopsaj i sar. 2011).

1.2.1.1 Pouzdanost Standardnog testa jačine (STJ)

Pouzdanost, kao metrijska karakteristika testa, odnosi se na doslednost u merenju, odnosno na mogućnost dobijanja istih, ili približno istih rezultata u ponovljenim merenjima. Standardni test jačine (STJ) pokazano je da ima visoku pouzdanost u ponovljenim merenjima (tzv. test-retest pouzdanost). Dosadašnja istaživanja koja su se bavila evaluacijom STJ, pokazala su visoke koeficijent korelacije, kada je ispitivana povezanost Fmax zabeležena u ponavljanim pokušajima ($0,85 < R < 0,99$; Kroll i sar. 1980; Viitasalo i sar. 1981; Agre i sar. 1987; Bembem i sar. 1992; Wilson i sar. 1993; Mirkov i sar. 2004; Blazevic i sar. 2002). Sa druge strane, istraživanja su pokazala nešto manju pouzdanost BRSmax, ali ipak još uvek zadovoljavajuću ($0,76 < R < 0,98$; Bembem i sar. 1992; Strass, 1991; Viitasalo i sar. 1981; Mirkov i sar. 2004), mada je bilo i istraživanja u kojima je pouzdanost bila slabija ($0,55 < R < 0,94$; Christ i sar., 1994). Poboljšanjem protokola testiranja (bolja kontrola aktivnosti testiranog mišića na osnovu smanjena uticaja kompenzatornih mišića) povećava se pouzdanost STJ. Dalje, topološki posmatrano, znatno niži koeficijenti pouzdanosti zabeleženi su za noge ($0,20 < R < 0,96$) u odnosu na ruke ($0,86 < R < 0,99$; Agre i sar. 1987). Na pouzdanost merenih varijabli u okviru STJ može uticati veći broj različitih faktora, kao što su: tip instrukcije (Bembem i sar. 1990; Bembem i sar. 1992) i pozicija ispitanika (Sale 1991). Generalni zaključak je da se standardizacijom protokola testiranja, odnosno što boljom kontrolom uslova testiranja, ostvaruje veća pouzdanost STJ.

1.2.1.2 Validnost Standardnog testa jačine (STJ)

Validnost, kao jedna od najvažnijih metrijskih karakteristika testa, pokazuje da li test meri ono čemu je namenjen i u kom stepenu. Standardni test jačine (STJ) poseduje očiglednu validnost u pogledu procene neuromišićne funkcije. Pored toga, njegova eksterna (spoljašnja) validnost procenjivana je nizom studija u okviru kojih je ispitivan stepen povezanosti između varijabli STJ, sa jedne, i različitih morfoloških i motoričkih varijabli, sa druge strane. U pogledu morfoloških karakteristika mišića, pojedine varijable STJ pokazuju različit stepen povezanosti sa pojedinim strukturalnim

karakteristikama mišića. Tako, na primer, Fmax značajno korelira sa obimom ili površinom poprečnog preseka (Hakkinen i sar. 1986; Hakkinen i Keskinen 1989; Ikai i Fukunaga 1968). Sa druge strane, u različitim studijama je pokazano postojanje različite povezanosti Fmax i procenta brzih vlakana u mišiću (za pregled videti Wilson i Murphy 1996). Zbog toga se smatra da je za procenu strukture mišića, odnosno procenta brzih mišićnih vlakana u njemu, validnije koristiti drugu najčešće korišćenu varijablu STJ, a to je BRSmax (Viitasalo i sar. 1981; Viitasalo i Komi 1978). Promene u Fmax zavise više od veličine mišićnih vlakana, a ne od njihove strukture.

Sa druge strane, u proceni povezanosti varijabli STJ i pokazatelja brzinsko-snažnih svojstava mišića (merenih primenom različitih motoričkih testova), dobijane su niske (Abernethy i sar. 1995; Driss i sar. 1998; Kukolj i sar. 1999; Paasuke i sar. 2001; Jaric 2002; Jaric i sar. 2002; Ugarkovic i sar. 2002; Anderson i Aagaard 2006) do umerene korelacije (Jaric i sar. 1989; Paasuke i sar. 2001; Wisloff i sar. 2004). Jedno od objašnjenja izostanka većih korelacija može se naći u činjenici da većina dinamičkih eksplozivnih aktivnosti traju veoma kratko (do 300 ms), za razliku od Fmax čiji dostizanje zahteva znatno duži vremenski period (3-5 s; Wilson i Murphy 1996). Zbog toga se pretpostavilo da bi BRSmax mogao imati znatno veću povezanost sa navedenim aktivnostima. Ipak, iznenađujući su nalazi koji upućuju na malu povezanost između BRSmax i rezultata zabeleženog u vertikalnom skoku (Young i Bilby 1993). Jedan od mogućih razloga bi mogao predstavljati neki od metodoloških nedostataka STJ, o kojima će se više diskutovati u daljem testu.

1.2.1.3 Osetljivost Standardnog testa jačine (STJ)

Osetljivost, kao metrijska karakteristika testa, odnosi se na mogućnost ustanovljavanja jasnih razlika između pojedinih populacija ispitanika, kao i na mogućnost procene efekata trenažnih ili rehabilitacionih procedura na osnovu rezultata ponovljenih testiranja. Nalazi dosadašnjih studija pokazuju da treninzi usmereni na razvoj jačine (savladavanje velikih opterećenja pri malim brzinama izvođenja), kao i treninzi usmereni na razvoj maksimalne snage (savladavanje umerenih opterećenja pri velikim brzinama pokreta) izazivaju različite promene Fmax i BRSmax (Hakkinen i sar.

1985a; Hakkinen i sar. 1985b; Hakkinen i Komi 1985a; Hakkinen i Komi 1985b). Tačnije, trening jačine izaziva značajnije promene kod F_{max} , dok, sa druge strane, trening snage izaziva značajnije promene BRS_{max} (Hakkinen i sar. 1985a; Hakkinen i Komi 1985a; Hakkinen i Komi 1985b). Međutim, bilo je i nalaza pojedinih studija u kojima promene izazvane primenjenim treningom, kao i promene nastale netreniranjem nisu bile praćene promenama odgovarajućih varijabli STJ (Komi i sar. 1982; Fry i sar. 1994).

Većina sportista koji u treningu godinama primenjuju najveća opterećenja imaju smanjenu sposobnost brzog razvoja sile, za razliku od sportista koji u treningu i takmičenjima primenjuju manja opterećenja i izvode aktivnosti maksimalnom brzinom (za detalj videti McGuigan i Ratamess 2003). Međutim, dobijeni su različiti nalazi kada su se rezultati STJ koristili za potrebe profilisanja sportista, kao i za diskriminativnu analizu između različitih grupa sportista, a u odnosu na rang takmičenja, pol i sl. Pojedine studije pokazale su da je STJ dovoljno osetljiv da utvrdi postojanje razlika između različitih populacija ispitanika, međutim u pojedinim studijama, STJ nije ukazao na razlike između pojedinih grupa ispitanika za koje je unapred pretpostavljeno da postoje (za detalje videti Willson i Murphy 1996). Mogući razlozi nedovoljne osetljivosti STJ se, kao i kod smanjene validnosti, mogu objasniti prisustvom pojedinih metodoloških nedostataka, o kojima će se više diskutovati u daljem tekstu.

1.2.1.4 Nedostaci Standardnog testa jačine (STJ)

Iako se često koristi, kako u rutinskim testiranjima, tako i u laboratorijskim istraživanjima, Standardni test jačine (STJ) ima nekoliko značajnih nedostataka i ograničenja, kao što su:

- Šema neuralne aktivacije se razlikuje za brze kontrakcije (Desmedt i Godaux 1977; van Cutsem i sar. 1998) i kontrakcije u kojima se sila postepeno povećava (Enoka i Fuglevand 2001). S obzirom da je STJ zasnovan na relativno sporim, maksimalnim kontrakcijama, one nisu u mogućnosti da prate šemu neuralne aktivacije karakterističnu za brzo razvijanje sile, koja može biti značajna za

- motorne zadatke ograničenog trajanja (hodanje, trčanje, korigovanje položaja; Holtermann i sar. 2007; Mirkov i sar. 2004; Pijnappels i sar. 2005).
- STJ nije zasnovan ni na nerualnim mehanizmima za koje se veruje da su u velikoj meri odgovorni za mišićnu ekscitaciju tokom cikličnih aktivnosti (npr. centralni generator pokreta i recipročna inhibicija; Latash 2008). Navedene činjenice dovode u sumnju validnost varijabli STJ kada se koriste za procenu sposobnosti za izvođenje brzih diskretnih i cikličnih kretanja (npr. trčanje, vožnja bicikla, plivanje, skakanje, bacanje šutiranje, posturalne korekcije i sl.).
 - Prema već navedenim razlikama u šemi neuralne aktivacije između brzih i sporih mišićnih kontrakcija, ne bi bilo iznenađujuće da instrukcije „da se razvije maksimalna sila“ i „da se maksimalna sila razvije što brže“ različito utiču na varijable STJ – Fmax i BRSmax (Bemben i sar. 1990; Sahaly i sar. 2001). Zbog toga se javlja potreba za korišćenjem odvojenih serija u pokušaju da se što validnije proceni Fmax i BRSmax.
 - Imajući u vidu da se generalno preporučuje 5-6 uzastopnih pokušaja za testiranje svake mišićne grupe, i to samo kad se procenjuje Fmax, treba obratiti pažnju na zamor koji se javlja zbog relativno dugog trajanja svakog ponavljanja (Andersen i Aagaard 2006; Wilson i Murphy 1996). Prema tome, izvođenje ukupno 10-12 ponavljanja za procenu Fmax i BRSmax, ukoliko se testiraju odvojeno (pogledati prethodni paragraf), verovatno može izazvati zamor, čak i kada se primenjuju relativno dugi periodi oporavka između uzastopnih ponavljanja. Konačno, ukupan broj ponavljanja mogao bi da bude i veći zbog duže familijarizacije za pokušaje u kojima se zahteva brzi razvoj sile, u odnosu na pokušaje u kojima se zahteva maksimalni razvoj sile (Sahaly i sar. 2001; Wilson i Murphy 1996).
 - Iako se uopšteno smatra da Fmax i BRSmax oslikavaju različite funkcionalne osobine testiranih mišića i da njihov značaj nije isti za izvođenje različitih pokreta (Passuke i sar. 1999; Pryor i sar. 1994; Ugarkovic i sar. 2002; za pregled videti Wilson i Murphy 1996), nedostaju još uvek eksperimentalni podaci koji bi na osnovu povezanosti između Fmax i BRSmax potvrdili ovu pretpostavku (Wilson i Murphy 1996). Naime, mada je nekoliko istraživanja pokazalo

pozitivnu vezu između njih (Mirkov i sar. 2004), posebno za BRSmax zabeležen u kasnijoj fazi (Aagaard i sar. 2002), dostupni podaci ostaju uglavnom nepostojani (Wilson i Murphy 1996; Holtermann i sar. 2007). Pored toga, i davanje različitih instrukcija može različito uticati na vrednosti Fmax i BRSmax (Bemben i sar. 1990; Sahaly i sar. 2001). Kao posledica, ostaje do kraja nejasno, u kojoj meri Fmax i BRSmax, dobijeni iz STJ, procenjuju nezavisne sposobnosti testiranih mišića.

- Iako se brzina smanjenja ili opuštanja (relaksacije) mišića (BSSmax) može smatrati mehanički možda podjednako važnom kao i BRSmax, ona se često zanemaruje i ne prikazuje kao jedna od varijabli STJ (Andersen i Aagaard 2006). Naime, za efikasnost u izvođenju uzastopnih, naizmeničnih kontrakcija antagonističkih mišićnih grupa (karakteristično za većinu kretanja, posebno cikličnih) od posebnog značaja je brzina opuštanja mišića, odnosno brzina smanjenja njegove sile.
- Značajan nedostatak se odnosi na to da ispoljavanje maksimalnih kontrakcija (karakteristično za STJ), može biti neodgovarajuće, bolno, čak i rizično za pojedine osobe, pre svega za starije, povređene i osobe sa neuromišićnim poremećajima (Wilson i Murphy 1996).

Na osnovu prethodno navedenih nedostataka, može se objasniti činjenica da STJ pokazuje u proseku malu eksternu (spoljašnju) validnost, kada se primenjuje za procenu različitih funkcionalnih sposobnosti. Ovaj nalaz je potvrđen u literaturi (Abernethy i sar. 1995; Driss i sar. 1998; Kukolj i sar. 1999; Paasuke i sar. 2001; Jaric 2002; Jaric i sar. 2002; Ugarkovic i sar. 2002; Andersen i Aagaard 2006) sa samo nekoliko izuzetaka koji sugerišu umerenu povezanost (Jaric i sar. 1989; Paasuke i sar. 2001; Wisloff i sar. 2004). Takođe, trening baziran na povećanju nivoa maksimalne mišićne sile, često dovodi do manjih poboljšanja u motoričkim zadacima, posebno onih baziranih na kratkim mišićnim aktivnostima (Ugrinowitsch i sar. 2007; Komi i sar. 1982). Za razliku od treninga jačine, programi treninga i rehabilitacije, koji dovode do poboljšanja brzih motoričkih zadataka, često nisu praćeni sa udruženim poboljšanjima u Fmax (Gruber i Gollhofer 2004), pa čak i BRSmax (Kanchisa i Miyashita 1983; O'Shea i O'Shea 1989; Wilson i sar. 1993).

Zbog značajnih nedostataka STJ, očigledno je da postoji potreba za evaluacijom alternativnih testova za procenu neuromišićne funkcije. Novi testovi bi trebalo da budu zasnovani na relativno kratkim kontrakcijama, umerenim silama, manjem broju ponavljanja, šemi mišićne aktivacije koja bi bila slična prirodnim povratnim i cikličnim pokretima i kretanjima. Prilikom evaluacije alternativnih testova za procenu neuromišićne funkcije, posebnu pažnju trebalo bi obratiti na ispitivanje njihove pouzdanosti, validnosti i osetljivosti, kao i na određivanje minimalnog broja testova i varijabli kojima se može izvršiti procena opšte funkcije mišićnog sistema čoveka. Mogućnosti istovremene procene neuromišićne funkcije više mišićnih grupa, kao i mogućnosti njihove procene u uslovima koji imitiraju naizmeničnu cikličnu aktivnost različitih ekstremiteta (prisutno u hodanju, trčanju, vožnji bicikla), predstavljaju jednu od potencijalno najznačajnijih karakteristika budućeg alternativnog testa. Ispunjenjem svih prethodno pobrojanih zahteva, može se pretpostaviti da bi budući alternativni test, uspeo u najvećoj meri da odgovori na pobrojane nedostatke STJ.

1.2.2 Alternativni testovi za procenu neuromišićne funkcije

Kao što je već napred navedeno, pouzdana i validna procena neuromišićne funkcije predstavlja jedan od najznačajnijih segmenata brojnih oblasti ljudskog delovanja, kao što su: sport i fizičkog vaspitanje, fizikalna terapija, rehabilitacija, ergonomija, neurologija (Abernethy i sar. 1995; Wilson i Murphy 1996; Rainoldi i sar. 2001; Aasa i sar. 2003; Weir 2005). Široka primena STJ u proceni neuromišićne funkcije, donekle je potisnula u drugi plan očigledne nedostatke ovog testa, iz kojih proističu i njegova brojna metodološka ograničenja. Ipak, nedavno je sprovedena serija istraživanja (Suzovic i sar. 2008; Bozic i sar. 2011; Bozic i sar. 2012), sa ciljem da se izvrši inicijalna evaluacija dva alternativna testa za procenu neuromišićne funkcije. U osnovi evaluiranih testova bilo je izvođenje uzastopnih maksimalnih kontrakcija, za koje se pretpostavilo da će u većoj meri imitirati šemu neuralne aktivacije, karakterističnu za izvođenje najrazličitijih svakodnevnih kretnih aktivnosti (npr. kratke, diskretne ili ciklične mišićne aktivnosti). Na osnovu toga, pretpostavilo se da bi novi alterenativni testovi mogli da imaju povećanu eksternu (spoljašnju) validnost. Dalje, očekivalo se da bi dodatna prednost ovih testova mogla proisteći iz činjenice da njihovo

izvođenje, zbog ograničenog vremena trajanja mišićne kontrakcije, sprečava izlaganje mišića i vezivnog tkiva ekstremno visokim silama. Takođe bi se u okviru protokola testiranja broj neophodnih ponavljanja smanjio, jer bi se pouzdani i validni pokazatelji F_{max} i BRS_{max} mogli dobiti iz istog pokušaja.

U okviru navedenih istraživanja, na osnovu eksperimentalno prikupljenih podataka izvršena je provera metrijskih karakteristika dva nova alternativna testa za procenu neuromišićne funkcije. Između ostalog, ispitivane su: pouzdanost, konkurentna i eksterna validnost i osetljivost novih testova. Takođe je proveravana mogućnost generalizacije dobijenih nalaza na različite mišićne grupe.

1.2.2.1 Uzastopne maksimalne kontrakcije (UMK)

Prvi alternativni test za procenu neuromišićne funkcije zasnivao se na izvođenju uzastopnih maksimalnih kontrakcija (UMK). Evaluacija ovog testa izvršena je na osnovu rezultata dobijenih u 3 odvojena eksperimenta. Svi rezultati izloženi su u okviru doktorske disertacije, odbranjene na Fakultetu sporta i fizičkog vaspitanja, Univerziteta u Beogradu (Suzović 2009), a delom su publikovani i u međunarodnim časopisima (Suzovic i sar. 2008). UMK su podrazumevale što brži razvoj maksimalne sile odgovarajuće mišićne grupe (ekstenzori u zglobo kolena), i povezano sa tim što brže opuštanje mišića, a sve u okviru zadatih frekvencija od 0,67, 1,00, 1,33, 1,67, 2,00, 2,33, 2,67 Hz. Frekvencija izvođenja UMK bila je diktirana zvučnim signalom elektronskog metronoma. U okviru testa UMK iz zabeležene krive promene sile u vremenu računane su prosečne vrednosti izdvojenih vrhova sile (VS), brzina razvoja sile (BRS) i brzina smanjenja sile (BSS). Sa druge strane u okviru STJ računane su maksimalna sila (F_{max}) i maksimalna brzina smanjenja sile (BRS_{max}).

Ciljevi istraživanja prikazanih u okviru doktorske disertacije (Suzović 2009), odnosili su se na: (1) procenu uticaja frekvencije izvođenja UMK na zabeležene VS (2) ispitivanje pouzdanosti UMK, na osnovu rezultata zabeleženih u 3 ponovljena pokušaja; (3) utvrđivanje konkurentne validnosti za UMK, na osnovu povezanosti varijabli UMK sa varijablama STJ; (4) procenu eksterne (spoljašnje) validnosti za VS, BRS i BSS u odnosu na rezultate različitih motoričkih testova; (5) utvrđivanje stepena generalizacije

za VS, BRS i BSS zabeležene pri testiranju različitih mišićnih grupa (ekstenzori i fleksori u zglobu kolena i lakta).

Rezultati istraživanja pokazuju da frekvencija izvođenja UMK nije značajno uticala na promenu profila zabeleženih sila, odnosno da se vrednosti BRS i BSS nisu značajno razlikovale posmatrano kroz kompletan fiziološki opseg (0,67 - 2,67 Hz). Sa druge strane, zabeleženi VS su bili značajno manji samo pri frekvencijama izvođenja preko 2 Hz, u okiru kojih su zapaženi i problemi sa familijarizacijom. Stoga su za dalju analizu korišćeni rezultati zabeleženi pri frekvencijama 1,33 i 1,67 Hz, s obzirom da je naknadnom analizom još utvrđeno da se i spontano izabrana frekvencija kreće u istom opsegu.

Kada je reč o pouzdanosti, ona je procenjivana unutar istog merenja, na osnovu tri ponovljena pokušaja, kao i između ponovljenih merenja (nakon 2 dana i 6 nedelja). Dobijeni rezultati ukazuju na visoku pouzdanost UMK, s obzirom da su se vrednosti izračunatih ICC koeficijenata kretale za različite varijable UMK u intervalu ($ICC = 0,80 - 0,92$) za ponovljena merenja, odnosno bila su ($ICC > 0,90$) za pouzdanost procenjivanu između ponovljenih pokušaja unutar istog merenja.

Po pitanju konkurentne validnosti za UMK, dobijeni rezultati pokazuju da odgovarajuće varijable STJ i UMK zabeležene pri različitim frekvencijama pokazuju umerenu međusobnu povezanost. Izuzetak predstavljaju VS i Fmax između kojih su zabeleženi izuzetno visoki koeficijenti korelacije ($R = 0,89 - 0,95$), iako su istovremeno vrednosti VS bile značajno manje od Fmax.

Sa druge strane, rezultati vezano za procenu eksterne (spoljašnje) validnosti ostali su ispod nivoa statističke značajnosti, s obzirom da su varijable UMK, kao i varijable STJ, pokazale nisku povezanost sa rezultatima motoričkih testova. Jedno od mogućih objašnjenja za ovaj nalaz može biti izuzetno homogen uzorak koji je korišćen kroz sve tri studije, a koga su činili studenti Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja.

Konačno, rezultati faktorske analize koja je korišćena sa ciljem da se proceni stepen generalizacije dobijenih nalaza kroz različite mišićne grupe (ekstenzori i fleksori u zglobu kolena i lakta), ukazuju na sledeći nalaz: kada su dobijeni rezultati bili normalizovani u odnosu na masu tela ($M^{2/3}$), komponente Fmax i BRSmax u STJ, odnosno VS, BRS i BSS u UMK izdvojile su se u zasebne faktore, pokazujući time da

procenjuju dva različita neuromišićna svojstva. Vezano za mogućnost generalizacije, značajno je to da su iste varijable zabeležene na različitim mišićnim grupama pokazale međusobno visok stepen povezanosti, grupišući se tako u okviru istog faktora.

Na osnovu dobijenih rezultata, može se izvesti zaključak da je prednost novog alternativnog testa zasnovanog na izvođenju UMK u tome što ispitanici ne moraju da budu izloženi dugotrajnim maksimalnim kontrakcijama, koje mogu da budu bolne i neprijatne. Takođe, varijable VS, BRS i BSS mogu se dobiti iz samo jednog pokušaja, zadržavajući istovremeno visok stepen pouzdanosti, validnosti i mogućnosti generalizacije. Time se smanjuje ukupan broj pokušaja i ubrzava protokol testiranja. Zbog jednostavnosti UMK, nije neophodna dugačka familijalizacija. Ipak, izostanak eksterne (spoljašnje) validnosti UMK, zahteva nastavak evaluacije i dalji razvoj alternativnih testova za procenu neuromišićne funkcije zasnovanih na izvođenju uzastopnih maksimalnih kontrakcija.

1.2.2.2 Naizmenične uzastopne maksimalne kontrakcije (NUMK)

Sledeći alternativni test za procenu neuromišićne funkcije zasnivao se na izvođenju naizmeničnih uzastopnih maksimalnih kontrakcija (NUMK). Evaluacija ovog testa izvršena je, takođe, na osnovu rezultata dobijenih u 3 odvojena eksperimenta. Svi rezultati izloženi su u okviru doktorske disertacije, odbranjene na Fakultetu sporta i fizičkog vaspitanja, Univerziteta u Beogradu (Božić 2011), a delom su publikovani i u međunarodnim časopisima (Bozic i sar. 2011; Bozic i sar. 2012). NUMK su podrazumevale naizmenično što brži razvoj maksimalne sile antagonističkih mišićnih grupa (naizmenične ekstenzije i fleksije u zglobu kolena). Opuštanje jedne mišićne grupe preklapalo se delimično sa kontrakcijom suprotne, a sve u okviru zadatih frekvencija od 1,00, 1,33, 1,67, 2,00 Hz. Frekvencija izvođenja UMK bila je diktirana zvučnim signalom elektronskog metronoma. Takođe su NUMK izvođene i spontano izabranom frekvencijom koja nije bila diktirana spolja, već su je ispitanici sami birali. Kod testa NUMK računat je VS na isti način kao i kod UMK, ali je za razliku od UMK, kod NUMK računata samo BRS za odgovarajuću mišićnu grupu. Naime, ona se u

režimu naizmeničnih kontrakcija preklapala sa BSS antagonističke mišićne grupe čija je aktivnost neposredno prethodila.

Ciljevi istraživanja prikazanih u okviru doktorske disertacije (Božić 2011), generalno su bili slični onima postavljenim u okviru prethodno prikazane doktorske disertacije (Suzović 2009). Razlika je samo u karakteristikama testa koji je evaluiran, a on se u okviru doktorske disertacije Božića (2011) zasnivao na izvođenju NUMK. Ukratko, generalni cilj istraživanja je bio poređenje testa NUMK sa STJ u pogledu pouzdanosti, konkurentne i eksterne (spoljašnje) validnosti, osetljivosti, kao i ispitivanje mogućnosti generalizacije rezultata dobijenih testiranjem mišićnih grupa nogu i ruku.

Dobijeni rezultati pokazuju da je spontano izabrana frekvencija tokom izvođenja NUMK bila 1,26 Hz (opseg 0,77 – 1,84 Hz). Zabeležena vrednost VS u NUMK bila je u proseku za 11,5 % niža nego vrednost Fmax u STJ, dok je vrednost BRS, dobijena u smeru pregibanja u zglobo kolena, bila značajno iznad odgovarajuće varijable STJ (BRSmax). Dalje, oba upoređivana testa za procenu neuromišićne funkcije pokazala su u proseku visoku pouzdanost unutar istog merenja ($ICC > 0,80$), kao i umerenu pouzdanost između ponavljanih merenja ($ICC > 0,60$). U odnosu na ispitivanje osetljivosti, pokazano je da su varijable NUMK, slično varijablama STJ, dovoljno osetljive da utvrde razlike između četiri grupe ispitanika, različite u odnosu na trenažnu istoriju [bodi-bilderi (trening maksimalne jačine), karatisti (trening maksimalne brzine), fizički aktivne i fizički neaktivne osobe]. Analizom rezultata na osnovu kojih je procenjivana eksterna (spoljašnja) validnost, dobijena je u proseku umerena povezanost ($R = 0,02 - 0,79$) između rezultata različitih testova motoričkih sposobnosti sa jedne, i rezultata oba upoređivana testa (NUMK i STJ), sa druge strane. Statistički posmatrano, po pitanju eksterne (spoljašnje) validnosti nijednom od dva testa (NUMK i STJ) se ne može dati prednost. Konačno, po pitanju generalizacije dobijenih rezultata, u proseku su zabeleženi mali do umereni koeficijenti korelacije između odgovarajućih varijabli testova mišićne funkcije dobijenih testiranjem različitih mišića nogu i ruku.

Na osnovu dobijenih rezultata, može se izvesti zaključak da NUMK, kada se uporede sa STJ, imaju sličnu pouzdanost, eksternu (spoljašnju) validnost i osetljivost. Pored sličnosti, postoje i razlike koje testu NUMK daju značajnu prednost u odnosu na STJ. Naime, NUMK se kao i UMK zasnivaju na submaksimalnim kontrakcijama

relativno kraćeg trajanja, čime se sprečava izloženost ispitanika dugotrajnim maksimalnim naprezanjima koja mogu da budu bolna i neprijatna, a što je tipično za STJ. Ipak, dodatna prednost NUMK u odnosu na UMK ogleda se u istovremenoj proceni neuromišićne funkcije za dve antagonističke grupe mišića, čime se u velikoj meri skraćuje procedura testiranja.

Postavlja se pitanje da li postoji test koji bi istovremeno mogao da procenjuje neuromišićnu funkciju više od dve mišićne grupe. Pretpostavka je da bi se NUMK mogle izvoditi u uslovima bilateralne aktivnosti odgovarajućih ekstremiteta, te bi se na taj način mogle istovremeno, umesto dve, procenjivati četiri mišićne grupe. Konačno, da li bi se šema neuralne aktivacije u okviru takve bilateralne naizmenične aktivnosti značajnije podudarila sa onom koja je prisutna u okviru svakodnevnih kretnih zadataka, omogućavajući time ostvarivanje veće eksterne (spoljašnje) validnosti za potencijalno novi alternativni test, koji bi trebalo dodatno evaluirati.

1.3 Bilateralna mišićna aktivnost

Bilateralna mišićna aktivnost podrazumeva istovremenu aktivaciju mišića koji deluju u istoimenim zglobovima dva različita ekstremiteta (npr. mišići koji deluju u zglobu kolena leve i desne noge). U odnosu na homonimnost aktivnih mišića, bilateralna mišićna aktivnost može biti fazna i antifazna (Schmidt i Lee 2005). Tokom bilateralne fazne mišićne aktivnosti istovremeno se aktiviraju mišići koji deluju sa iste strane istoimenih zglobova dva različita ekstremiteta (npr. mišići ekstenzori u zglobu kolena leve i desne noge). Sa druge strane, tokom bilateralne antifazne mišićne aktivnosti istovremeno se aktiviraju mišići koji deluju sa suprotnih strana istoimenih zglobova dva različita ekstremiteta (npr. mišići fleksori u zglobu kolena leve i mišići ekstenzori u zglobu kolena desne noge).

Razvoj maksimalne sile mišića zahteva njegovu maksimalnu aktivaciju (Abernethy i sar. 1995). Maksimalna aktivacija mišića, sa druge strane, zahteva pokretanje složenih neurofizioloških mehanizama (Latash 2008). Ovi mehanizmi mogu biti značajno drugačiji u uslovima unilateralne u odnosu na bilateralnu mišićnu aktivnost (Ohtsuki 1983; Oda i Moritani 1995; Taniguchi 1998). Pored toga,

neurofiziološki mehanizmi se mogu značajno razlikovati i kod bilateralne fazne u odnosu na bilateralnu antifaznu mišićnu aktivnost (Kawakami i sar. 1998). Postavlja se, stoga, pitanje, koje su mogućnosti neuromišićnog sistema da, i u uslovima kada mišići dva različita ekstremiteta deluju simultano, omogući razvoj maksimalnih sila svih aktivnih mišića. Takođe se postavlja pitanje, da li se mogućnosti neuromišićnog sistema za razvoj maksimalnih sila razlikuju kada se bilateralna mišićna aktivnost sprovodi u faznim u poređenju sa antifaznim uslovima.

Konačno, validna i pouzdana procena neuromišićne funkcije zahteva uslove testiranja u okviru kojih bi aktivacija mišića trebalo u što većoj meri da imitira aktivaciju prisutnu tokom izvođenja različitih kretnih zadataka (hodanja, trčanja, skokovi, vožnja bicikla itd.). Sigurno je da bi test zasnovan na bilateralnoj mišićnoj aktivnosti mogao ispuniti napred navedene uslove. Ipak, prilikom evaluacije potencijalno novog testa za procenu neuromišićne funkcije, neophodno bi bilo pažljivo razmotriti ranije postavljena pitanja u vezi sa mogućnostima neuromišićnog sistema da razvije odgovarajuću silu tokom bilateralne mišićne aktivnosti. U vezi sa tim, u literaturi je dobro poznat fenomen bilateralnog deficita koji se odnosi na različitost u ispoljavanju maksimalne sile u uslovima unilateralne i bilateralne mišićne aktivnosti.

1.3.1 Bilateralni deficit

Neuromišićni sistem čoveka predstavlja visoko sofisticirani sistem koji je u stanju da istovremenom kontrolom stepena aktivacije većeg broja mišića omogući izvođenje veoma složenih kretnih zadataka. Ipak, i jedan ovako razvijeni sistem nije u stanju da omogući generisanje maksimalne sile u uslovima bilateralne mišićne aktivnosti (Jakobi i Cafarelli 1998). Naime, ovaj fenomen je u literaturi poznat još od kako su Asmussen i Heeboll-Nielsen (1961) pronašli da je ukupna maksimalna sila ostvarena tokom simultane izometrijske kontrakcije mišića ekstenzora obe noge (bilateralna mišićna aktivnost), manja od zbira maksimalnih sila ostvarenih tokom odvojenih izometrijskih kontrakcija mišića ekstenzora jedne i druge noge (unilateralna mišićna aktivnost). U kasnijim studijama, prisustvo ovog fenomena potvrđeno je na različitim grupama mišića, kod ispitanika različitog uzrasta, različitog pola, različitog

nivoa treniranosti, kao i pri izvođenju različitih kretnih zadataka (Bobbert i sar. 2006; Howard i Enoka 1991; Kuruganti i Murphy 2008; Kuruganti i Seaman 2006; Rejc i sar. 2010; Hakkinen i sar. 1997).

Pored toga, ispitivanje fenomena bilateralnog deficita rađeno je odvojeno za dinamičke i izometrijske uslove (za pregled videti Jakobi i Chilibeck 2001). Izometrijski uslovi su u odnosu na dinamičke stabilniji, odnosno manje varijabilni. Zahvaljujući tome, uticaji biomehaničkih, fizioloških ili neuroloških faktora na pojavu bilateralnog deficita, mogu se znatno lakše ispitivati upravo u izometrijskim uslovima. Ipak, ispitivanje bilateralne mišićne aktivnosti u izometrijskim uslovima nije pružilo konzistentne rezultate po pitanju bilateralnog deficita. Naime, nalazi većeg broja izometrijskih studija nisu uopšte potvrdili postojanje bilateralnog deficita kod ekstenzora u zglobu kolena (Hakkinen i sar. 1995, 1996, 1997; Jakobi i Cafarelli 1998; Schantz i sar. 1989). Pored toga, čak i u okviru manjeg broja izometrijskih studija kod kojih je registrovano postojanje bilateralnog deficita, dobijeni rezultati nisu bili konzistentni. Tačnije, vrednosti bilateralnog deficita razlikovale su se od studije do studije. Tako su Howard i Enoka (1991) pronašli mali, ali statistički značajni 7%-ni bilateralni deficit. Nešto veći bilateralni deficit od 10% registrovali su Owings i Grabiner (1998b), dok su najveći bilateralni deficit od 25% pronašli Koh i sar. (1993). Sa druge strane, kada je ispitivana bilateralna mišićna aktivnost u dinamičkim uslovima, konzistentni nalazi većine studija potvrdili su postojanje bilateralnog deficita (Owings i Grabiner 1998a; Roy i sar. 1990; Weir i sar. 1995; Taniguchi 1997, 1998; Vandervoort i sar. 1984; Van Soest i sar. 1985).

U svom preglednom radu Jakobi i Chilibeck (2001) pokušavaju da, analiziranjem većeg broja studija, otkriju razloge zbog kojih dosadašnja istraživanja bilateralnog deficita u izometrijskim uslovima nisu pružila konzistentne nalaze. Naime, ova dva autora dolaze do zaključka da različite karakteristike ispitanika ne mogu biti uzrok pojavi nekonzistentnih nalaza. Na primer, Owings i Grabiner (1998b) su ustanovili postojanje bilateralnog deficita kod starijih ispitanika, dok su, sa druge strane, Hakkinen i sar. (1995, 1996, 1997) u okviru svojih studija, na istoj populaciji ispitanika, pokazali odsustvo ovog fenomena. Takođe, u okviru širokog spektra karakteristika testiranih ispitanika (od mladih zdravih sportista do starijih neaktivnih pojedinaca) nije bilo moguće pronaći nijednu pojedinačnu karakteristiku, koja bi bila u vezi sa

konzistentnom pojavom bilateralnog deficita. Dalje, isključen je i uticaj zglobnog ugla, kao i karakteristike korišćenih elektronskih uređaja, s obzirom da ni ovi faktori nisu konzistentno ukazivali na određene nalaze po pitanju bilateralnog deficita. Na primer, procena maksimalnih izometrijskih sila mišića ekstenzora u zglobu kolena, vršena je na način da su svi segmenti tela bili fiksirani kaiševima, pri čemu je potkolenica ostvarivala krutu vezu sa sandom dinamometra, dok je ugao u zglobu kolena varirao od studije do studije, krećući se u intervalu od 90 (Jakobi i Cafarelli 1998) do 107 stepeni (Howard i Enoka 1991).

U istom preglednom radu, Jakobi i Chilibeck (2001) dolaze do zaključka da varijabilitet koji se javlja između ispitanika i unutar samih ispitanika, a koji negativno utiče na pouzdanost izmerenih rezultata, predstavlja ustvari najverovatniji uzrok dobijanja nekonzistentnih nalaza kod izometrijskih studija. Pored toga, i pojedina metodološka pitanja, kao što su: redosled testiranja ili informisanost ispitanika o ciljevima studije; mogla su značajno uticati na dobijene razlike. Na primer, Koh i sar. (1993) su zabeležili da su vrednosti izmerenih momenata sile u ponavljanim pokušajima varirale u proseku za 5%. Slično tome, u studiji Howard i Enoka (1991) vrednosti bilateralnog deficita zabeležene kod netreniranih pojedinaca, značajno su se razlikovale od pokušaja do pokušaja. Dalje, redosled testiranja u okviru kojeg nije poštovan princip randomizacije (metod slučajnog izbora) mogao je značajno uticati na pojavu bilateralnog deficita, s obzirom da nepromenjeni redosled dovodi do pojave zamora u kasnijem testu [ako se bilateralni testovi rade uvek nakon unilateralnih (Hakkinen i sar. 1995; Howard i Enoka 1991; Koh i sar. 1993)]. Konačno, informisanost ispitanika o ciljevima studije, mogla je, takođe, značajno uticati na pojavu bilateralnog deficita, s obzirom da upoznatost ispitanika sa ovim fenomenom često dovodi do različitog stepena angažovanja u ispoljavanju maksimalne sile kroz različite uslove testiranja (unilateralnim nasuprot bilateralnim uslovima).

Imajući u vidu napred navedene zaključke Jakobi-ja i Chilibeck-a (2001), lako se može složiti da je prilikom svakog istraživanja bilateralne izometrijske mišićne aktivnosti, neophodno dodatnu pažnju posvetiti i samom fenomenu bilateralnog deficita. Nedostatak konzistentnih nalaza u ovom slučaju zahteva dodatnu proveru ovog fenomena, uvažavajući pri tome sve metodološke zahteve. Posebno je neophodno dodatno proveriti fenomen bilateralnog deficita odvojeno za uslove bilateralnih faznih i

bilateralnih antifaznih mišićnih kontrakcija, s obzirom da postoje nalazi koji upućuju na određene razlike. Naime, rezultati studije Ohtsuki (1983) ukazuju da fenomen bilateralnog deficita ne važi za uslove bilateralnih antifaznih mišićnih kontrakcija, kada su istovremeno bili aktivirani ekstenzori lakta jedne i fleksori lakta druge ruke. Do sličnog nalaza došlo se i u studiji Kawakami i sar. (1998) kada su testirani plantarni i dorzalni fleksori stopala. U evaluaciji novog testa za procenu neuromišićne funkcije zasnovanog na izvođenu bilateralnih naizmeničnih uzastopnih maksimalnih kontrakcija (NUMK), varijanta testa u okviru koje ne bi bilo zabeleženo prisustvo bilateralnog deficita (fazna nasuprot antifazne) zasigurno bi se mogla smatrati validnijom.

Na kraju, bez obzira na veliki broj faktora koji bi mogli negativno uticati na dobijanje konzistentnih nalaza, Jakobi i Chilibeck (2001) na osnovu analizirane literature upućuju na generalno stanovište kojim se pokušava objasniti uzrok nastajanja fenomena bilateralnog deficita. Naime, ova dva autora pretpostavljaju da bi se bilateralni deficit mogao javljati usled prisustva različitih neurofizioloških mehanizama u kontroli unilateralnih i bilateralnih mišićnih kontrakcija.

1.3.2 Neurofiziološki mehanizmi pri bilateralnoj mišićnoj aktivnosti

Kontrolu mišićne aktivnosti vrše viši i niži centri centralnog nervnog sistema (CNS). Pod kontrolom nižih centara su sve refleksne mišićne aktivnosti. Sa druge strane, izvođenje voljnih mišićnih kontrakcija kontrolišu viši centri. Moždane regije koje upravljaju mišićnom aktivacijom tokom voljnih kontrakcija čine delovi kore velikog mozga. Unilateralna mišićna aktivnost kontrolisana je od strane kontra-lateralne hemisfere mozga, odnosno kore velikog mozga (aktivnost mišića sa leve strane tela kontroliše desna hemisfera kore velikog mozga). Sa druge strane, tokom bilateralne mišićne aktivnosti koja podrazumeva istovremenu aktivaciju mišića i leve i desne strane, kontrolu voljnih mišićnih kontrakcija vrše obe hemisfere kore velikog mozga, pri čemu značajnu ulogu ima i korpus kalosum. Ovo žuljevito moždano telo povezuje dve hemisfere mozga i prožeto je mnogobrojnim nervnim vlaknima koja povezuju homotipske regione kore velikog mozga (regioni na levoj i desnoj hemisferi kore velikog mozga odgovorni za aktivaciju istoimenih mišića na suprotnim stranama tela).

Naime, tokom bilateralne mišićne aktivnosti ekscitacija pojedinih delova kore velikog mozga dovodi do aktiviranja mišića na odgovarajućoj strani tela. Istovremeno se preko korpus kalosuma inhibiraju homotipski delovi kore velikog mozga na suprotnoj hemisferi, pa se, kao rezultat toga, aktivnost istoimenih mišića sa suprotne strane tela smanjuje (Ferber i sar. 1992). Pojedini autori smatraju da bi upravo ovo mogao biti osnovni uzrok pojave fenomena bilateralnog deficita (Ohtsuki 1983; Oda i Moritani 1995; Taniguchi 1998). Ukoliko bi ova pretpostavka bila tačna, ona bi važila samo za bilateralnu faznu mišićnu aktivnost. Naime, prethodno opisani mehanizam nije prisutan tokom bilateralnih antifaznih kontrakcija u okviru kojih se aktiviraju neistoimeni mišići.

Na aktivnost mišića tokom bilateralnih kontrakcija mogu uticati i pojedini refleksi koji su, kao što je već rečeno, pod kontrolom nižih centara CNS. Naime, maksimalnom voljnom kontrakcijom mišića sa jedne strane tela proizvode se aferentni signali, koji u kičmenoj moždini inhibiraju aktivnost motoneurona istoimenog mišića sa suprotne strane tela i time utiču na smanjenu aktivnost ovog mišića. Ovo refleksno smanjenje aktivnosti tokom bilateralnih faznih kontrakcija može da dovede do pojave bilateralnog deficita (Howar i Enoka 1991; Ohtsuki 1983). Međutim, inhibicija mišića agoniste predstavlja istovremeno facilitaciju za mišić antagonistu. Na primer, maksimalna voljna kontrakcija ekstenzora u zglobu kolena desne noge dovešće do inhibicije ekstenzora u zglobu kolena leve noge, što će olakšati, odnosno podstaći (facilitirati) aktivnost fleksora u istom zglobu. Ovaj tzv. refleks ukrštene ekstenzije bi, pretpostavlja se, mogao smanjiti vrednost bilateralnog deficita tokom bilateralne antifazne kontrakcije. Nalazi Kawakami i sar. (1998) upravo upućuju na mogućnost jedne ovakve pretpostavke.

U napred izloženoj diskusiji o neurofiziološkim mehanizmima prisutnim tokom unilateralne i bilateralne mišićne aktivnosti, jasno se uočavaju razlike kojima bi se moglo objasniti postojanje fenomena bilateralnog deficita. Takođe, uočavaju se i razlike u neurofiziološkim mehanizmima koji su prisutni tokom bilateralnih faznih i antifaznih mišićnih aktivnosti. Na osnovu toga se može pretpostaviti da bi procena neuromišićne funkcije mogla biti validnija ukoliko bi se sprovodila u uslovima bilateralnih kontrakcija, s obzirom da se izvođenje većine osnovnih kretnih zadataka (hodanje, trčanje, skokovi, vožnja bicikla itd.) zasniva na bilateralnoj mišićnoj aktivnosti, te shodno tome i kontroli koju vrše isti ili slični neurofiziološki mehanizmi. Šta više, kako

bilateralnu mišićnu aktivnost u faznim i antifaznim uslovima kontrolišu, ipak, delom različiti neurofiziološki mehanizmi, svaka evaluacija testa zasnovanog na bilateralnim kontrakcijama morala bi da obuhvati i uporednu analizu faznih i antifaznih uslova.

1.4 Pilot istraživanje

Na osnovu pregleda literature uočen je problem vezano za validnu i pouzdanu procenu neuromišićne funkcije. Naime, ispostavilo se da STJ, bez obzira što ima široku primenu, poseduje i određene nedostatke (za detalje videti poglavlje 1.2.1.4). Nedavne evaluacije dva alternativna testa (Suzović 2009; Božić 2011) pokazale su da procena neuromišićne funkcije u uslovima izvođenja uzastopnih maksimalnih kontrakcija može uspešno odgovoriti na neke od navedenih nedostataka STJ. Šta više, pokazano je da je test NUMK u prednosti u odnosu na test UMK, s obzirom da istovremeno testira dve antagonističke mišićne grupe, a pruža jednako validne i pouzdane podatke. Još jedna od prednosti NUMK ogleda se u nešto povećanoj eksternoj (spoljašnjoj) validnosti, koja je iz niske prešla u umerenu. Razlog tome mogli bi biti neurofiziološki mehanizmi koji prate izvođenje NUMK, a koji su znatno bliži onima koji su prisutni u svakodnevnim kretnim aktivnostima (hodanje, trčanje, vožnja bicikla itd.). Pretpostavka je da bi varijanta alternativnog testa u kojoj bi se neurofiziološki mehanizmi dodatno približili realnim uslovima, u potpunosti otklonila i poslednji krupni nedostatak STJ vezan za eksternu validnost.

Bilateralna mišićna aktivnost bi svakako mogla biti jedan od pravaca za dalja istraživanja. Istovremenim izvođenjem NUMK sa oba ekstremiteta (npr. sa obe noge) mogli bi se stvoriti bitno drugačiji uslovi, koji bi se dodatno međusobno razlikovali u odnosu na vrstu bilateralne mišićne aktivnosti. Tačnije, u odnosu na bilateralnu faznu, bilateralna antifazna mišićna aktivnost bi se mogla u ovom slučaju smatrati prikladnijom, s obzirom da se u okviru ovakve mišićne aktivnosti mogu inicirati dodatni neurofiziološki mehanizmi (npr. refleks ukrštene ekstenzije), koji bi išli u prilog povećanju eksterne validnosti testa. Naime, iniciranjem ovog refleksa, olakšala bi se istovremena aktivnost fleksora suprotnog ekstremiteta, što se može smatrati tipičnim za većinu cikličnih aktivnosti (npr. hodanje, trčanje, vožnja bicikla i sl.). Još jedna od prednosti novog alternativnog testa zasnovanog na izvođenju NUMK u uslovima bilateralne mišićne aktivnosti bila bi istovremena procena neuromišićne funkcije za četiri različite mišićne grupe.

1.4.1 Problem, predmet, ciljevi i zadaci pilot istraživanja

Problem pilot istraživanja odnosio se na validnu i pouzdanu procenu neuromišićne funkcije.

Predmet pilot istraživanja bila je inicijalna evaluacija novog alternativnog testa za procenu neuromišićne funkcije zasnovanog na izvođenju NUMK u uslovima bilateralne mišićne aktivnosti.

Ciljevi pilot istraživanja bili su:

1. Provera mogućnosti beleženja odgovarajućih profila sile NUMK pri istovremenom testiranju obe noge (varijante sa faznom i antifaznom bilateralnom mišićnom aktivnošću).
2. Inicijalna procena pouzdanosti novog alternativnog testa, na osnovu povezanosti između tri pokušaja.
3. Inicijalna procena konkurentne validnosti novog alternativnog testa, na osnovu povezanosti sa STJ i unilateralnim NUMK.
4. Inicijalna procena eksterne (spoljašnje) validnosti novog alternativnog testa, na osnovu povezanosti sa rezultatima prirodnog vertikalnog skoka sa zamahom rukama (PVS).

Realizacija postavljenih ciljeva operacionalizovana je kroz sledeće **zadatke**:

1. Formirana je manja grupa ispitanika;
2. Izvršena je procena neuromišićne funkcije primenom STJ, unilateralnih NUMK i dve varijante novog alternativnog testa: Bilateralne fazne NUMK i Bilateralne antifazne NUMK.
3. Izvršena je procena motoričkog statusa primenom testa prirodnog vertikalnog skoka sa zamahom rukama (PVS).
4. Izvršena je osnovna deskriptivna i komparativna statistička analiza posmatranih varijabli.

1.4.2 Hipoteze pilot istraživanja

U skladu sa definisanim ciljevima, a na osnovu problema uočenog pregledom dosadašnjih istraživanja, u okviru pilot istraživanja postavljene su četiri hipoteze:

H_{0-1} – varijable testova sa bilateralnim faznim i antifaznim NUMK (VS i BRS) pokazaće visoku pouzdanost kod ponovljenih merenja.

H_{0-2} – zabeleženi VS kod bilateralnih faznih i antifaznih NUMK pokazaće visoku pozitivnu povezanost sa F_{max} zabeleženim u STJ i visoku pozitivnu povezanost sa VS zabeleženim kod unilateralnih NUMK.

H_{0-3} – zabeleženi BRS kod Bilateralnih faznih i antifaznih NUMK pokazaće visoku pozitivnu povezanost sa BRS_{max} zabeleženim u STJ i visoku pozitivnu povezanost sa BRS zabeleženim kod unilateralnih NUMK.

H_{0-4} – VS i BRS zabeleženi u Bilateralnim antifaznim NUMK pokazaće, u odnosu na odgovarajuće varijable svih ostalih posmatranih testova neuromišićne funkcije, najviši stepen pozitivne povezanosti sa rezultatima prirodnog vertikalnog skoka sa zamahom rukama (PVS).

1.4.3 Metode pilot istraživanja

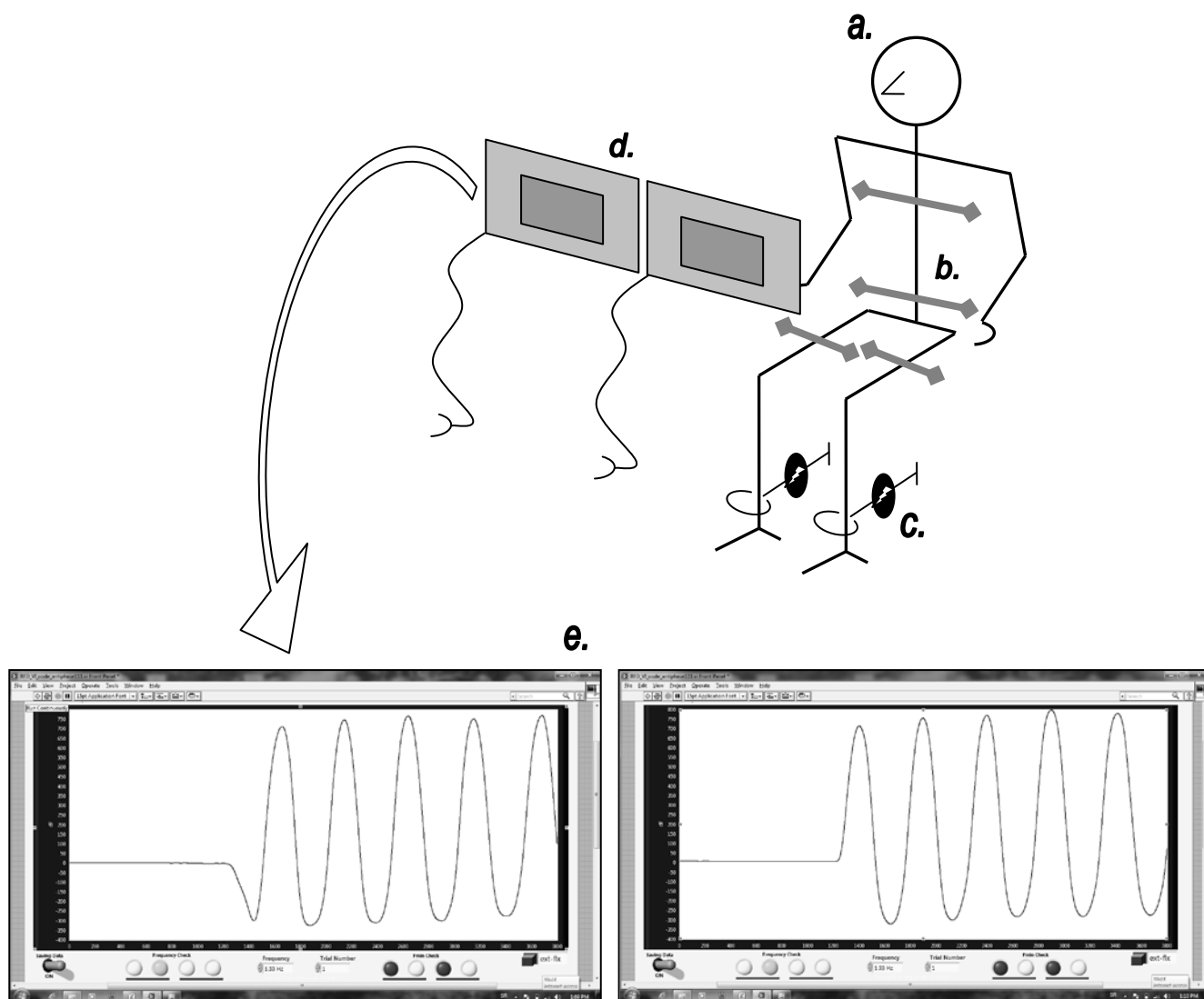
U okviru pilot istraživanja (Banicevic i sar. 2012; videti Prilog 1) testirano je 7 studenata Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja, starosti 22,2 ($\pm 1,7$) godine. Svi ispitanici su bili zdravi i fizički aktivni u okviru redovne fakultetske nastave. Detaljno su bili upoznati sa protokolima svih testova. Jedno zasebno probno merenje urađeno je kod svih ispitanika u cilju dodatne familijarizacije.

Urađene su dve eksperimentalne sesije. U okviru prve eksperimentalne sesije testirane su sile ekstenzora i fleksora u zglobu kolena primenom STJ i unilateralnih NUMK. Izvođenje STJ podrazumevalo je maksimalnu voljnu izometrijsku kontrakciju izabrane mišićne grupe. Ispitanik je imao zadatak da razvije maksimalnu silu za što kraće vreme i da dostignuti nivo sile zadrži 3-5 s. Iz zabeleženog signala sile u vremenu računale su dve varijable: (1) maksimalna sila (F_{max}) i (2) maksimalna brzina razvoja sile (BRS_{max}) kao maksimum prvog izvoda. Primenom STJ odvojeno je procenjivana neuromišićna funkcija za mišiće ekstenzore i fleksore u zglobu kolena, prvo jedne, pa druge noge. Izvođenje unilateralnih NUMK podrazumevalo je naizmenične maksimalne voljne izometrijske kontrakcije ekstenzora i fleksora u zglobu kolena. Ispitanik je imao zadatak da prateći spolja diktirani ritam (1,33 Hz; zvuk elektronskog metronoma), naizmenično, što brže, razvija maksimalne sile ekstenzora i fleksora u zglobu kolena. Iz zabeleženog signala sile u vremenu računale su za svaki ciklus dve varijable: (1) vrh sile (V_S) uprosečen za poslednja tri cela ciklusa i (2) brzina razvoja sile (BRS) kao maksimum prvog izvoda, takođe uprosečenog za poslednja tri cela ciklusa. Unilateralnim NUMK istovremeno je procenjivana neuromišićna funkcija za mišiće ekstenzore i fleksore u zglobu kolena, prvo jedne, pa druge noge.

U okviru druge eksperimentalne sesije istovremeno su testirane sile ekstenzora i fleksora u zglobu kolena primenom dve varijante bilateralnih NUMK (Bilateralne fazne NUMK i Bilateralne antifazne NUMK). Na isti način kao i kod unilateralnih NUMK, primenom varijanti bilateralnih NUMK procenjivana je neuromišićna funkcija za mišiće ekstenzore i fleksore u zglobu kolena obe noge, istovremeno. U bilateralnim faznim NUMK istovremeno su se naizmenično kontrahovali ekstenzori, pa fleksori u zglobu kolena obe noge. Sa druge strane, u bilateralnim antifaznim NUMK istovremeno su se naizmenično kontrahovali ekstenzori u zglobu kolena jedne i fleksori u zglobu kolena

druge noge, i obrnuto fleksori u zglobu kolena jedne i ekstenzori u zglobu kolena druge noge. U okviru druge eksperimentalne sesije testirana je još i eksplozivna snaga mišića opružaća nogu ispoljena u prirodnom vertikalnom skoku sa zamahom rukama (PVS). Eksplozivna snaga procenjivana je na osnovu vremenskog trajanja faze leta koja je beležena uz korišćenje senzorne podloge sa IC zracima (proizvođač UNO-LUX NS d.o.o, Beograd, Srbija).

Svi testovi za procenu neuromišićne funkcije ponavljani su tri puta, a za dalju analizu uzimana je srednja vrednost iz tri pokušaja. Za potrebe testiranja korišćena je specijalno dizajnirana stolica za dinamometrijska merenja. Položaj ispitanika u stolici je bio fiksiran korišćenjem kaiša i podrazumevao je uglove u zglobu kolena i kuka od 120°. Sonde dinamometra su sa čvrstim osloncem na konstrukciji stolice, preko manžetni bile fiksirane za gležnjeve ispitanika (iznad *malleolus lateralis*-a). Korišćene sonde su osetljive na istezanje i sabijanje, tako da je bilo moguće istovremeno meriti silu ekstenzora i fleksora (opseg snimanja 5000N; proizvođač UNO-LUX NS d.o.o, Beograd, Srbija). Ispred ispitanika nalazila su se dva monitora sa kojih su ispitanici dobijali vizuelne povratne informacije o trenutnoj promeni sile u vremenu. Levi monitor prikazivao je u realnom vremenu promenu sile mišića leve noge, dok je desni monitor prikazivao u realnom vremenu promenu sile mišića desne noge (za detalje videti Sliku 1).



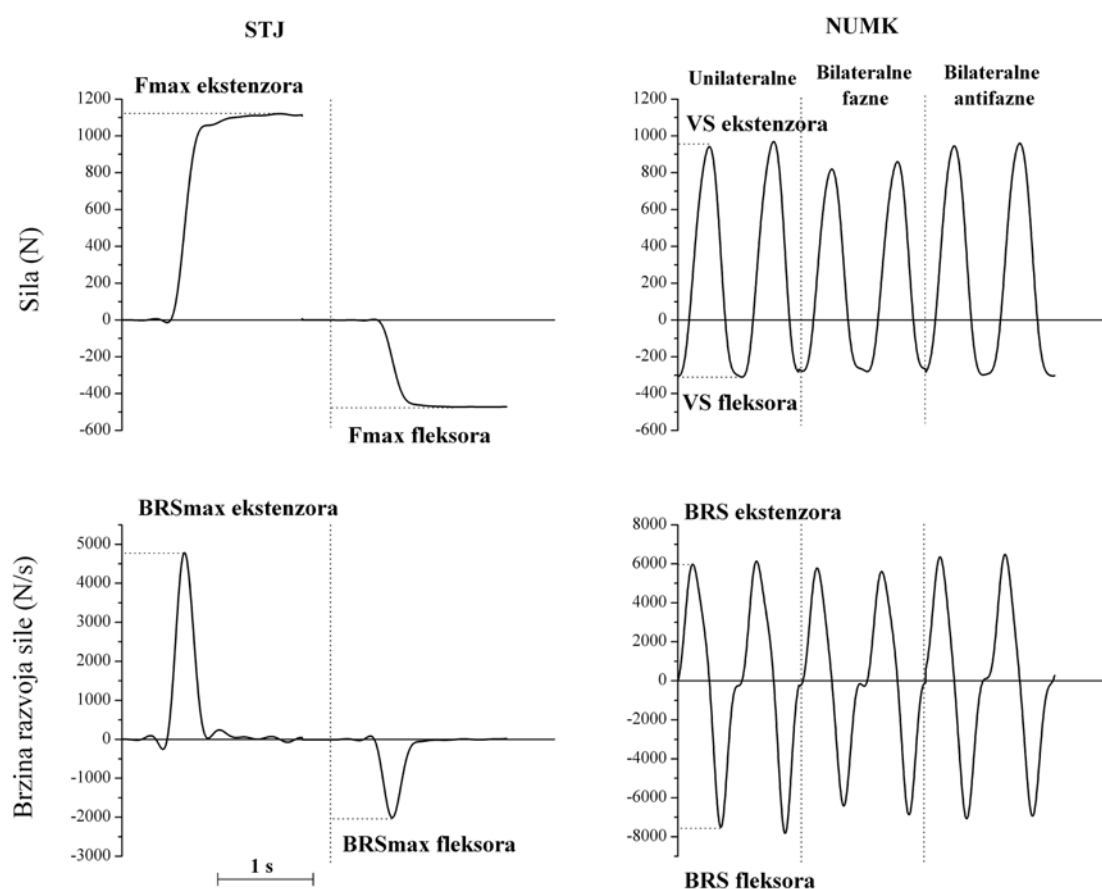
Slika 1. Eksperimentalna postavka: **a.** položaj ispitanika tokom testiranja; **b.** raspored kaiša kojim je fiksiran položaj ispitanika; **c.** položaj sonde dinamometra kojima su procenjivane sile ekstenzora (istezanje sonde) i fleksora (sabijanje sonde) u zglobu kolena; **d.** položaj monitora na kojima je u realnom vremenu praćena promena sile registrovana korišćenjem dve sonde; **e.** prikazi na ekranima (profili sile u vremenu zabeleženi tokom izvođenja Bilateralnih antifaznih NUMK).

Za potrebe pilot istraživanja, a u cilju akvizicije i obrade signala, korišćen je program izrađen u softverskom paketu LabVIEW (Student Edition 8.2; National Instruments, Austin, USA). Promena sile u vremenu beležena je pri frekvenciji snimanja od 500 Hz. Snimljeni signal filtriran je korišćenjem niskopropusnog filtera od 10 Hz (*Butterworth* filter). Za potrebe određivanja maksimalne brzine razvoja sile računat je prvi izvod prethodno isfiltriranog signala sile. Kriva prvog izvoda dodatno je filtrirana usrednjavanjem unutar pokretnog prozora od 20 ms (*Moving Average* filter).

Svi eksperimentalno dobijeni podaci obrađeni su postupcima deskriptivne statistike. Za sve zavisne varijable računata su srednja vrednost (SV) i standardna devijacija (SD). Procena pouzdanosti između ponavljanih merenja vršena je na osnovu računatog intraklasnog koeficijenta korelacije (ICC; Hopkins 2000) za sve zavisne varijable testova Bilateralnih NUMK. Analiza varijanse sa ponovljenim merenjem je korišćena za procenu sistematskih razlika između tri ponavljanja unutar istog merenja. Apsolutna varijabilnost (unutar-individualna; eng. „*within-individual*“) procenjivana je na osnovu standardne greške merenja (SEM), kao i na osnovu koeficijenta varijacije (CV; Hopkins 2000). Za procenu povezanosti unutar i između varijabli testova neuromišićne funkcije, kao i njihove povezanosti sa varijablom testa prirodnog vertikalnog skoka, računat je Pirsonov koeficijent korelacije (*R*). Nivo statističke značajnosti je bio podešen na $p = 0,05$. Svi statistički testovi su računati korišćenjem aplikativnog statističkog paketa SPSS 16.0 (SPSS, Inc, Chicago, IL).

1.4.4 Rezultati pilot istraživanja sa diskusijom

Na Grafiku 1 prikazani su profili sila i brzina razvoja sila u vremenu zabeleženi kod reprezentativnog ispitanika. Na gornjim panelima predstavljene su krive promena sile zabeležene u STJ (levi grafik) i testovima NUMK (desni grafik) izvedenih različitim varijantama (Unilateralne NUMK, Bilateralne fazne NUMK i Bilateralne antifazne NUMK). Maksimalne vrednosti na ovim graficima označene su kao Maksimalna sila (F_{max} za STJ), odnosno Vrh sile (VS za različite varijante NUMK).



Grafik 1: Profili sila i brzine razvoja sila u vremenu zabeleženi kod reprezentativnog ispitanika u Standardnom testu jačine (STJ; F_{max} i BRS_{max}) i testovima Naizmeničnih maksimalnih kontrakcija (NUMK; VS i BRS) izvedenih različitim varijantama (Unilateralne NUMK, Bilateralne fazne NUMK i Bilateralne antifazne NUMK). U cilju boljeg razumevanja grafika, sile i brzine razvoja sile za mišiće fleksore predstavljene su negativnim vrednostima.

Na donjim panelima Grafika 1 predstavljene su krive promena brzine razvoja sile u vremenu zabeležene u STJ (levi grafik) i različitim varijantama NUMK (desni grafik). Maksimalne vrednosti na ovim graphicima označene su kao Maksimalna brzina razvoja sile (BRSmax za STJ), odnosno brzina razvoja sile (BRS za različite varijante NUMK). Analizom prikazanih grafika, jasno se uočava stabilnost zabeleženih profila sile, kako u STJ, tako i u različitim varijantama NUMK. Stabilni profili sile omogućavaju dobijanje stabilnih profila promena brzine razvoja sile u vremenu, s obzirom da se direktno računaju na osnovu njih. Time je pokazano da primenjeni protokol testiranja obezbeđuje osnovne uslove za dobijanje pouzdanih varijabli u okviru novog alternativnog testa za procenu neuromišićne funkcije zasnovanog na bilateralnoj mišićnoj aktivnosti.

U okviru pilot istraživanja, pouzdanost novog alternativnog testa procenjena je na osnovu povezanosti između tri ponovljena pokušaja. Pored toga, analizom varijanse sa ponovljenim merenjem ispitivane su sistematske razlike između tri ponovljena pokušaja. Za obe varijante testa bilateralnih NUMK (Bilateralnih faznih NUMK i Bilateralnih antifaznih NUMK) dobijena je visoka pouzdanost između ponavljanja ($ICC > 0,80$; za detalje videti Tabele 1 i 2). Čak su se i gotovo svi 95 % intervali pouzdanosti (CI 95 %) računatih ICC koeficijenata našli unutar intervala kojim se definiše visoka pouzdanost evaluiranog testa ($0,80 < CI\ 95\ \% < 1,00$). Izuzetak je niži CI za BRS zabeleženoj pri ekstenziji dominantne noge tokom Bilateralnih antifaznih NUMK ($CI\ 95\ \% = 0,71 - 0,95$). Naknadnom analizom, ustanovljeno je da su ICC vrednosti dobijene za varijable testova bilateralnih NUMK (VS i BRS) bile unutar 95 % intervala pouzdanosti ICC vrednosti dobijenih za varijable STJ (Fmax i BRSmax; pokazatelji pouzdanosti za varijable STJ, uključujući i vrednosti ICC nisu prikazani u ovom radu, ali su za potrebe dodatnih analiza računati). Dalje, apsolutna i relativna varijabilnost koje su procenjivane na osnovu standardne greške u merenju (SEM), odnosno računatih koeficijenata varijacije (CV%) pokazuju da su varijacije unutar merenja bile relativno male. Naime, dobijene relativne mere varijacije za ispitanike (CV%) bile su izrazito niske (manje od 5 %). U Tabelama 1 i 2 prikazane su još i F vrednosti dobijene primenom analize varijanse sa ponovljenim merenjima. Na osnovu prikazanih vrednosti, može se uočiti da su sistemske razlike između tri ponovljena pokušaja

pronađene samo kod VS zabeleženih pri ekstenziji dominantne noge tokom Bilateralnih faznih NUMK.

Na osnovu rezultata pilot istraživanja prikazanih u Tabelama 1 i 2, može se pretpostaviti da su obe varijante novog alternativnog testa za procenu neuromišićne funkcije zasnovane na izvođenju bilateralnih NUMK (Bilateralne fazne NUMK i Bilateralne antifazne NUMK) visoko pouzdane, s obzirom da ponovljena merenja pokazuju visoku međusobnu povezanost i istovremeno odsustvo sistemskih međusobnih razlika. Konačan zaključak vezano za pouzdanost evaluiranih varijanti novog testa, moguće je doneti tek na osnovu rezultata ponovljenog istraživanja, koje bi uz primenu istih testovnih i statističkih procedura obuhvatilo i značajno veći broj ispitanika.

Tabela 1. Deskriptivni pokazatelji tri ponovljena pokušaja **Bilateralnih faznih NUMK** [srednja vrednost (SV) i standardna devijacija (SD)] i odgovarajući koeficijenti pouzdanosti [standardna greška merenja (SEM), koeficijent varijacije (CV) i intraklas korelacioni koeficijent (ICC)].

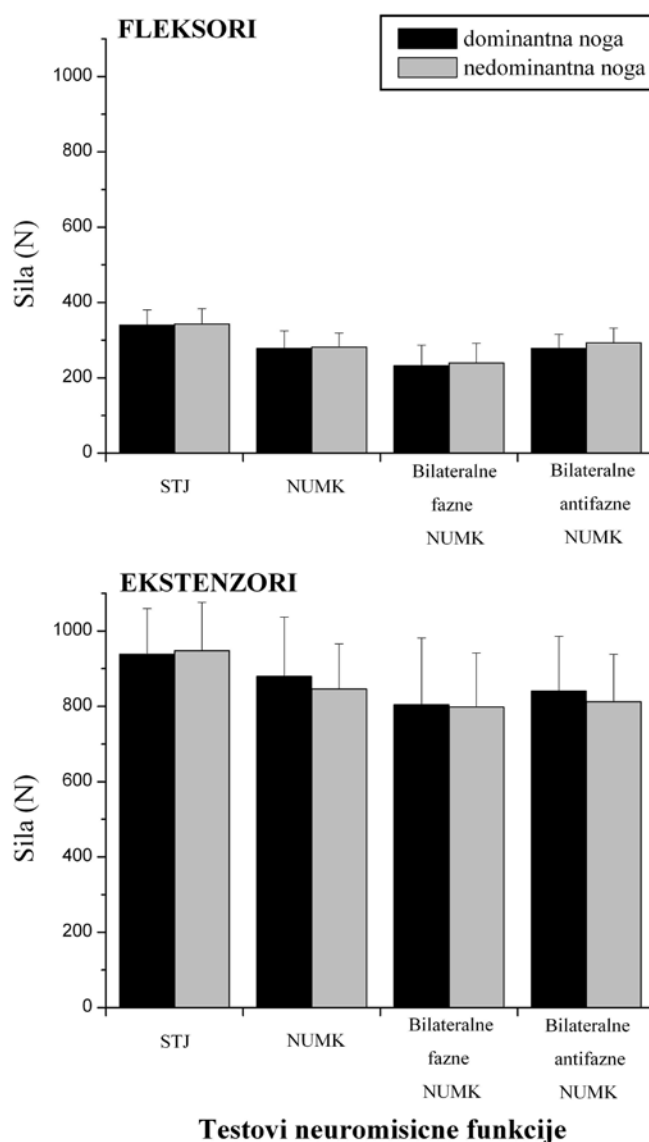
Noga	Varijable	Mišićna grupa	1. pokušaj SV ± SD	2. pokušaj SV ± SD	3. pokušaj SV ± SD	Promena SV 2-1	Promena SV 3-2	F vrednost	SEM	CV	ICC	CI 95%
Dom	VS	EXT	797 ± 181	817 ± 176	798 ± 178	20	-19.3	13.90**	8.3	1.3	1	0.99-1.00
		FLX	241 ± 55	229 ± 54	225 ± 55	-11.4	-3.7	3.71	10.7	4.7	0.96	0.91-0.98
	BRS	EXT	5346 ± 1163	6315 ± 1218	6433 ± 1197	-171.3	-34.1	2.32	226.1	4.4	0.99	0.98-1.00
		FLX	6805 ± 1634	6878 ± 1800	6711 ± 1845	73.5	-167.5	1.25	189.1	3.6	0.99	0.97-0.99
Ndom	VS	EXT	792 ± 147	796 ± 130	807 ± 155	4.1	11.1	0.71	25.3	2.9	0.98	0.95-0.99
		FLX	241 ± 48	240 ± 52	240 ± 57	-1.4	0.3	0.04	8.2	3.8	0.98	0.94-0.99
	BRS	EXT	5261 ± 716	5190 ± 627	5244 ± 686	70.8	54	0.29	193.1	3.9	0.92	0.80-0.97
		FLX	6792 ± 1473	6782 ± 1464	6791 ± 1695	-9.5	12.9	0.01	153.6	2.7	0.99	0.97-1.00

Dom – dominantna noga; Ndom – nedominantna noga; VS – vrh sile; BRS – brzina razvoja sile; EXT – ekstenzori; FLX - fleksori

Tabela 2. Deskriptivni pokazatelji tri ponovljena pokušaja **Bilateralnih antifaznih NUMK** [srednja vrednost (SV) i standardna devijacija (SD)] i odgovarajući koeficijenti pouzdanosti [standardna greška merenja (SEM), koeficijent varijacije (CV) i intraklas korelacioni koeficijent (ICC)].

Noga	Varijable	Mišićna grupa	1. pokušaj SV ± SD	2. pokušaj SV ± SD	3. pokušaj SV ± SD	Promena SV 2-1	Promena SV 3-2	F vrednost	SEM	CV	ICC	CI 95%
Dom	VS	EXT	850 ± 149	841 ± 146	828 ± 142	-8.4	-13.6	2.98	16.7	2.2	0.99	0.96-0.99
		FLX	255 ± 33	292 ± 43	288 ± 38	-2.4	3.8	0.67	10.5	3.3	0.94	0.85-0.97
	BRS	EXT	6755 ± 791	6545 ± 603	6591 ± 701	-210.16	46	1.38	247.7	3.9	0.88	0.71-0.95
		FLX	7179 ± 1054	7183 ± 1017	6990 ± 1050	4.9	-193.3	3.53	143.4	2.1	0.98	0.96-0.99
Ndom	VS	EXT	816 ± 131	813 ± 119	808 ± 129	-3.5	-4.9	0.29	19.8	2.6	0.97	0.93-0.99
		FLX	298 ± 40	293 ± 39	287 ± 39	-5.1	-5.7	3.39	6.4	2.2	0.98	0.95-0.99
	BRS	EXT	6411 ± 1302	6252 ± 1229	6327 ± 1381	-158.2	74.7	1.67	163.1	2.7	0.98	0.96-0.99
		FLX	6771 ± 1422	6791 ± 1234	6717 ± 1454	-19.9	74.1	0.24	226.2	3.2	0.97	0.93-0.99

Dom – dominantna noga; Ndom – nedominantna noga; VS – vrh sile; BRS – brzina razvoja sile; EXT – ekstenzori; FLX - fleksori



Grafik 2. Uporedni prikaz srednjih vrednosti maksimalnih sila i odgovarajućih standardnih devijacija dominantne i nedominantne noge zabeleženih prilikom izvođenja Standardnog testa jačina (STJ), Naizmeničnih uzastopnih maksimalnih kontrakcija (NUMK), Bilateralnih faznih NUMK i Bilateralnih antifaznih NUMK.

Od posebnog značaja za buduću primenu Bilateralnih NUMK, bilo je posmatranje potencijalnih razlika u ostvarenoj sili između različitih testova neuromišićne funkcije. Na Grafiku 2 uporedno su prikazani, odvojeno za dominantnu i nedominantnu nogu, deskriptivni pokazatelji (SV i SD) za STJ, Unilateralne NUMK, Bilateralne fazne NUMK i Bilateralne antifazne NUMK. Na gornjem grafiku prikazani su odgovarajući rezultati dobijeni testiranjem fleksora, a na donjem ekstenzora u zglobu kolena. U oba slučaja uočava se isti raspored dostignutih sila. Prvo, posmatrano i kod

fleksora i kod ekstenzora, najviše vrednosti sile zabeležene su kod STJ. Ovaj nalaz prisutan je kod obe noge (dominantne i nedominantne) i konzistentan je sa nalazima u prethodne dve studije u okviru kojih su evaluirani testovi zasnovani na uzastopnim maksimalnim kontrakcijama (Suzović 2009; Božić 2011). Potencijalan značaj ovog nalaza je u tome što niži nivoi sile u alternativnim testovima, razvijani tokom kratkih ponavljanih kontrakcija, omogućavaju prevazilaženje jednog od navedenih nedostataka STJ, koji se tiče bolnih i neprijatnih osećaja izazvanih dugotrajnim ispoljavanjem maksimalne sile. Naravno, ovaj nalaz može biti značajan samo pod uslovom da alternativni testovi pokazuju visok stepen povezanosti sa STJ, odnosno da imaju visoku konkurentnu validnost.

Drugo, vrednosti zabeležene sile u Bilateralnim faznim NUMK su, posmatrano i kod fleksora i kod ekstenzora, niže u odnosu na preostale dve varijante testova NUMK (Unilateralne NUMK i Bilateralne antifazne NUMK). Zapaža se da je i ovaj nalaz prisutan kod obe noge (dominantne i nedominantne). Potencijalan značaj drugog nalaza ukazuje na različite vrednosti bilateralnog deficita kod dve različite varijante bilateralnih testova NUMK. Naime, pri određivanju bilateralnog deficita upoređuju se sumarne vrednosti sile koje mišići jednog ekstremiteta ostvare kad deluju samostalno, odnosno kada deluju združeno sa mišićima drugog ekstremiteta. Dobijeni rezultati pokazuju da je bilateralni deficit manji kod Bilateralnih antifaznih NUMK, odnosno da u ovoj varijanti on praktično i ne postoji, jer su dostignuti nivoi sile približno jednaki sa nivoima sile u Unilateralnim NUMK.

Ova dva potencijalno značajna nalaza potrebno je potvrditi u okviru nove studije sa većim brojem ispitanika, čime bi se omogućila i dodatna statistička analiza dobijenih rezultata, koja je u slučaju pilot istraživanja, zbog relativno malog broja ispitanika, namerno izostavljena. Čak šta više, u okviru nove studije bi trebalo proveriti mogućnost generalizacije drugog nalaza vezanog za bilateralni deficit, tako što bi se i STJ izvodio u uslovima bilateralne fazne i antifazne mišićne aktivnosti.

Tabela 3. Međusobna povezanost različitih varijabli Standardnog testa jačine (STJ) sa različitim varijablama testova Naizmeničnih uzastopnih maksimalnih kontrakcija (NUMK; **Unilateralne NUMK**, **Bilateralne fazne NUMK** i **Bilateralne antifazne NUMK**).

	Unilateralne NUMK				Bilateralne fazne NUMK				Bilateralne antifazne NUMK			
	EXT		FLX		EXT		FLX		EXT		FLX	
	VS	BRS	VS	BRS	VS	BRS	VS	BRS	VS	BRS	VS	BRS
STJ												
EXT												
F_{max}	.661	.719	.281	.517	.436	.465	-.108	.359	.709	.649	.043	.539
BRS_{max}	.546	.721	.397	.628	.550	.609	.171	.538	.509	.484	.261	.621
FLX												
F_{max}	.500	.637	.559	.680	.601	.641	.443	.569	.374	.326	.539	.608
BRS_{max}	.195	.448	.385	.417	.347	.448	.349	.357	.100	.114	.368	.377

Fmax – maksimalna sila; BRSmax – maksimalna brzina razvoja sile; VS – vrh sile; BRS – brzina razvoja sile; EXT – ekstenzori; FLX – fleksori.

Konkurentna validnost novog alternativnog testa za procenu neuromišićne funkcije zasnovanog na izvođenju bilateralnih NUMK, procenjivana je na osnovu povezanosti varijabli novog testa sa odgovarajućim varijablama STJ i Unilateralnih NUMK. U Tabeli 3 prikazane su vrednosti Pearsonovog koeficijenta korelacije (R) računatog između rezultata testova NUMK sa jedne i STJ, sa druge strane. Prvo, kada se unutar zasebnog testa (bilo Unilateralnih NUMK, bilo Bilateralnih faznih ili antifaznih NUMK) posmatraju odvojeno ekstenzori i fleksori, primećuje se da su vrednosti R za ekstenzore umerene i nešto više nego za fleksore. Drugo, kada se posmatra povezanost između VS i Fmax i BRS i BRSmax, zapaža se da Bilateralne antifazne NUMK, u odnosu na Unilateralne NUMK, a posebno u odnosu na Bilateralne fazne NUMK, beleže više vrednosti R , što je izraženije kada se posmatraju ekstenzori. Ovi nalazi izdvajaju test Bilateralnih antifaznih NUMK i daju mu blagu prednost u odnosu na testove Unilateralnih NUMK i Bilateralnih faznih NUMK.

Izdvojenost testa Bilateralnih antifaznih NUMK potvrdila se delimično i kada su međusobno upoređeni testovi NUMK (Tabela 4). Naime, prikazane vrednosti R pokazuju da između testova Unilateralnih NUMK i Bilateralnih faznih NUMK postoji visoka i statistički značajna povezanost, dobijena odvojeno za ekstenzore i fleksore, i odvojeno za VS i BRS. Kada se Bilateralne antifazne NUMK uporede sa preostala dva testa NUMK, visoka i statistički značajna povezanost dobija se samo za VS ekstenzora i BRS fleksora.

Konačno, po pitanju validnosti novog alternativnog testa neuromišićne funkcije zasnovanog na izvođenju bilateralnih NUMK, može se zaključiti da varijanta testa sa Bilateralnim antifaznim NUMK, pokazuje veću povezanost sa STJ. Kako STJ ima očiglednu validnost moglo bi se smatrati da Bilateralne antifazne NUMK u izvesnoj meri bolje procenjuju ono za šta su namenjene od Unilateralnih NUMK i posebno Bilateralnih faznih NUMK. Ipak, i ovaj nalaz je neophodno proveriti kroz novu studiju sa većim brojem ispitanika, jer se izračunate vrednosti koeficijenata korelacije R moraju, za tako mali broj ispitanika ($N=7$), posmatrati sa dozom rezerve i opreza.

Tabela 4. Međusobna povezanost različitih varijabli testova Naizmeničnih uzastopnih maksimalnih kontrakcija (NUMK; **Unilateralne NUMK, Bilateralne fazne NUMK i Bilateralne antifazne NUMK**).

	Unilateralne NUMK				Bilateralne fazne NUMK				Bilateralne antifazne NUMK			
	EXT		FLX		EXT		FLX		EXT		FLX	
	VS	BRS	VS	BRS	VS	BRS	VS	BRS	VS	BRS	VS	BRS
Unilateralne NUMK												
EXT												
VS	1											
BRS	.726	1										
FLX												
VS	.604	.846*	1									
BRS	.959**	.756*	.712	1								
Bilateralne fazne NUMK												
EXT												
VS	.949**	.622	.593	.978**	1							
BRS	.784*	.866*	.890**	.870*	.777*	1						
FLX												
VS	.399	.558	.894**	.569	.490	.800*	1					
BRS	.899**	.570	.566	.947**	.981**	.787*	.528	1				
Bilateralne antifazne NUMK												
EXT												
VS	.928**	.674	.469	.842*	.857*	.597	.188	.793*	1			
BRS	.704	.390	.066	.591	.643	.197	-.252	.546	.868*	1		
FLX												
VS	.417	.049	.043	.461	.505	.069	-.044	.393	.370	.574	1	
BRS	.909**	.681	.553	.915**	.932**	.666	.337	.882**	.941**	.816*	.512	1

VS – vrh sile; BRS – brzina razvoja sile; EXT – ekstenzori; FLX – fleksori.

Tabela 5. Međusobna povezanost različitih varijabli Standardnog testa jačine (STJ) i testova Naizmeničnih uzastopnih maksimalnih kontrakcija (NUMK; **Unilateralne NUMK**, **Bilateralne fazne NUMK** i **Bilateralne antifazne NUMK**) sa testom Prirodnog vertikalnog skoka sa zamahom rukama (PVS).

	STJ			
	EXT		FLX	
	F_{max}	BRS_{max}	F_{max}	BRS_{max}
PVS	0.07	-0.36	-0.45	-0.57

	Unilateralne NUMK			
	EXT		FLX	
	VS	BRS	VS	BRS
PVS	0.23	-0.27	-0.32	0.05

	Bilateralna fazne NUMK			
	EXT		FLX	
	VS	BRS	VS	BRS
PVS	0.20	-0.34	-0.41	0.15

	Bilateralna antifazne NUMK			
	EXT		FLX	
	VS	BRS	VS	BRS
PVS	0.47	0.61	0.25	0.33

F_{max} – maksimalna sila; BRS_{max} – maksimalna brzina razvoja sile;
 VS – vrh sile; BRS – brzina razvoja sile; EXT – ekstenzori; FLX – fleksori.

Na kraju, ali ne po značaju, ispitivana je i eksterna validnost novog alternativnog testa. Naime, na osnovu računatih vrednosti R , procenjavana je međusobna povezanost različitih testova za procenu neuromišićne funkcije (STJ, Unilateralne NUMK, Bilateralne fazne NUMK i Bilateralne antifazne NUMK) sa rezultatima testa prirodnog vertikalnog skoka sa zamahom rukama (PVS).

Rezultati prikazani u Tabeli 5 pokazuju delom začuđujuće rezultate za većinu evaluiranih testova, izuzev za test Bilateralnih antifaznih NUMK. Naime, negativne korelacije koje su dobijene u preostala tri testa mogu se smatrati, sa jedne strane, nelogičnim nalazom, ali ipak, sa druge strane, ne i neobičnim, s obzirom na mali broj ispitanika. U isto vreme, nalaz dobijen kod Bilateralnih antifaznih NUMK je očekivan i lako objašnjiv. Veće vrednost R dobijene kod ekstenzora, nego kod fleksora, u vezi su sa muskulaturom aktivnom prilikom odskoka, kada svojom koncentričnom

kontrakcijom dominiraju ekstenzori. Dalje, veće vrednosti R dobijene kod BRS, nego kod VS, u vezi su sa vrstom mišićne aktivnosti, koju prilikom odskoka karakterišu brzi oblici ispoljavanja umerene sile, što je prikladnije procenjivati parametrima eksplozivnosti, kao što je zasigurno BRS. Umerene vrednosti R dobijene za ekstenzore, poredive su sa vrednostima R dobijenim u studiji Božića (2011).

Konačno, bez obzira na napred iznete nalaze, i ispitivanje eksterne validnosti zahteva novu studiju u kojoj bi, zahvaljujući većem broju ispitanika, sasvim sigurno bila izbegnuta situacija gde se dobijaju iznenađujući i teško objašnjivi rezultati. Pored toga, nova studija bi trebalo da obuhvati i veći broj različitih motoričkih testova kojima se procenjuju različita svojstva mišića, kao što su, na primer, svojstva mišića da ispoljavaju maksimalnu jačinu (silu), maksimalnu snagu ili maksimalnu brzinu skraćanja.

2. Problem, predmet, ciljevi i zadaci istraživanja

Problem realizovanog istraživanja odnosio se na validnu i pouzdanu procenu neuromišićne funkcije. Ovaj problem se delom javio i zbog nedostataka koji su uočeni kod primene Standardnog testa jačine (STJ). Problem je u tom veći, jer je STJ najčešće korišćeni test u proceni neuromišićne funkcije.

Predmet realizovanog istraživanja odnosio se na evaluaciju novog alternativnog testa za procenu neuromišićne funkcije zasnovanog na izvođenju naizmeničnih uzastopnih maksimalnih kontrakcija (NUMK) u uslovima bilateralne mišićne aktivnosti.

Ciljevi realizovanog istraživanja bili su sledeći:

1. Ispitivanje pouzdanosti novog alternativnog testa, na osnovu povezanosti između tri pokušaja.
2. Ispitivanje konkurentne validnosti novog alternativnog testa, na osnovu povezanosti sa STJ i unilateralnim NUMK.
3. Ispitivanje latentne strukture motoričkog prostora procenjivane na osnovu varijabli STJ i testa NUMK.
4. Ispitivanje eksterne (spoljašnje) validnosti novog alternativnog testa, na osnovu povezanosti sa rezultatima motoričkih testova, kojima se procenjuju različita svojstva mišića, kao što su, na primer, svojstva mišića da ispoljavaju maksimalnu jačinu (silu), maksimalnu snagu ili maksimalnu brzinu.
5. Ispitivanje bilateralnog deficita kod evaluiranih testova i istovremena procena mogućnosti generalizacije na osnovu podudarnosti nalaza dobijenih u STJ i testu NUMK.

Realizacija postavljenih ciljeva istraživanja operacionalizovana je kroz sledeće zadatke:

1. Formiranje grupe ispitanika;
2. Procena morfološkog statusa ispitanika (visina tela, masa tela, *body-mass* indeks, masa mišićnog tkiva, masa masnog tkiva).
3. Procena neuromišićne funkcije primenom STJ i Unilateralnih NUMK, kao i procena neuromišićne funkcije primenom STJ i NUMK izvođenih u uslovima bilateralne fazne i antifazne mišićne aktivnosti.

4. Procena motoričkog statusa ispitanika primenom sledećih testova: Sprint na 10 m iz visokog starta, Sprint na 20 m sa letećim startom, Margarija test, Vertikalni skok iz polučučnja, Prirodni vertikalni skok, maksimalna visina vertikalnog skoka u Skoku uvis nakon saskoka, maksimalna snaga mišića u Skoku uvis nakon saskoka, Jedan ponavljajući maksimum iz polučučnja, maksimalna i srednja snaga mišića u Skoku iz polučučnja sa opterećenjem.
5. U okviru cilja istraživanja koji se odnosio na ispitivanje eksterne validnosti novog alterantivnog testa, izvršena je normalizacija rezultata motoričkih testova i testova neuromišićne funkcije u odnosu na masu tela. U normalizaciji testova bile su korišćene teorijski predviđene vrednosti alometrijskih eksponenata b .
6. U okviru cilja istraživanja koji se odnosio na ispitivanje bilateralnog deficita kod primenjenih testova, izvršeno je sabiranje vrednosti sila ostvarenih u uslovima unilateralne aktivnosti odgovarajućih mišića jedne pa druge noge, odnosno bilateralne istovremene aktivnosti odgovarajućih mišića obe noge.
7. Osnovna deskriptivna i komparativna statistička analiza posmatranih varijabli.

3. Hipoteze istraživanja

U skladu sa definisanim ciljevima, a na osnovu problema uočenog pregledom dosadašnjih istraživanja, i posebno na osnovu nalaza pilot istraživanja, u okviru realizovanog istraživanja testirano je pet istraživačkih hipoteza, zajedno sa dve pomoćne:

***H₁₋₁** – varijable testova sa bilateralnim faznim i antifaznim NUMK (VS i BRS) pokazaće visoku pouzdanost kod ponovljenih merenja.*

***H₁₋₂** – varijable testova sa bilateralnim faznim i antifaznim NUMK (VS i BRS) pokazaće u odnosu na STJ i Unilateralne NUMK visoku konkurentnu validnost.*

***H₁₋₃** – varijablama STJ jačine (Fmax i BRSmax) procenjuje se isto svojstvo mišića, dok se varijablama testa NUMK (VS i BRS) procenjuju različita svojstva mišića.*

***H_{1-3a}** – zabeleženi VS kod bilateralnih faznih i antifaznih NUMK pokazaće značajnu pozitivnu povezanost sa Fmax zabeleženoj u STJ i značajnu pozitivnu povezanost sa VS zabeleženim kod unilateralnih NUMK.*

***H_{1-3b}** – zabeležena BRS kod Bilateralnih faznih i antifaznih NUMK pokazaće značajnu pozitivnu povezanost sa BRS zabeleženoj kod unilateralnih NUMK, ali neće pokazati značajnu pozitivnu povezanost sa BRSmax zabeleženoj u STJ.*

***H₁₋₄** – VS i BRS zabeleženi u Bilateralnim antifaznim NUMK pokazaće, u odnosu na odgovarajuće varijable svih ostalih posmatranih testova neuromišićne funkcije, najviši stepen povezanosti sa rezultatima motoričkih testova.*

***H₁₋₅** – procena neuromišićne funkcije u uslovima bilateralne fazne mišićne aktivnosti dovodi do pojave bilateralnog deficita.*

4. Metode istraživanja

U ovom istraživanju je na osnovu eksperimentalno prikupljenih podataka urađena transversalna analiza rezultata dobijenih primenom različitih testova za procenu neuromišićne funkcije. Kao osnovni primenjen je empirijski metod, a kao pomoćni, statistički metod.

4.1 Tok i postupci istraživanja

Potrebni podaci bili su prikupljeni u okviru tri sesije testiranja, kojima je prethodila jedna sesija predviđena za familijarizaciju ispitanika sa testovima za procenu neuromišićne funkcije. Između svih sesija su bila najmanje dva dana odmora, kako pojava eventualnog zamora ne bi uticala na dobijene rezultate. U okviru prve testovne sesije, na njenom samom početku, uvek su bila vršena, prvo, sva antropometrijska merenja, a potom procena neuromišićne funkcije na osnovu rezultata dobijenih u 3 varijante bilo STJ, bilo NUMK. Naime, metodom slučajnog izbora bilo je utvrđivano koji će od ova dva testa, odnosno njegove varijante, biti sprovedeni prvog, a koji drugog dana. Razlog tome bilo je izbegavanje svake mogućnosti eventualnog uticaja redosleda u izvođenju testova na dobijene rezultate. Konačno, u okviru treće testovne sesije uvek su bili mereni rezultati u testovima motoričkih sposobnosti: Sprint na 10 m iz visokog starta, Sprint na 20 m sa letećim startom, Margarija test, Vertikalni skok iz polučučnja, Prirodni vertikalni skok, maksimalna visina vertikalnog skoka u Skoku uvis nakon saskoka, maksimalna snaga mišića u Skoku uvis nakon saskoka, Jedan ponavljajući maksimum iz polučučnja, maksimalna i srednja snaga mišića u Skoku iz polučučnja sa opterećenjem. Redosled u izvođenju motoričkih testova je takođe bio određivan metodom slučajnog izbora, s tim što je test Jednog ponavljajućeg maksimuma iz polučučnja uvek prethodio testu za procenu maksimalne i srednje snage mišića u Skoku iz polučučnja sa opterećenjem. Prva i druga testovna sesija bile su organizovane za svakog ispitanika pojedinačno, dok su se u okviru treće testovne sesije ispitanici organizovali po grupama od šest, s obzirom da je ovolika grupa omogućavala nesmetano sprovođenje predviđenog protokola testiranja, a istovremeno je racionalizovala ukupno utrošeno vreme.

Primenom određenih statističkih procedura bila je izvršena analiza dobijenih rezultata.

4.2 Uzorak ispitanika

Istraživanjem je bilo obuhvaćeno 25 studenata sa različitih fakulteta Beogradskog univerziteta. Pregledom ranijih istraživanja utvrđeno je da približan broj ispitanika, omogućava dobijanje validnih rezultata predviđenih statističkih analiza. Cilj nije bilo formiranje homogenog uzorka, s obzirom da izrazito homogeni uzorci ograničavaju rezultate komparativnih analiza, odnosno veštački snižavaju vrednosti računatih koeficijenata korelacije (R). U tom smislu, nikakvi posebni zahtevi po pitanju fizičke aktivnosti nisu bili postavljani u procesu selekcije ispitanika. Jedini kriterijum za isključivanje pojedinca iz uzorka bilo je postojanje istorije neuroloških oboljenja, koja je mogla negativno da utiče na dobijene rezultate.

Postojanje potencijalnih negativnih uticaja projektovanih testovnih procedura na psihološki i zdravstveni status ispitanika, ispitivala je tročlana Etička komisija Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja, Univerziteta u Beogradu. Ista je dala pozitivno mišljenje i odobrila primenu navedenih procedura (odluka 02-br. 656-2, od 08.03.2012. godine; videti Prilog 2). Bez obzira na to, pre započinjanja testiranja svi ispitanici su bili detaljno upoznati sa predmetom i ciljem istraživanja. Kompletно su im bili objašnjeni svi protokoli testiranja sa posebnim naznakama vezanim za moguće rizike od povreda. Svaki ispitanik je, shodno tome, potpisivao svojevolutni pristanak za učešće u istraživanju, sa naznakom da će, ukoliko tokom testiranja bude prijavio određene zdravstvene probleme, biti prekinuto njegovo dalje učešće.

4.3 Uzorak varijabli i način njihovog merenja

Sve varijable istraživanja bile su podeljene u dve grupe u odnosu na njihovu metodološku prirodu.

Prvu grupu činilo je 5 nezavisnih varijabli **morfološkog statusa** i to: visina tela, masa tela, *body-mass* indeks, masa mišićnog tkiva, masa masnog tkiva.

Drugu grupu činilo je 48 zavisnih varijabli **za procenu neuromišićne funkcije**. Sve varijable su bile dobijene primenom 6 različitih testova: STJ, Bilateralni fazni STJ, Bilateralni antifazni STJ, Unilateralne NUMK, Bilateralne fazne NUMK i Bilateralne antifazne NUMK. U okviru svakog od navedenih testova računato je 8 različitih varijabli i to: Fmax i BRSmax u varijantama STJ, odnosno VS i BRS u varijantama testa NUMK, odvojeno za ekstenzore i fleksore u zglobu kolena, dominantne i nedominantne noge.

Treću grupu činilo je 10 zavisnih varijabli **za procenu motoričkog statusa**. Sve varijable su dobijene primenom različitih motoričkih testova, kojima su procenjivana pojedina motorička svojstva mišića i to: vreme u Sprintu na 10 m sa visokim startom, vreme u Sprintu na 20 m sa letećim startom, maksimalna snaga mišića u Margarija testu, maksimalna visina Vertikalnog skoka iz polučučnja, maksimalna visina Prirodnog vertikalnog skoka, maksimalna visina vertikalnog skoka u Skoku uvis nakon saskoka, maksimalna snaga mišića u Skoku uvis nakon saskoka, Jedan ponavljajući maksimum iz polučučnja, maksimalna snaga mišića u Skoku iz polučučnja sa opterećenjem i srednja snaga mišića u Skoku iz polučučnja sa opterećenjem.

4.3.1 Procena morfološkog statusa

Procena morfološkog statusa ispitanika vršena je na osnovu podataka prikupljenih merenjem visine tela i mase tela, na osnovu kojih su, uključujući i parametre za pol i uzrast, bili računati *body-mass* indeks, masa mišićnog tkiva i masa masnog tkiva. Tokom svih antropometrijskih merenja ispitanici su bili bosi i minimalno obučeni (samo kratki šorc).

- **Visina tela (H):** Merenje visine tela vršeno je korišćenjem antropometra po Martinu čija je tačnost merenja bila 0.1 cm. Bilo je potrebno da se ispitanik nalazi u standardnom stojećem stavu na čvrstoj, vodoravnoj podlozi. Stopala su bila sastavljena, a pete, sedalna regija i gornji deo leđa dodirivali su antropometar. Glava se nalazila u položaju Frankfurtske ravni i nije smela da dodiruje skalu antropometra.

- **Masa tela (M):** Merenje mase tela vršeno je korišćenjem vage čija je tačnost merenja bila 0.1 kg. Vaga je prethodno bila kalibrisana (Norton, Marfell-Jones i sar. 2000).
- **Body-mass indeks (BMI):** Bio je računat korišćenjem sistema za analizu bioelektrične impedance (*InBody 720*, *Biospace*, Seul, Južna Koreja), a na osnovu standardne formule $BMI = M / H^2$.
- **Masa skeletnih mišića (MSM):** Bila je određivana korišćenjem sistema za analizu bioelektrične impedance (*InBody 720*, Južna Koreja). Naime, ovaj sistem procenjuje strukturu sastava tela emitovanjem niske, bezbedne doze struje (800 μ amp) kroz ljudski organizam. Struja prolazi kroz telo – bez otpora kroz mišiće, dok otpor postoji pri prolasku kroz masno tkivo. Ovaj otpor se zove bioelektrična impedanca i meri se monitorima telesne masti. Kada se podesi za izabranog pojedinca (visina tela, masa tela, pol i uzrast), sistem na osnovu instaliranog softvera, izračunava procentualni sadržaj masti u strukturi sastava tela.
- **Masa telesnih masti (MTM):** Bila je određivana korišćenjem istog sistema i na isti način kao i MSM (za detalje videti prethodni odeljak).

4.3.2 Procena neuromišićne funkcije

U okviru procene neuromišićne funkcije korišćena su dva testa sa svojim odgovarajućim varijantama: Standardni test jačine (STJ) i test Naizmeničnih uzastopnih maksimalnih kontrakcija (NUMK).

Proceni neuromišićne funkcije ispitanika prethodila je standardna desetominutna procedura zagrevanja. Sva testiranja vršio je uvek isti merilac, prema unapred zadatom protokolu. Između dve sesije, kao i unutar iste sesije, testovi su bili sprovedeni u promenljivom rasporedu kako bi bili izbegnuti uticaji zamora na dobijene rezultate. Pre izvođenja svakog testa ispitanicima je, bez obzira na prethodno urađenu familijarizaciju, ponovo bio detaljno objašnjen protokol testa.

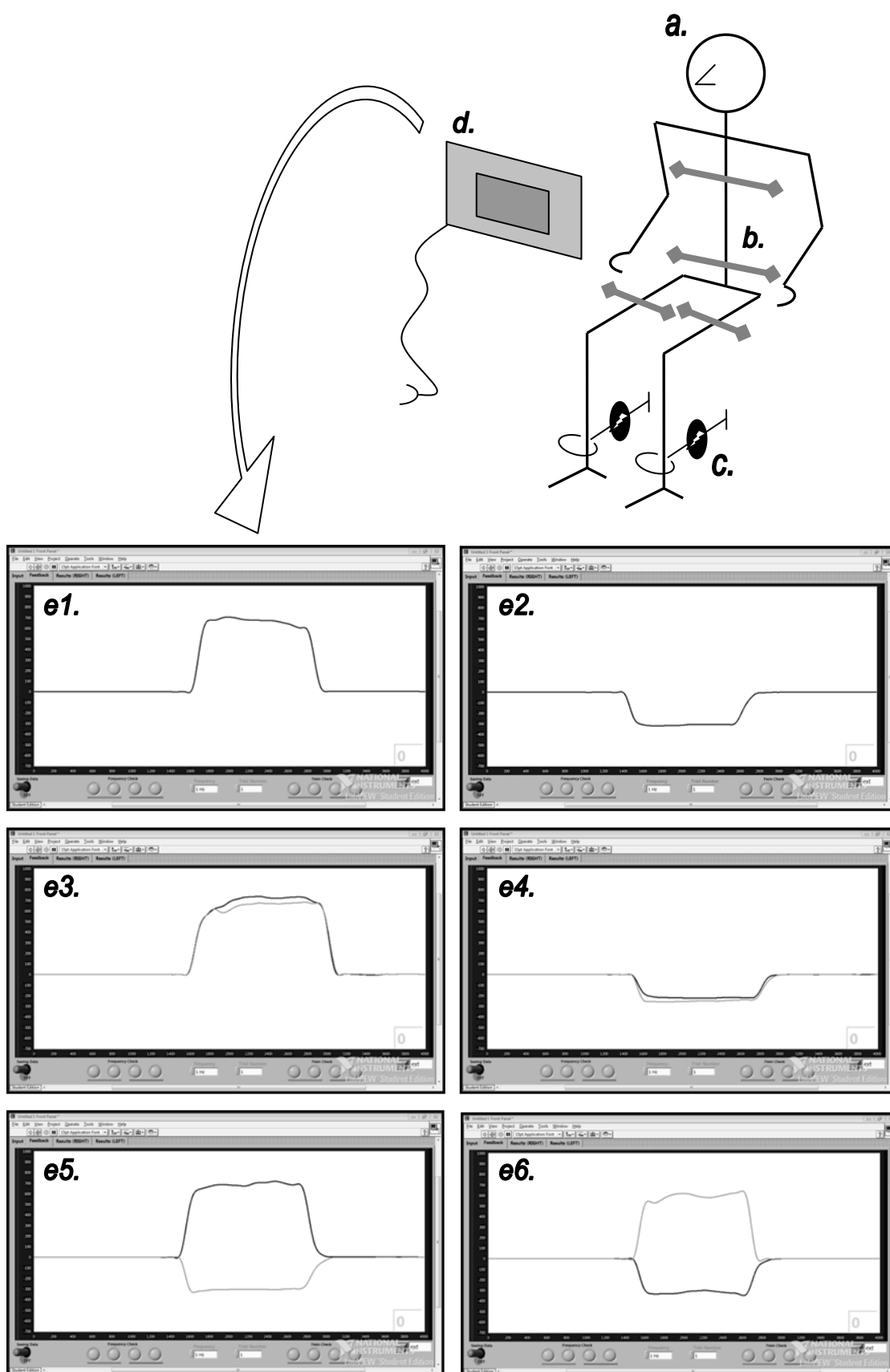
Svi testovi za procenu neuromišićne funkcije bili su izvođeni dva puta sa pauzama od 2 minuta između, izuzev testova Bilateralnih faznih i antifaznih NUMK koji su bili izvođeni tri puta. Ove dve varijante testa NUMK su bile izvođene tri puta, s obzirom da je jedan od ciljeva realizovanog istraživanja upravo bio da ispita pouzdanost ovih varijanti. S obzirom na instrukcije koje su bile davane ispitanicima „*da što brže razviju što veću silu*“, za dalju analizu uzimani su oni pokušaji koji su imali najveći proizvod za dve posmatrane varijable dobijene iz istog pokušaja (F_{max} i BRS_{max} u STJ, odnosno VS i BRS u NUMK). Kod varijanti testova u kojima se u okviru jednog pokušaja aktivira više mišićnih grupa (sve varijante izuzev Unilateralnog STJ) računane su srednje vrednosti proizvoda dobijenih za različite grupe mišića. Pokušaj u kojem je bila dobijena najviša srednja vrednost, uziman je za dalju analizu.

Procena neuromišićne funkcije vršena je korišćenjem specijalno dizajnirane stolice za dinamometrijska merenja (za detalje videti fotografije u Prilogu 3). Položaj ispitanika u stolici bio je fiksiran korišćenjem kaiša i podrazumevao je uglove u zglobovima kolena i kuka od 120° . Sonde dinamometra su bile sa čvrstim osloncem na konstrukciji stolice, a preko manžetni su bile fiksirane za gležnjeve ispitanika (iznad *malleolus lateralis*-a). Korišćene su sonde koje su bile osetljive na istezanje i sabijanje, tako da je bilo moguće istovremeno meriti silu ekstenzora i fleksora (opseg snimanja 5000N; proizvođač UNO-LUX NS d.o.o, Beograd, Srbija). Ispred ispitanika se nalazio jedan monitor sa kojeg su ispitanici dobijali vizuelne povratne informacije o trenutnoj promeni sile u vremenu. Po pitanju eksperimentalne postavke ovo je bila jedina razlika u odnosu na pilot istraživanje (videti Sliku 1). Naime, u okviru pilot istraživanja primećeno je da prilikom praćenja krivih na dva odvojena monitora, povremeno dolazi do podele pažnje, što je moglo negativno da utiče na konačni rezultat (za detalje videti Wilson i Murphy 1996). Stoga je u softverskom paketu LabVIEW (Student Edition 8.2; National Instruments, Austin, USA) izrađena unapređena verzija prethodno korišćenog programa, koja je u realnom vremenu omogućavala istovremeno praćenje dvaju krivih, kojima su prikazivane promene sile u vremenu za mišićne grupe dve različite noge. Promena sile u vremenu bila je beležena pri frekvenciji snimanja od 500 Hz. Snimljeni signal su bili filtrirani korišćenjem niskopropusnog filtera od 10 Hz (*Butterworth* filter). Za potrebe određivanja maksimalne brzine razvoja sile računat je prvi izvod prethodno

isfiltriranog signala sile. Kriva prvog izvoda bila je dodatno filtrirana usrednjavanjem unutar pokretnog prozora od 20 ms (*Moving Average filter*).

Standardni test jačine (STJ)

Varijante Standardnog testa jačine (STJ) koje su korišćene u proceni neuromišićne funkcije bile su: **Unilateralni STJ**, **Bilateralni fazni STJ** i **Bilateralni antifazni STJ**. Izvođenje unilateralnog STJ podrazumevalo je maksimalnu voljnu izometrijsku kontrakciju izabrane mišićne grupe. Ispitanik će imao zadatak da razvije maksimalnu silu za što kraće vreme i da dostignuti nivo sile zadrži 3-5 s. Iz zabeleženog signala sile u vremenu računata su dve varijable: (1) maksimalna sila (F_{max}) i (2) maksimalna brzina razvoja sile (BRS_{max}) kao maksimum prvog izvoda. Unilateralnim STJ odvojeno je procenjivana neuromišićna funkcija za mišiće ekstenzore i fleksore u zglobu kolena, prvo jedne, pa druge noge. Na isti način, primenom varijanti bilateralnog STJ istovremeno je procenjivana neuromišićna funkcija za mišiće obe noge. U bilateralnoj faznoj varijanti STJ testirana su istovremeno oba ekstenzora ili oba fleksora u zglobu kolena, jedne, pa druge noge. Sa druge strane, u bilateralnoj antifaznoj varijanti STJ testirani su istovremeno ekstenzor u zglobu kolena jedne i fleksor u zglobu kolena druge noge, i obrnuto fleksor u zglobu kolena jedne i ekstenzor u zglobu kolena druge noge (videti Sliku 2).

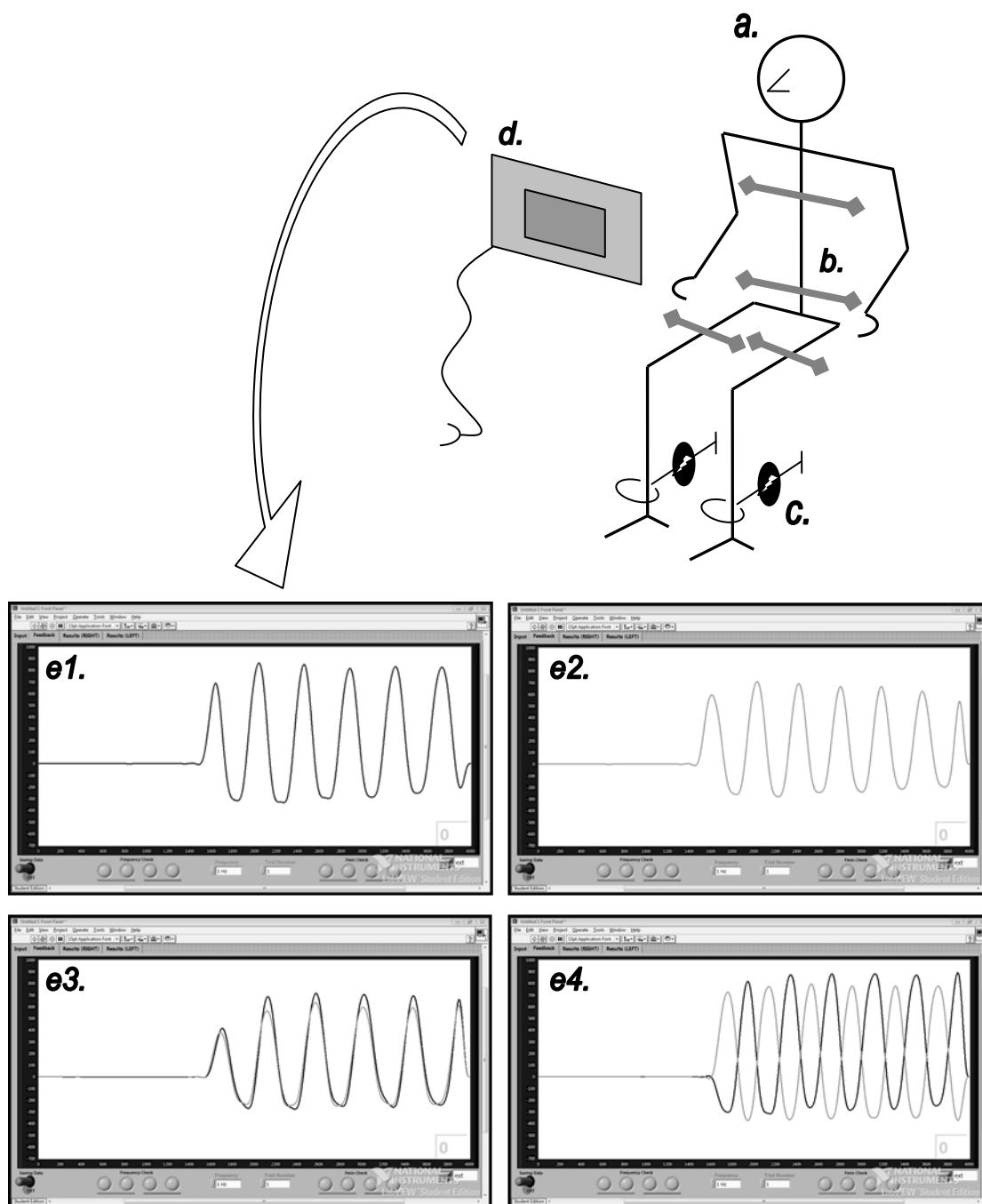


Slika 2. Eksperimentalna postavka; **a.** položaj ispitanika tokom testiranja; **b.** raspored kaiša kojim je fiksiran položaj ispitanika; **c.** položaj sonde dinamometra kojima su procenjene sile ekstenzora (istezanje sonde) i fleksora (sabijanje sonde) u zglobu kolena; **d.** položaj monitora na kojem su u realnom vremenu praćene promene sile registrovane korišćenjem dve sonde; **e.** prikazi na ekranima (profili sile u vremenu zabeleženi tokom izvođenja): **e1.** Unilateralnog STJ ekstenzora dominantne noge; **e2.** Unilateralnog STJ fleksora dominantne noge; **e3.** Bilateralnog faznog STJ ekstenzora; **e4.** Bilateralnog faznog STJ fleksora; **e5.** Bilateralnog antifaznog STJ ekstenzora dominantne noge – tamna linija i fleksora nedominantne noge – svetla linija; **e6.** Bilateralnog antifaznog STJ fleksora dominantne noge – tamna linija i ekstenzora nedominantne noge – svetla linija).

Naizmenične uzastopne maksimalne kontrakcije (NUMK)

Varijante testa Naizmeničnih uzastopnih maksimalnih kontrakcija (NUMK) koje su korišćene u proceni neuromišićne funkcije bile su: **Unilateralne NUMK**, **Bilateralne fazne NUMK** i **Bilateralne antifazne NUMK**. Izvođenje unilateralnih NUMK podrazumevalo je naizmenične maksimalne voljne izometrijske kontrakcije ekstenzora i fleksora u zglobu kolena. Ispitanik je imao zadatak da samoizabranom frekvencijom, naizmenično, što brže, razvija maksimalne sile ekstenzora i fleksora u zglobu kolena. U odnosu na pilot istraživanje, realizovano istraživanje se, između ostalog, razlikovalo i u odnosu na frekvenciju izvođenja NUMK. U pilot istraživanju ona je bila spolja diktirana (1,33 Hz; zvuk elektronskog metronoma), dok su u okviru realizovanog istraživanja ispitanici sami birali frekvenciju izvođenja NUMK. Naime, istraživanje Bozica i sar. (2012) pokazalo je da kod fizički neaktivnih ispitanika, kakvi su testirani u okviru realizovanog istraživanja, spolja diktirani ritam utiče na smanjenje nivoa maksimalno dostignute sile, iako se, pri tome, zadržava visok stepen povezanosti testa NUMK sa STJ. Pokazano je još da su vrednosti samoizabrane frekvencije upravo najbliže frekvenciji koja je korišćena u okviru pilot istraživanja (1,33 Hz). Sa druge strane, kod fizički aktivnih ispitanika, kakvi su testirani u pilot istraživanju, rezultati istog istraživanja (Bozic i sar. 2012) pokazuju da spolja diktirani ritam nije uticao na nivo maksimalno dostignute sile.

Dalje, iz zabeleženog signala sile u vremenu računata su za svaki ciklus dve varijable: (1) vrh sile (VS) i (2) brzina razvoja sile (BRS) kao maksimum prvog izvoda. Za dalju analizu korišćena je srednja vrednost ovih varijabli računata za poslednja tri cela ciklusa. Unilateralnim NUMK istovremeno je procenjivana neuromišićna funkcija za mišiće ekstenzore i fleksore u zglobu kolena, prvo jedne, pa druge noge. Na isti način, primenom varijanti bilateralnih NUMK procenjivana je neuromišićna funkcija za mišiće ekstenzore i fleksore u zglobu kolena obe noge, istovremeno. U bilateralnim faznim NUMK istovremeno su naizmenično kontrahovani ekstenzori, pa fleksori u zglobu kolena obe noge. Sa druge strane, u bilateralnim antifaznim NUMK istovremeno su naizmenično kontrahovani ekstenzori u zglobu kolena jedne i fleksori u zglobu kolena druge noge, i obrnuto fleksori u zglobu kolena jedne i ekstenzori u zglobu kolena druge noge (videti Sliku 3).



Slika 3. Eksperimentalna postavka: **a.** Položaj ispitanika tokom testiranja; **b.** Raspored kaiša kojim je fiksiran položaj ispitanika; **c.** Položaj sonde dinamometra kojima su procenjivane sile ekstenzora (istezanje sonde) i fleksora (sabijanje sonde) u zglobu kolena; **d.** Položaj monitora na kojem su u realnom vremenu praćene promene sile registrovane korišćenjem dve sonde; **e.** Prikazi na ekranima (profili sile u vremenu zabeleženi tokom izvođenja: **e1.** Unilateralnih NUMK dominantnom nogom – tamna linija; **e2.** Unilateralnih NUMK nedominantnom nogom – svetla linija; **e3.** Bilateralnih faznih NUMK; **e4.** Bilateralnih antifaznih NUMK).

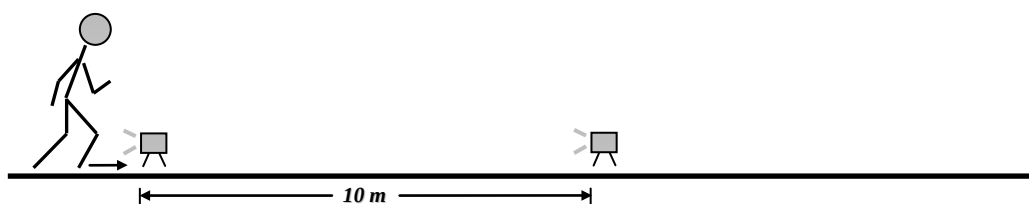
4.3.3 Procena motoričkog statusa

U okviru procene motoričkog statusa korišćeni su sledeći motorički testovi: Sprint na 10 m iz visokog starta, Sprint na 20 m sa letećim startom, Margarija test, Vertikalni skok iz polučučnja, Prirodni vertikalni skok, Skok uvis nakon saskoka, Jedan ponavljajući maksimum iz polučučnja i Skok iz polučučnja sa opterećenjem.

Proceni motoričkog statusa ispitanika prethodila je, kao i proceni neuromišićne funkcije, standardna desetominutna procedura zagrevanja. Sva testiranja vršili su uvek isti merioci, prema unapred zadatim protokolima. Testovi su sprovedeni u promenljivom rasporedu kako bi bili izbegnuti uticaji zamora. Jedini izuzetak predstavljao je test Jednog ponavljajućeg maksimuma iz polučučnja koji je uvek prethodio testu za procenu maksimalne i srednje snage mišića u Skoku iz polučučnja sa opterećenjem, s obzirom da se opterećenje za ovaj test određivalo relativno u odnosu na rezultat testa Jednog ponavljajućeg maksimuma iz polučučnja. Pre izvođenja svakog testa ispitanicima je bio detaljno objašnjen protokol testa, nakon čega je sledila i praktična demonstracija. Iako se predpostavljalo da su svi ispitanici prethodno bili upoznati sa protokolima testiranja, u cilju dalje familijarizacije svaki ispitanik je imao jedan probni pokušaj. U svakom testu (izuzev kod testa Jednog ponavljajućeg maksimuma iz polučučnja) bili su mereni rezultati u dva pokušaja sa pauzom od 2 minuta između. Za dalju analizu uziman je bolji rezultat. Pauza između različitih testova iznosila je oko 5 minuta.

Sprint na 10 m iz visokog starta (10 m)

Za merenje vremena u Sprintu na 10 m iz visokog starta korišćene su fotoćelije (proizvođač UNO-LUX NS d.o.o, Beograd, Srbija). Fotoćelije su bile podešene tako da, presecanje zraka prve, odnosno druge fotoćelije, započinje, odnosno zaustavlja merenje vremena. Ispitanici su bili instruisani da trče što je brže moguće duž rastojanja od 10 m (videti Sliku 4).



Slika 4. Grafički prikaz standardnog protokola za merenje vremena u Sprintu na 10 m iz visokog starta (10 m).

Sprint na 20 m sa letećim startom (20 m)

Za merenje vremena u Sprintu na 20 m sa letećim startom korišćene su fotoćelije (proizvođač UNO-LUX NS d.o.o, Beograd, Srbija). Ispitanici su bili instruisani da trče što je brže moguće duž rastojanja od 20 m između dve fotoćelije kome je prethodilo 10 m zaleta (videti Sliku 5).



Slika 5. Grafički prikaz standardnog protokola za merenje vremena u Sprintu na 20 m sa letećim startom (20 m).

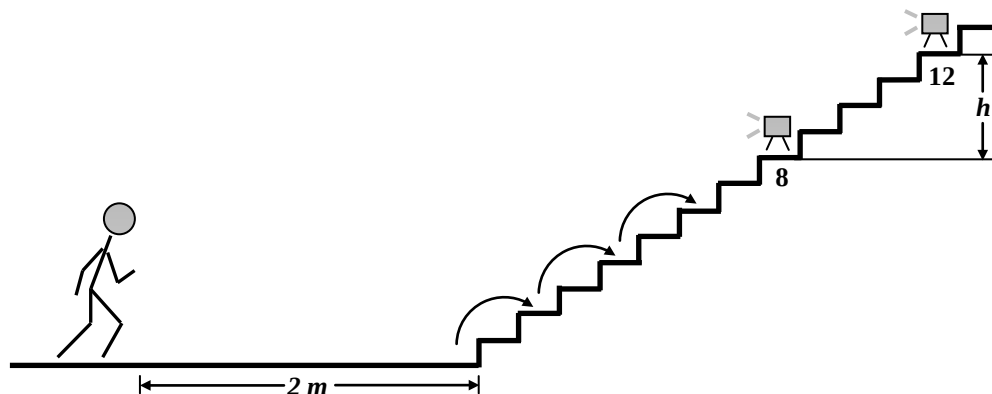
Margarija test (Marg)

Standardni protokol za merenje maksimalne snage u Margarija testu (Margaria i sar. 1966) predviđa korićenje stepeništa (visina stepenika: 0.165 m). Ispitanici su stajali u položaju visokog starta iza linije, dva metra udaljene od stepeništa. Početak testa ispitanik je sam određivao nakon odgovarajuće pripreme. Protokol testa podrazumevao je trčanje maksimalnom brzinom uz svaku drugu stepenicu, pri čemu su sve parne stepenice bile vizuelno obeležene, kako bi se ispitanici lakše orijentisali. Fotoćelije

(proizvođač UNO-LUX NS d.o.o, Beograd, Srbija) su bile postavljene na 8-om i 12-om stepeniku i bile su podešene tako da, presecanje zraka prve, odnosno druge fotoćelije, započinje, odnosno zaustavlja merenje vremena. Ispitanicima su davane instrukcije da trče maksimalnom brzinom do 16-og stepenika (videti Sliku 6), kako bi se izbegla mogućnost eventualnog usporenja kretanja pre prolaska 12-og stepenika. Maksimalna snaga računata je korišćenjem modifikovane formule koja je omogućavala dobijanje pokazatelja maksimalne snage nezavisnog od telesnih dimenzija (mase tela; Nedeljkovic i sar. 2007).

$$(1) \quad P = (M^{1/3} \cdot g \cdot h) / T$$

gde P predstavlja računatu snagu (W), m masu tela ispitanika (kg), g ubrzanje sile zemljine teže ($9.81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$), h ukupnu veritkalnu visinu popetih stepenika (m) i T izmereno vreme (s).

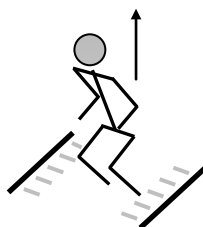


Slika 6. Grafički prikaz standardnog protokola za merenje maksimalne snage u Margarija testu (Marg).

Vertikalni skok iz polučučnja (VŠČ)

Maksimalna visina Vertikalnog skoka iz polučučnja merena je korišćenjem senzorne podloge sa IC zracima (proizvođač UNO-LUX NS d.o.o, Beograd, Srbija),

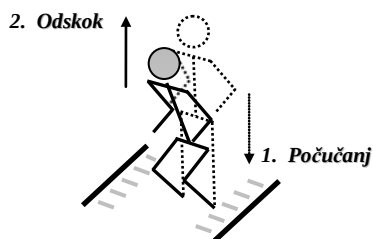
koja visinu vertikalnog skoka, izraženu u centimetrima, računa na osnovu vremena proteklog od trenutka odskoka do trenutka doskoka (Komi i Bosco 1978). Ispitanici su bili instruisani da držeći šake na kukovima, iz polučučnja, kada je ugao u zglobovima kolena 90 stepeni, izvedu vertikalni skok (videti Sliku 7). Vizuelnom kontrolom, iskusni merilac je kontrolisao izvođenje vertikalnog skoka, a kriterijum za ponavljanje je bilo izvođenje i najmanjeg dodatnog počučnja kao pripreme za odskok. Ovakvu kontrolu je bilo neophodno sporovoditi kako bi se obezbedili uslovi za izvođenje skoka u isključivo koncentričnom režimu rada mišića.



Slika 7. Grafički prikaz standarnog protokola za merenje maksimalne visine Vertikalnog skoka iz polučučnja (VŠČ).

Prirodni vertikalni skok (PVS)

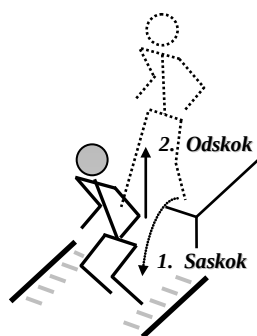
Maksimalna visina Prirodnog vertikalnog skoka merena je korišćenjem senzorne podloge sa IC zracima (proizvođač UNO-LUX NS d.o.o, Beograd, Srbija). Ispitanici su bili instruisani, da držeći šake na kukovima, iz uspravnog stava brzo počučnu kao priprema za odskok i, povezano sa tim, snažno odskoče (videti Sliku 8). Time se ispljučuju efekti postaktivnog prenošenja zamaha rukama, a koriste se sve prednosti povratnog režima rada mišća (Komi i Bosco 1978).



Slika 8. Grafički prikaz standardnog protokola za merenje maksimalne visine Prirodnog vertikalnog skoka (PVS).

Skok uvis nakon saskoka (SVS)

Za sprovođenje testa Skok u vis nakon saskoka korišćena je senzorna podloga sa IC zracima (proizvođač UNO-LUX NS d.o.o, Beograd, Srbija). Ispitanici su bili instruisani da, držeći šake na kukovima, sa drvene kutije visine 40 cm izvedu saskok (skok u dubinu) i povezano sa tim maksimalni odskok sa minimalnim vremenom kontakta (videti Sliku 9). Korišćeni elektronski uređaj sa pripadajućim softverom, maksimalnu visinu skoka (cm) izračunava na osnovu vremena proteklog između trenutka odskoka do trenutka ponovnog doskoka. Sa druge strane, maksimalno ispoljena snaga (W) se računa na osnovu maksimalne visine skoka i vremena kontakta sa tlom prilikom odskoka, a nakon izvedenog saskoka.

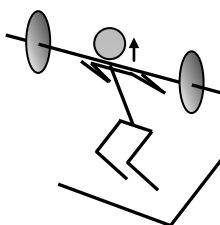


Slika 9. Grafički prikaz standardnog protokola za merenje maksimalne visine kod Skoka uvis nakon saskoka (SVS).

Jedan ponavljajući maksimum iz polučučnju (1RM)

U ranijim istraživanjima pokazana je visoka pouzdanost ovog testa (Abernethy i sar. 1995). Merenje jednog ponavljajućeg maksimuma vršeno je uz korišćenje modifikovane Smit mašine. Modifikacija Smit mašine u ovom slučaju podrazumevala je njeno opremanje dodatnim podupiračima, koji su bili pokretni i koji su mogli biti fiksirani na različitim visinama ispod klizajuće glavne šipke. Fiksacija se vršila uz pomoć metalnih klinova. Na ovaj način omogućavalo se merenje jednog ponavljajućeg maksimuma u uslovima isključivo koncentričnog režima rada mišića. Kod merenja jednog ponavljajućeg maksimuma iz polučučnja, dodatni podupirači su bili fiksirani na visini koja je omogućavala da se klizajuća glavna šipka nalazi na ramenima ispitanika, u uslovima kada je ugao u zglobovima kolena iznosio 90 stepeni. Pravilan položaj ispitanika podrazumevao je opruženi kičmeni stub i položaj koji su segmenti nogu zauzimali kada je vertikalna projekcija klizajuće glavne šipke prolazila sredinom nadkolenica, sredinom podkolenica i prednjeg dela stopala (videti Sliku 10).

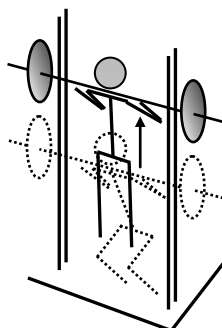
Protokol ovog testa podrazumevao je sprovođenje dodatnog specifičnog zagrevanja, u okviru koga su ispitanici izvodili tri serije sa opterećenjima 40, 50, odnosno 60% u odnosu na pretpostavljeni maksimum. Broj ponavljanja za odgovarajuća opterećenja iznosio je 10, 8, odnosno 6. Nakon toga se pristupalo proceni jednog ponavljajućeg maksimuma, koji je bilo potrebno odrediti u najviše tri pokušaja sa pauzama od 5 minuta između. Ispitanicima su bile davane instrukcije da, opružajući ekstremitete nogu, u uslovima isključivo koncentričnog režima rada odgovarajućih mišićnih grupa, uz krajnji napor, pokušaju da savladaju maksimalno opterećenje, određeno tegovima dodatim na krajeve klizajuće glavne šipke.



Slika 10. Grafički prikaz standardnog protokola za merenje Jednog ponavljajućeg maksimuma iz polučučnja (1RM).

Maksimalna snaga mišića u skoku iz polučučnja sa opterećenjem (MPowO)

Merenje maksimalne i srednje snage mišića u skoku iz polučučnja vršeno je uz korišćenje modifikovane Smit mašine. Smit mašina predstavlja spravu koja omogućava beleženje kinematičkih podataka prilikom vršenja dinamičkih vežbi u uslovima potpune sigurnosti ispitanika (Wilson, Murphy i sar. 1996). Ispitanici su bili instruisani da izvedu maksimalan skok iz početnog položaja, koji je bio identičan početnom položaju u odgovarajućem testu za procenu maksimalne jačine mišića merene u izoinercijalnim uslovima (videti Sliku 11). Korišćeno je opterećenje koje je iznosilo 40% od prethodno određenog jednog ponavljajućeg maksimuma, s obzirom da je u ranijim istraživanjima pokazano da mišići ispoljavaju maksimalnu snagu upravo pri ovolikim opterećenjima (Newton, Murphy i sar. 1997; Stone, O' Bryant i sar. 2003). Brzina kretanja šipke tokom izvođenja maksimalnog skoka merena je korišćenjem Linearnog enkodera (proizvođač UNO-LUX NS d.o.o, Beograd, Srbija). Za računanje maksimalno ispoljene snage mišića bila je korišćena standardna jednačina koja množi silu [opterećenje (kg) $\times 9.81 m \cdot s^{-2}$] i brzinu (pređeni put / vreme).



Slika 11. Grafički prikaz standardnog protokola za merenje Maksimalne snage mišića u skoku iz polučučnja sa opterećenjem (MPowO).

4.4 Statistička obrada podataka

Podaci dobijeni istraživanjem bili su obrađeni primenom deskriptivne i komparativne statističke analize.

U okviru **deskriptivne statistike** za sve varijable određene su:

- srednja vrednost (SV),
- standardna devijacija (SD),
- minimalna vrednost (MIN), i
- maksimalna vrednost (MAX).

U okviru **komparativne statistike**¹ izvršena je:

- Procena pouzdanosti između ponavljanih merenja za testove Bilateralnih NUMK. Ova procena je bila izvršena na osnovu računatog intraklasnog koeficijenta korelacije (ICC; Hopkins 2000) za sve zavisne varijable ovih testova (VS i BRS). Analiza varijanse sa ponovljenim merenjem bila je korišćena za procenu sistematskih razlika između tri ponavljanja unutar istog merenja. Apsolutna varijabilnost (unutar-individualna; eng. *Within-individual*) bila je procenjivana na osnovu standardne greške merenja (SEM), kao i na osnovu koeficijenta varijacije (CV; Hopkins 2000).
- Procena povezanosti unutar i između varijabli testova neuromišićne funkcije, kao i procena njihove povezanosti sa varijablama različitih motoričkih testova. U okviru ovih procena računati su Pirsonovi koeficijenti korelacije (*R*). Treba napomenuti da teorijski modeli, kao i eksperimentalni nalazi, sugerišu da rezultati sile mišića (Astrand i Rodahl 1986; Jaric 2002), brzine razvoja sile (Jaric 2003; Nedeljkovic i sar. 2009b) i snage mišića (Astrand i Rodahl 1986; Nedeljkovic i sar. 2009a; Nedeljkovic i sar. 2007) rastu sa trećim korenom kvadrata mase tela ($M^{2/3}$), dok su rezultati testova brzih pokreta nezavisni od telesnih dimenzija (Markovic i Jaric 2004; Markovic i Jaric 2007; Nedeljkovic i sar. 2009b). Prema tome, varijable dobijene

¹ Prikaz procedura u okviru komparativne statističke analize dat je u odnosu na pojedine istraživačke hipoteze i način njihovog testiranja.

primenom STJ i testa NUMK (Fmax i BRSmax, odnosno VS i BRS), kao i varijable testova za procenu maksimalne jačine (1RM), odnosno maksimalne snage (Marg, snaga u SVS i srednja i maksimalna snaga u MPowO) trebalo je normalizovati, deljenjem dobijenih rezultata sa $M^{2/3}$. Viloksonov (*Wilcoxon*) test je bio korišćen za procenu razlika između koeficijenata korelacije dobijenih za različite varijante dva testa prilikom ispitivanja njihove povezanosti sa motoričkim testovima.

- Procena latentne strukture istraživanog motoričkog prostora vršena je primenom Faktorske analize - metodom glavnih komponenti² (Nunnally i Berstein 1994). Eksperimentalno dobijeni podaci analizirani su korišćenjem statističke procedure pod nazivom *FACTOR* u aplikacionom statističkom programu za kompjutere (*SPSS*, verzija 16.0). Određivanje broja značajnih glavnih komponenti u matrici sklopa³, izolovanih faktorskom analizom, vršeno je korišćenjem *SCREE* testa (Cattell 1966). *SCREE* test grafički prikazuje vrednosti karakterističnih korenova⁴ svake komponente u početnoj soluciji. Samo komponente čije se vrednosti karakterističnih korenova nalaze na strmom delu dobijene krive uzimane su za značajne. Rotacija originalne matrice sklopa izvršena je kako bi se pojednostavila njena struktura. Korišćena je ortogonalna⁵ rotacija uz tzv. *VARIMAX* kriterijum sa *KAISER* normalizacijom. Za krajnje rezultate faktorske analize uzimana je povezanost datih varijabli motoričkog prostora sa izolovanim glavnim komponentama⁶ i njima odgovarajućim komunalitetima⁷, kao i vrednosti karakterističnih korenova i procenti varijanse objašnjeni rotiranjem glavnih komponenti. Kao nivo statističke značajnosti određeno je da je $p < 0.05$.
- Procena bilateralnog deficita kod različitih varijanti dva primenjena testa za procenu neuromišićne funkcije (STJ i NUMK). U okviru ove procene primenjena je analiza varijanse sa ponovljenim merenjem, gde je faktor

² engl. *Principal Components Analysis*

³ engl. *Pattern Matrix*

⁴ engl. *Eigenvalue*

⁵ engl. *Orthogonal*

⁶ engl. *Factor loadings*

⁷ engl. *Communalities*

„Varijanta istog testa“ predstavljao razlike između ponovljenih merenja (Unilateralni, Bilateralni fazni i Bilateralni antifazni; eng. *Within-subject*).

Nivo statističke značajnosti bio je podešen na $p = 0,05$. Svi statistički testovi su bili računati korišćenjem aplikativnog statističkog paketa SPSS 16.0 (SPSS, Inc, Chicago, IL).

5. Rezultati istraživanja

Prikaz rezultata istraživanja organizovan je u odnosu na postavljene hipoteze. Dobijeni rezultati prikazani su tabelarno i grafički. U okvirima pratećeg teksta data su kvalitativna objašnjenja glavnih nalaza na koje upućuju prikazani tabelarni i grafički rezultati.

5.1 Karakteristike uzorka

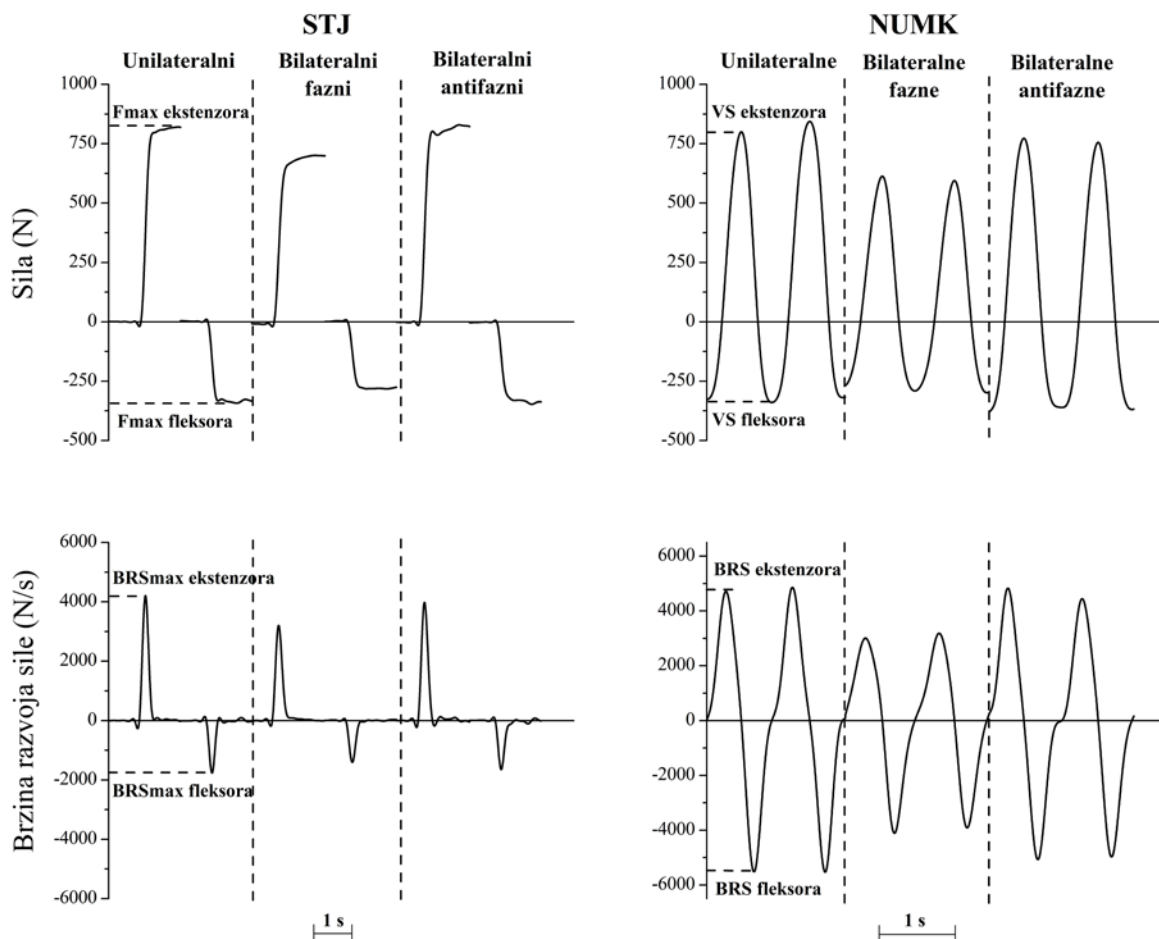
Podaci prikazani u Tabeli 6 predstavljaju osnovne deskriptivne pokazatelje izabranih morfoloških karakteristika ispitanika ($N = 24$). Tokom testiranja jedan ispitanik je prijavio određene zdravstvene probleme, tako da je bilo prekinuto njegovo dalje učešće u istraživanju. Prijavljeni zdravstveni problemi nisu bili u direktnoj vezi sa primenjenim protokolom testiranja. Prikazani deskriptivni pokazatelji morfoloških karakteristika ispitanika ukazuju na nehomogen uzorak, s obzirom da je kod svih morfoloških karakteristika, izuzev visine tela, vrednost koeficijenata varijacije iznosila 10 i više procenata.

Tabela 6. Deskriptivni pokazatelji izabranih morfoloških karakteristika ispitanika.

	Visina tela (cm)	Masa tela (kg)	Body-mass indeks (N)	Masa skeletnih mišića (kg)	Masa telesnih masti (kg)
Srednja vrednost	180.0	79.4	24.4	38.9	11.5
Standardna devijacija	7.9	10.9	2.4	5.4	4.8
Minimum	160.4	51.3	19.8	26.0	4.7
Maksimum	191.5	97.8	28.4	48.6	20.6
Opseg	31.1	46.5	8.6	22.6	15.9
Koeficijent varijacije (CV)	4.4 %	13.7 %	9.9 %	13.8 %	41.7 %

5.2 Pouzdanost testa Naizmeničnih uzastopnih maksimalnih kontrakcija (NUMK)

Na Grafiku 3 prikazani su profili sila (gornji paneli) i brzina razvoja sile u vremenu (donji paneli).



Grafik 3. Profili sila (gornji paneli) i brzina razvoja sile u vremenu (donji paneli) zabeleženi kod reprezentativnog ispitanika u različitim varijantama Standardnog testa jačine (Unilateralni STJ, Bilateralni fazni STJ i Bilateralni antifazni STJ; Fmax i BRSmax) i testa Naizmeničnih maksimalnih kontrakcija (Unilateralne NUMK, Bilateralne fazne NUMK i Bilateralne antifazne NUMK; VS i BRS). U cilju boljeg razumevanja grafika, sile i brzine razvoja sile za mišiće fleksore predstavljene su negativnim vrednostima.

Prikazani profili zabeleženi su kod reprezentativnog ispitanika u različitim varijantama Standardnog testa jačine (Unilateralni STJ, Bilateralni fazni STJ i Bilateralni antifazni STJ; levi paneli) i testa Naizmeničnih maksimalnih kontrakcija

(Unilateralne NUMK, Bilateralne fazne NUMK i Bilateralne antifazne NUMK; desni paneli). Maksimalne vrednosti sile, odnosno brzine razvoja sile, kod varijanti STJ označeni su kao F_{max} , odnosno BRS_{max} . Sa druge strane, odgovarajuće varijable kod varijanti testa NUMK označene su kao VS (vrh sile), odnosno BRS (brzina razvoja sile). U cilju boljeg razumevanja grafika, profili sila i brzina razvoja sile zabeleženi na mišićima fleksorima predstavljeni su negativnim vrednostima.

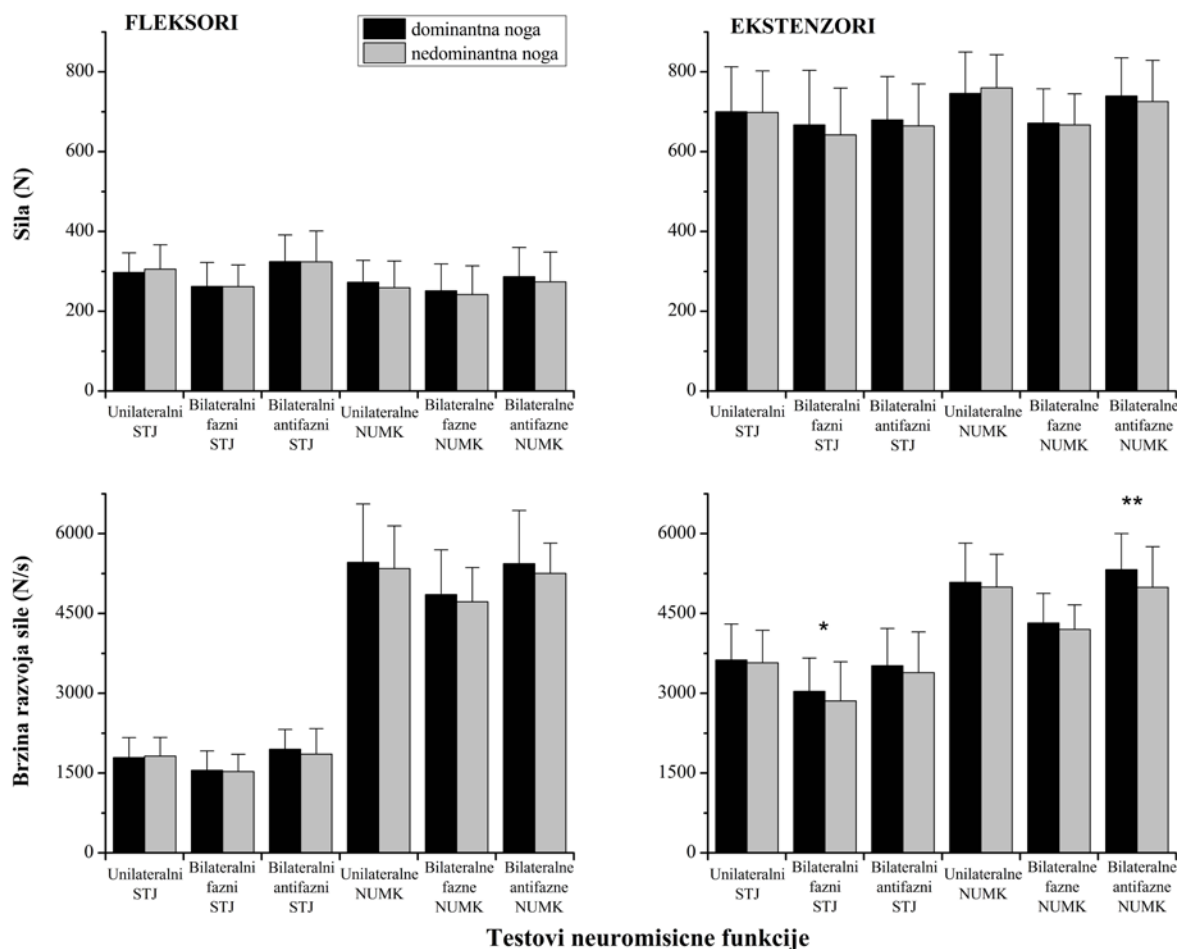
Analizom prikazanih profila, jasno se uočava njihova stabilnost, kako u različitim varijantama STJ, tako i u varijantama NUMK. Stabilni profili sile omogućavaju dobijanje stabilnih profila promena brzine razvoja sile u vremenu, s obzirom da se direktno računaju na osnovu njih.

Na Grafiku 4 dat je uporedni prikaz deskriptivnih pokazatelja (srednje vrednosti i standardne devijacije) za maksimalne sile (gornji paneli) i brzine razvoja sile (donji paneli) zabeležene kod fleksora (levi paneli) i ekstenzora (desni paneli). Uporedni prikaz dat je u odnosu na dominantnu (tamni stubići) i nedominantnu nogu (svetli stubići), odvojeno za različite varijante STJ i testa NUMK (Unilateralna, Bilateralna fazna i Bilateralna antifazna).

Pažljivom analizom prikazanih podataka, uočavaju se, u većini slučajeva, nešto niže vrednosti kod nedominantne, u odnosu na dominantnu nogu. Ipak naknadna statistička analiza, u okviru koje su primenom t-testa za zavisne uzorke testirane razlike između dominante i nedominante noge, pokazala je da uočene razlike nisu statistički značajne, izuzev kod brzine razvoja sile ekstenzora zabeležene u dve različite varijante [Bilateralni fazni STJ ($p < 0,05$) i Bilateralne antifazne NUMK ($p < 0,001$)].

Daljom uporednom analizom zabeleženih vrednosti, izvršenoj u odnosu na različite varijante istog testa, uočava se, kako za dominantnu, tako i za nedominantnu nogu, da se u oba primenjena testa (STJ i test NUMK) najniže vrednosti sile i brzine razvoja sile ostvaruju u Bilateralnoj faznoj varijanti. Ovaj potencijalno važan nalaz naknadno je i statistički testiran (videti Grafik 5), na način što su u okviru različitih varijanti istog testa upoređene sumarne vrednosti dominantne i nedominantne noge.

Konačno, uočava se takođe, da su maksimalne sile fleksora značajno manje u odnosu na maksimalne sile ekstenzora. Isto važi i za brzine razvoja sile zabeležene primenom STJ. Međutim, brzine razvoja sile zabeležene primenom testa NUMK ne razlikuju se značajno između fleksora i ekstenzora.



Testovi neuromusicne funkcije

Grafik 4. Uporedni prikaz srednjih vrednosti maksimalnih sila (gornji paneli) i brzina razvoja sile (donji paneli), zabeleženih kod fleksora i ekstenzora dominantne (tamni stubići) i nedominantne noge (svetli stubići), prilikom izvođenja različitih varijanti Standardnog testa jačine (Unilateralni STJ, Bilateralni fazni STJ i Bilateralni antifazni STJ) i testa Naizmeničnih maksimalnih kontrakcija (Unilateralne NUMK, Bilateralne fazne NUMK i Bilateralne antifazne NUMK). Vertikalni štapići predstavljaju odgovarajuće standardne devijacije.

* - $p < 0,05$; ** - $p < 0,001$

U Tabelama 7 i 8 prikazani su podaci na osnovu kojih je procenjena pouzdanost novog alternativnog testa. Početna pretpostavka u ispitivanju pouzdanosti je da se primenom novog alternativnog testa dobijaju stabilni profili sila i brzina razvoja sile, što je i prikazano na Grafiku 3. Analiza pouzdanosti izvršena je na osnovu povezanosti između tri ponovljena pokušaja. Pored toga, analizom varijanse sa ponovljenim merenjem ispitivane su sistematske razlike između tri ponovljena pokušaja.

Tabela 7. Deskriptivni pokazatelji tri ponovljena pokušaja **Bilateralnih faznih NUMK** [srednja vrednost (SV) i standardna devijacija (SD)] i odgovarajući koeficijenti pouzdanosti [F-vrednost, standardna greška merenja (SEM), koeficijent varijacije (CV) i intraklas korelacioni koeficijent (ICC)].

Noga	Varijable	Mišićna grupa	1. pokušaj SV ± SD	2. pokušaj SV ± SD	3. pokušaj SV ± SD	Promena SV 2-1	Promena SV 3-2	F vrednost	SEM	CV	ICC	CI 95%
Dom	VS	EXT	661 ± 84	665 ± 85	661 ± 85	0.56	-0.63	0.017	18.9	3.06	0.95	0.92-0.98
		FLX	246 ± 66	246 ± 66	243 ± 60	0.31	-0.78	0.019	14.2	5.46	0.96	0.92-0.98
	BRS	EXT	4216 ± 592	4292 ± 550	4119 ± 629	1.97	-4.43	0.516	211.8	5.78	0.88	0.79-0.94
		FLX	4787 ± 846	4729 ± 790	4680 ± 830	-0.97	-1.19	0.101	222.3	4.78	0.93	0.88-0.96
Ndom	VS	EXT	646 ± 73	654 ± 81	655 ± 83	1.21	0.10	0.103	22.7	3.55	0.92	0.87-0.96
		FLX	236 ± 72	239 ± 73	237 ± 67	1.37	-0.34	0.011	10.4	4.93	0.98	0.96-0.99
	BRS	EXT	4021 ± 499	4098 ± 470	4019 ± 519	2.04	-2.16	0.197	245.3	6.82	0.77	0.62-0.87
		FLX	4577 ± 664	4535 ± 599	4474 ± 606	-0.71	-1.33	0.167	261.8	5.85	0.84	0.72-0.91

Dom – dominantna noga; Ndom – nedominantna noga; VS – vrh sile; BRS – brzina razvoja sile; EXT – ekstenzori; FLX - fleksori

Tabela 8. Deskriptivni pokazatelji tri ponovljena pokušaja **Bilateralnih antifaznih NUMK** [srednja vrednost (SV) i standardna devijacija (SD)] i odgovarajući koeficijenti pouzdanosti [F-vrednost, standardna greška merenja (SEM), koeficijent varijacije (CV) i intraklas korelacioni koeficijent (ICC)].

Noga	Varijable	Mišićna grupa	1. pokušaj SV ± SD	2. pokušaj SV ± SD	3. pokušaj SV ± SD	Promena SV 2-1	Promena SV 3-2	F vrednost	SEM	CV	ICC	CI 95%
Dom	VS	EXT	731 ± 96	732 ± 95	723 ± 95	0.14	-1.17	0.057	20.4	2.74	0.96	0.92-0.98
		FLX	291 ± 71	282 ± 73	285 ± 72	-3.26	1.03	0.084	9.9	4.15	0.98	0.97-0.99
	BRS	EXT	5272 ± 674	5227 ± 713	5052 ± 725	-0.97	-3.41	0.655	218.4	4.43	0.91	0.84-0.95
		FLX	5268 ± 960	5362 ± 962	5228 ± 883	1.82	-2.29	0.129	290.6	5.66	0.91	0.84-0.95
Ndom	VS	EXT	716 ± 107	715 ± 102	709 ± 106	0.07	-0.92	0.028	20.1	3.00	0.97	0.94-0.98
		FLX	275 ± 75	271 ± 82	272 ± 80	-2.06	0.70	0.014	11.4	5.20	0.98	0.97-0.99
	BRS	EXT	4871 ± 790	4855 ± 741	4798 ± 683	-0.20	-1.05	0.066	243.1	5.09	0.90	0.83-0.95
		FLX	5166 ± 649	5172 ± 627	5012 ± 579	0.17	-3.03	0.514	253.1	5.17	0.84	0.74-0.92

Dom – dominantna noga; Ndom – nedominantna noga; VS – vrh sile; BRS – brzina razvoja sile; EXT – ekstenzori; FLX - fleksori

Kada je reč o zabeleženim silama, za obe varijante testa bilateralnih NUMK (Bilateralnih faznih NUMK i Bilateralnih antifaznih NUMK) dobijena je izuzetno visoka povezanost između ponovljenih pokušaja [$ICC > 0,90$ (0,92 – 0,98); za detalje videti Tabele 7 i 8]. Čak su se i svi 95 % intervali pouzdanosti (CI 95 %) računatih ICC koeficijenata našli unutar intervala kojim se definiše visoka pouzdanost evaluiranog testa ($0,80 < CI\ 95\ \% < 1,00$). Dalje, apsolutna i relativna varijabilnost koje su procenjivane na osnovu standardne greške u merenju (SEM), odnosno računatih koeficijenata varijacije (CV %) pokazuju da su varijacije unutar merenja bile relativno male. Naime, dobijene relativne mere varijacije za ispitanike (CV %) bile su izrazito niske (manje od 6 %). U Tabelama 7 i 8 prikazane su još i F vrednosti dobijene primenom analize varijanse sa ponovljenim merenjima. Na osnovu prikazanih vrednosti, može se uočiti da između tri ponovljena pokušaja nisu pronađene sistemske razlike u zabeleženim silama.

Sa druge strane, i kada je reč o zabeleženim brzinama razvoja sile, visoka povezanost između ponovljenih pokušaja dobijena je, takođe, u obe varijante testa bilateralnih NUMK (Bilateralnih faznih NUMK i Bilateralnih antifaznih NUMK). Naime, vrednost računatih intraklas korelacionih koeficijenata bila je u gotovo svim slučajevima visoka [$ICC > 0,80$ (0,72 – 0,96); za detalje videti Tabele 7 i 8]. Izuzetak su jedino ekstenzori nedominantne noge kod Bilateralnih faznih NUMK gde je dobijena nešto niža vrednost ovog koeficijenta [$ICC = 0,77$ (0,62 – 0,87); za detalje videti Tabelu 7]. Dalje, varijacije unutar merenja bile su relativno male. Naime, dobijene relativne mere varijacije za ispitanike (CV %) bile su izrazito niske (manje od 7 %). Konačno, na osnovu podataka prikazanih u Tabelama 7 i 8 može se još i uočiti da između tri ponovljena pokušaja nisu pronađene sistemske razlike u zabeleženim silama (F-vrednost $< 1,0$).

5.3 Konkurentna validnost testa Naizmeničnih uzastopnih maksimalnih kontrakcija (NUMK)

Konkurentna validnost različitih varijanti testa NUMK procenjivana je na osnovu njihove povezanosti sa odgovarajućim varijantama STJ. U Tabeli 9 prikazane su

vrednosti Pirsonovog koeficijenta korelacije (R), kojima se određuje međusobna povezanost između rezultata testova NUMK sa jedne i STJ, sa druge strane.

Prvo, lako se uočava da je kod varijante testa Bilateralnih faznih NUMK dobijen najveći broj koeficijenata korelacije, čija vrednost prelazi granicu statističke značajnosti ($R = 0,404$; za uzorak od 24 ispitanika). Tačnije, 26 od 48 koeficijenata korelacije ukazuju na statistički značajnu povezanost Bilateralnih faznih NUMK sa varijantama STJ. Sa druge strane, 16 od 48, odnosno 12 od 48 koeficijenata korelacije ukazuju na statistički značajnu povezanost Unilateralnih NUMK, odnosno Bilateralnih antifaznih NUMK sa varijantama STJ (videti Tabelu 9).

Drugo, ukoliko se unutar svake zasebne varijante testa NUMK (Unilateralne NUMK, Bilateralne fazne NUMK i Bilateralne antifazne NUMK) izračunaju srednje vrednosti dobijenih koeficijenata korelacije, dobiće se sledeći rezultati: Unilateralne NUMK [$SV(R) = 0,340$]; Bilateralne fazne NUMK [$SV(R) = 0,405$] i Bilateralne antifazne NUMK [$SV(R) = 0,307$]. Uočava se da jedino kod Bilateralnih faznih NUMK, srednja vrednost dobijenih koeficijenata korelacije prelazi granicu statističke značajnosti ($R = 0,404$). Takođe, ukoliko se primenom neparametrijskog *Wilcoxon*-ovog testa testiraju razlike između koeficijenata korelacije unutar različitih varijanti testova NUMK, dobiće se sledeći rezultati: koeficijenti korelacije Unilateralnih NUMK značajno su veći od koeficijenata korelacije Bilateralnih antifaznih NUMK ($Z = 2,14$; $p < 0,05$), ali su, sa druge strane, koeficijenti korelacije Bilateralnih faznih NUMK značajno veći i od koeficijenata korelacije Unilateralnih NUMK ($Z = 2,25$; $p < 0,05$), kao i od koeficijenata korelacije Bilateralnih antifaznih NUMK ($Z = 4,63$; $p < 0,001$).

Treće, kada se posmatra povezanost svake od varijanti testa NUMK sa zasebnim varijantama STJ (Unilateralni STJ, Bilateralni fazni STJ i Bilateralni antifazni STJ), uočava se da Bilateralne fazne NUMK i Unilateralne NUMK pokazuju veću povezanost u poređenju sa Bilateralnim antifaznim NUMK. Naime, primenom *Wilcoxon*-ovog testa testirane su razlike između koeficijenata korelacije različitih varijanti NUMK dobijenih unutar svake zasebne varijante STJ (videti tabelu 9). Za varijantu Unilateralnog STJ, značajno veću povezanost u odnosu na Bilateralne antifazne NUMK, pokazuju i Unilateralne NUMK ($Z = 2,17$; $p < 0,05$) i Bilateralne fazne NUMK ($Z = 2,02$; $p < 0,05$). Slično je i sa varijantom Bilateralnog antifaznog STJ. U ovom slučaju, značajno

veću povezanost u odnosu na Bilateralne antifazne NUMK pokazuju i Unilateralne NUMK ($Z = 2,48$; $p < 0,05$) i Bilateralne fazne NUMK ($Z = 3,10$; $p < 0,05$). Sa druge strane, najveću povezanost sa Bilateralnim faznim STJ pokazuju Bilateralne fazne NUMK. Ova varijanta testa ima značajno veću povezanost u ovom slučaju i u odnosu na Unilateralne NUMK ($Z = 2,84$; $p < 0,05$) i u odnosu na Bilateralne antifazne NUMK ($Z = 2,90$; $p < 0,05$).

U Tabeli 10 prikazane su vrednosti Pirsonovog koeficijenta korelacije (R), kojima se određuje međusobna povezanost između rezultata testova NUMK. Ukoliko se unutar svake zasebne kombinacije izračunaju srednje vrednosti dobijenih koeficijenata korelacije, dobiće se sledeći rezultati: povezanost između Unilateralnih NUMK i Bilateralnih faznih NUMK [$SV(R) = 0,355$]; Unilateralnih NUMK i Bilateralnih antifaznih NUMK [$SV(R) = 0,467$] i Bilateralnih faznih NUMK i Bilateralnih antifaznih NUMK [$SV(R) = 0,359$]. Uočava se da jedino kod povezanosti između Unilateralnih NUMK i Bilateralnih antifaznih NUMK, srednja vrednost dobijenih koeficijenata korelacije prelazi granicu statističke značajnosti ($R = 0.404$). Tačnije, povezanost Bilateralnih faznih NUMK sa preostale dve varijante je u proseku niža, a srednja vrednost dobijenih koeficijenata korelacije u oba slučaja nije statistički značajna. Takođe, ukoliko se primenom neparametrijskog *Wilcoxon*-ovog testa testiraju razlike između dobijenih koeficijenata korelacije (videti Tabelu 10), dobiće se da su koeficijenti korelacije između Unilateralnih NUMK i Bilateralnih antifaznih NUMK značajno veći od koeficijenata korelacije između Unilateralnih NUMK i Bilateralnih faznih NUMK ($Z = 2,74$; $p < 0,05$), kao i od koeficijenata korelacije između Bilateralnih faznih NUMK i Bilateralnih antifaznih NUMK ($Z = 3,05$; $p < 0,05$).

Tabela 9. Međusobna povezanost između varijabli Standardnog testa jačine (STJ) i varijabli testa Naizmeničnih uzastopnih maksimalnih kontrakcija dobijenih primenom njihovih različitih varijanti (**Unilateralna**, **Bilateralna fazna** i **Bilateralna antifazna**).

	Unilateralne NUMK				Bilateralne fazne NUMK				Bilateralne antifazne NUMK			
	EXT		FLX		EXT		FLX		EXT		FLX	
	VS	BRS	VS	BRS	VS	BRS	VS	BRS	VS	BRS	VS	BRS
Unilateralni STJ	c				c				a			
EXT									b			
<i>Fmax</i>	0.516*	0.445*	0.493*	0.133	0.723*	0.685*	0.407*	0.445*	0.619*	0.371	0.339	0.262
<i>BRSmax</i>	0.501*	0.479*	0.505*	0.124	0.670*	0.624*	0.419*	0.367	0.565*	0.314	0.378	0.217
FLX												
<i>Fmax</i>	0.276	0.352	0.611*	0.335	0.191	0.375	0.554*	0.124	0.209	0.193	0.585*	0.176
<i>BRSmax</i>	0.229	0.339	0.583*	0.280	0.103	0.337	0.479*	-0.021	0.156	0.196	0.486*	0.136
Bilateralni fazni STJ	b				a				b			
EXT					c							
<i>Fmax</i>	0.410*	0.309	0.295	0.080	0.663*	0.659*	0.322	0.491*	0.643*	0.386	0.104	0.312
<i>BRSmax</i>	0.242	0.154	0.183	0.112	0.486*	0.531*	0.285	0.513*	0.357	0.111	0.127	0.227
FLX												
<i>Fmax</i>	0.122	0.137	0.463*	0.280	0.161	0.347	0.538*	0.234	0.132	0.175	0.478*	0.287
<i>BRSmax</i>	0.033	0.189	0.382	0.306	0.076	0.383	0.420*	0.168	0.040	0.193	0.333	0.303
Bilateralni antifazni STJ	c				c				a			
EXT									b			
<i>Fmax</i>	0.624*	0.333	0.375	0.199	0.638*	0.504*	0.351	0.350	0.615*	0.313	0.222	0.222
<i>BRSmax</i>	0.524*	0.398	0.269	0.438*	0.593*	0.522*	0.213	0.475*	0.537*	0.473*	0.156	0.456*
FLX												
<i>Fmax</i>	0.356	0.320	0.643*	0.232	0.334	0.406*	0.612*	0.225	0.258	0.130	0.634*	0.147
<i>BRSmax</i>	0.379	0.426*	0.508*	0.382	0.282	0.499*	0.433*	0.201	0.236	0.236	0.430*	0.239

Fmax – maksimalna sila; *BRSmax* – maksimalna brzina razvoja sile; VS – vrh sile; BRS – brzina razvoja sile; EXT – ekstenzori; FLX – fleksori;
a – različito od Unilateralnih NUMK; **b** – različito od Bilateralnih faznih NUMK; **c** – različito od Bilateralnih antifaznih NUMK.

Tabela 10. Međusobna povezanost između varijabli testa Naizmeničnih uzastopnih maksimalnih kontrakcija (NUMK) dobijenih primenom njegovih različitih varijanti (**Unilateralne NUMK**, **Bilateralne fazne NUMK** i **Bilateralne antifazne NUMK**).

	Unilateralne NUMK				Bilateralne fazne NUMK				Bilateralne antifazne NUMK			
	EXT		FLX		EXT		FLX		EXT		FLX	
	VS	BRS	VS	BRS	VS	BRS	VS	BRS	VS	BRS	VS	BRS
Unilateralne NUMK												
EXT												
VS	1											
BRS	0.785*	1										
FLX												
VS	0.356	0.426*	1									
BRS	0.470*	0.606*	0.200	1								
Bilateralne fazne NUMK												
EXT												
VS	0.687*	0.567*	0.236	0.094	1							
BRS	0.413*	0.667*	0.381	0.299	0.652*	1						
FLX												
VS	0.067	0.083	0.880*	-0.019	0.146	0.314	1					
BRS	0.288	0.420*	0.130	0.443*	0.567*	0.684*	0.173	1				
Bilateralne antifazne NUMK												
EXT												
VS	0.869*	0.742*	0.294	0.333	0.759*	0.586*	0.048	0.451*	1			
BRS	0.665*	0.736*	0.185	0.539*	0.508*	0.500*	-0.130	0.380	0.798*	1		
FLX												
VS	0.197	0.203	0.866*	0.144	0.051	0.153	0.805*	0.084	0.103	-0.032	1	
BRS	0.392	0.512*	0.109	0.680*	0.289	0.441*	-0.079	0.487*	0.508*	0.806*	0.001	1

VS – vrh sile; BRS – brzina razvoja sile; EXT – ekstenzori; FLX – fleksori

a – različito od Unilateralnih NUMK; **b** – različito od Bilateralnih faznih NUMK; **c** – različito od Bilateralnih antifaznih NUMK.

U Tabeli 11 prikazane su vrednosti Pirsonovog koeficijenta korelacije (R), kojima se određuje međusobna povezanost između rezultata različitih varijanti STJ. Na osnovu izračunatih koeficijenata korelacije, jasno se uočava da postoji statistički značajna međusobna povezanost između sve tri varijante STJ. Ipak, srednje vrednosti dobijenih koeficijenata korelacije, za različite kombinacije pokazuju donekle različite rezultate: povezanost između Unilateralnih NUMK i Bilateralnih faznih NUMK [$SV(R) = 0,587$]; Unilateralnih NUMK i Bilateralnih antifaznih NUMK [$SV(R) = 0,673$] i Bilateralnih faznih NUMK i Bilateralnih antifaznih NUMK [$SV(R) = 0,597$]. Kada su ove razlike bile testirane primenom neparametrijskog *Wilcoxon*-ovog testa, dobijeno je da su koeficijenti korelacije između Unilateralnih NUMK i Bilateralnih antifaznih NUMK značajno veći od koeficijenata korelacije između Unilateralnih NUMK i Bilateralnih faznih NUMK ($Z = 3,15$; $p < 0,05$), kao i od koeficijenata korelacije između Bilateralnih faznih NUMK i Bilateralnih antifaznih NUMK ($Z = 2,33$; $p < 0,05$).

5.4 Latentna struktura motoričkog prostora procenjivana primenom testa Naizmeničnih uzastopnih maksimalnih kontrakcija (NUMK)

Ako se posmatra povezanost između VS zabeleženog u varijantama testa NUMK i Fmax zabeležene u varijantama STJ (videti Tabelu 9), uočava se da statistički značajna veza, u svim mogućim slučajevima, postoji samo kada se porede rezultati dobijeni na istoimenim mišićima (ekstensorima ili fleksorima). Sa druge strane, ako se posmatra povezanost između BRS zabeležene u varijantama testa NUMK i BRSmax zabeležene u varijantama STJ, uočava se da statistički značajna veza, u najvećem broju slučajeva, ne postoji. Izuzetak predstavljaju veze između BRS i BRSmax zabeležene na ekstensorima, koje u pojedinim slučajevima prelaze granicu statističke značajnosti ($R = 0,404$). Konačno, i povezanost između zabeleženih sila (VS i Fmax), sa jedne strane, i zabeleženih brzina razvoja sile (BRS i BRSmax), sa druge strane, samo u sporadičnim slučajevima prelazi granicu statističke značajnosti.

Tabela 11. Međusobna povezanost između varijabli Standardnog testa jačine (STJ) dobijenih primenom njegovih različitih varijanti (**Unilateralni STJ, Bilateralni fazni STJ i Bilateralni antifazni STJ**).

	Unilateralni STJ				Bilateralni fazni STJ				Bilateralni antifazni STJ			
	EXT		FLX		EXT		FLX		EXT		FLX	
	<i>Fmax</i>	<i>BRSmax</i>	<i>Fmax</i>	<i>BRSmax</i>	<i>Fmax</i>	<i>BRSmax</i>	<i>Fmax</i>	<i>BRSmax</i>	<i>Fmax</i>	<i>BRSmax</i>	<i>Fmax</i>	<i>BRSmax</i>
Unilateralni STJ	<u>b</u>				<u>a</u>				<u>b</u>			
EXT												
<i>Fmax</i>	1											
<i>BRSmax</i>	0.912*	1										
FLX												
<i>Fmax</i>	0.560*	0.574*	1									
<i>BRSmax</i>	0.503*	0.571*	0.894*	1								
Bilateralni fazni STJ												
EXT												
<i>Fmax</i>	0.784*	0.738*	0.369	0.294	1							
<i>BRSmax</i>	0.673*	0.707*	0.362	0.368	0.762*	1						
FLX												
<i>Fmax</i>	0.521*	0.537*	0.839*	0.716*	0.455*	0.484*	1					
<i>BRSmax</i>	0.409*	0.482*	0.749*	0.836*	0.358	0.464*	0.826*	1				
Bilateralni antifazni STJ												
EXT												
<i>Fmax</i>	0.807*	0.714*	0.462*	0.479*	0.691*	0.598*	0.441*	0.396	1			
<i>BRSmax</i>	0.732*	0.729*	0.422*	0.471*	0.677*	0.675*	0.563*	0.604*	0.756*	1		
FLX												
<i>Fmax</i>	0.706*	0.674*	0.884*	0.704*	0.473*	0.498*	0.811*	0.594*	0.538*	0.479*	1	
<i>BRSmax</i>	0.632*	0.657*	0.853*	0.842*	0.422*	0.510*	0.795*	0.797*	0.597*	0.626*	0.854*	1

Fmax – maksimalna sila; *BRSmax* – maksimalna brzina razvoja sile; EXT – ekstenzori; FLX – fleksori

a – različito od Unilateralnih NUMK; **b** – različito od Bilateralnih faznih NUMK; **c** – različito od Bilateralnih antifaznih NUMK.

Dalje, rezultati prikazani u Tabeli 10 pokazuju da je u sve tri posmatrane kombinacije (Unilateralne NUMK nasuprot Bilateralnih faznih NUMK; Unilateralne NUMK nasuprot Bilateralnih antifaznih NUMK i Bilateralne fazne NUMK nasuprot Bilateralnih antifaznih NUMK) povezanost između istoimenih varijabli unutar istih mišićnih grupa (ekstenzora ili fleksora) statistički značajna u svim slučajevima. Ovaj nalaz u testu NUMK važi kako za VS, tako i za BRS (videti Tabelu 10). Sa druge strane, kada se posmatra povezanost između istoimenih varijabli, ali unutar različitih mišićnih grupa (npr. BRS ekstenzora sa BRS fleksora), statistički značajna povezanost se kod BRS beleži u 7 od 9 slučajeva, a kod VS ni u jednom slučaju. Konačno, ako se posmatra povezanost između VS i BRS, uočava se postojanje statističke značajnosti kod ekstenzora, ali ne i kod fleksora.

Na kraju, pažljivim posmatranjem dobijenih vrednosti koeficijenata korelacije prikazanih u Tabeli 11, uočava se da su one koje su dobijene poređenjem varijabli unutar iste mišićne grupe (ekstenzora ili fleksora) u proseku nešto više ($0,600 < R < 0,800$), nasuprot onim vrednostima koje su dobijene poređenjem unutar različitih mišićnih grupa, a koje su u proseku nešto niže ($0,400 < R < 0,600$). Ovaj nalaz u STJ važi i kada se međusobno porede istoimene varijable (npr. VS sa VS), ali i kada se međusobno porede različite varijable (npr. VS sa BRS).

U Tabelama 12 i 13 prikazani su rezultati faktorske analize primenjene na pokazateljima sile i brzine razvoja sile, a koji su zabeleženi u različitim varijantama STJ i testa NUMK. Dobijeni nalazi ukazuju na razlike u istraživanoj latentnoj strukturi motoričkog prostora, a koja je procenjivana na osnovu varijabli STJ i testa NUMK.

Naime, kada su faktorski analizirani (metodom glavnih komponenti) rezultati različitih varijanti STJ, struktura izdvojenih glavnih komponenti se značajno razlikovala u odnosu na strukturu dobijenu faktorskom analizom rezultata testova NUMK. Tačnije, faktorskom analizom rezultata STJ (videti Tabelu 12) izoluju se tri značajne glavne komponente, kojima se objašnjava 78,6 % ukupne varijanse svih izabranih manifestnih varijabli.

Tabele 12 i 13: Rezultati faktorske analize primenjene na pokazateljima sile i brzine razvoja sile zabeleženih u različitim varijantama STJ i testa NUMK. Za svaku posmatranu varijablu prikazana je povezanost sa izolovanim glavnim komponentama i njima odgovarajućim komunalitetima, kao i vrednosti karakterističnih korenova i procenti varijanse objašnjeni rotiranjem glavnih komponenti.

STJ	Povezanost sa izolovanim glavnim komponentama			Komunaliteti
	1	2	3	
EXT_Dom	.21	.81	-.12	.89
_UNI_Fmax				
EXT_Ndom	.02	.92	-.10	.85
_UNI_Fmax				
EXT_Dom	-.18	.96	.05	.78
_BI-fazni_Fmax				
EXT_Ndom	-.14	.80	.32	.67
_BI-fazni_Fmax				
EXT_Dom	.08	.80	-.12	.72
_BI-antifazni_Fmax				
EXT_Ndom	-.01	.78	.24	.69
_BI-antifazni_Fmax				
FLX_Dom	.95	-.03	.04	.88
_UNI_Fmax				
FLX_Ndom	.98	-.05	-.17	.89
_UNI_Fmax				
FLX_Dom	.85	-.06	.31	.84
_BI-fazni_Fmax				
FLX_Ndom	.78	.09	.22	.78
_BI-fazni_Fmax				
FLX_Dom	.81	.08	-.13	.72
_BI-antifazni_Fmax				
FLX_Ndom	.66	.35	-.25	.82
_BI-antifazni_Fmax				
EXT_Dom	.17	.76	-.06	.74
_UNI_BRSmx				
EXT_Ndom	.18	.82	-.01	.88
_UNI_BRSmx				
EXT_Dom	-.07	.72	.39	.67
_BI-fazni_BRSmx				
EXT_Ndom	-.08	.81	.34	.76
_BI-fazni_BRSmx				
EXT_Dom	.23	.65	.22	.72
_BI-antifazni_BRSmx				
EXT_Ndom	-.09	.68	.60	.83
_BI-antifazni_BRSmx				
FLX_Dom	.90	-.10	.12	.76
_UNI_BRSmx				
FLX_Ndom	.81	-.04	.04	.64
_UNI_BRSmx				
FLX_Dom	.81	-.24	.59	.94
_BI-fazni_BRSmx				
FLX_Ndom	.73	.08	.35	.80
_BI-fazni_BRSmx				
FLX_Dom	.85	.04	.13	.81
_BI-antifazni_BRSmx				
FLX_Ndom	.73	.22	.03	.78
_BI-antifazni_BRSmx				
Karakteristični korenovi	14.1	3.4	1.3	
% Varijanse	58.7	14.4	5.5	

NUMK	Povezanost sa izolovanim glavnim komponentama				Komunaliteti
	1	2	3	4	
EXT_Dom	.85	.12	.36	-.06	.86
_UNI_VS					
EXT_Ndom	.83	.15	.12	.05	.73
_UNI_VS					
EXT_Dom	.75	.11	.01	.50	.83
_BI-fazni_VS					
EXT_Ndom	.71	-.06	-.22	.49	.80
_BI-fazni_VS					
EXT_Dom	.82	.02	.43	.16	.87
_BI-antifazni_VS					
EXT_Ndom	.89	.06	.03	.27	.87
_BI-antifazni_VS					
FLX_Dom	.37	.81	.20	.00	.83
_UNI_VS					
FLX_Ndom	.12	.92	.02	.10	.86
_UNI_VS					
FLX_Dom	.02	.91	-.05	.23	.89
_BI-fazni_VS					
FLX_Ndom	-.08	.89	-.17	.21	.86
_BI-fazni_VS					
FLX_Dom	-.02	.89	.11	-.03	.81
_BI-antifazni_VS					
FLX_Ndom	.10	.90	.03	-.05	.82
_BI-antifazni_VS					
EXT_Dom	.65	.15	.50	.15	.71
_UNI_BRS					
EXT_Ndom	.68	.19	.42	.20	.73
_UNI_BRS					
EXT_Dom	.46	.20	.28	.69	.81
_BI-fazni_BRS					
EXT_Ndom	.30	.18	.06	.71	.63
_BI-fazni_BRS					
EXT_Dom	.59	-.08	.68	.14	.84
_BI-antifazni_BRS					
EXT_Ndom	.71	-.11	.48	.13	.76
_BI-antifazni_BRS					
FLX_Dom	.18	.04	.83	.08	.74
_UNI_BRS					
FLX_Ndom	.04	.14	.83	.08	.71
_UNI_BRS					
FLX_Dom	.28	-.01	.39	.72	.75
_BI-fazni_BRS					
FLX_Ndom	-.03	.09	.19	.88	.82
_BI-fazni_BRS					
FLX_Dom	.19	-.13	.85	.20	.81
_BI-antifazni_BRS					
FLX_Ndom	.36	.03	.59	.36	.61
_BI-antifazni_BRS					
Karakteristični korenovi	10.0	4.7	2.3	1.9	
% Varijanse	41.7	19.6	9.7	8.1	

STJ – standardni test jačine; NUMK – naizmenične uzastopne maksimalne kontrakcije;
EXT ekstenzori; FLX – fleksori; Dom – dominantna noga; Ndom – nedominantna noga;
UNI – unilateralni; BI – bilateralni; Fmax – maksimalna sila;
BRSmx – maksimalna brzina razvoja sile; VS – vrh sile; BRS – brzina razvoja sile.

Najveću povezanost sa prvom izolovanom glavnom komponentom (videti Tabelu 12) beleže svi testovi STJ primenjeni na mišićima fleksorima. Naime, nezavisno od varijante STJ (Unilateralni STJ, Bilateralni fazni STJ ili Bilateralni antifazni STJ), kao i nezavisno od noge koja je testirana (dominantna ili nedominantna), ali, što je u ovom slučaju najbitnije, i nezavisno od posmatrane varijable testa (Fmax ili BRSmax), svi dobijeni rezultati pokazuju najveći stepen povezanosti sa prvom izolovanom glavnom komponentom. Nadalje, potpuno je isti slučaj i sa rezultatima STJ dobijenim na mišićima ekstenzorima, koji, sa druge strane, najveću povezanost pokazuju sa drugom izolovanom glavnom komponentom. Konačno, sa trećom izolovanom glavnom komponentom nijedan od testova nije pokazao veći stepen povezanosti.

Sa druge strane, faktorskom analizom rezultata testova NUMK (videti Tabelu 13) izoluju se četiri značajne glavne komponente, kojima se objašnjava 79,1 % ukupne varijanse svih izabranih manifestnih varijabli. Najveću povezanost sa prvom izolovanom glavnom komponentom beleže svi testovi NUMK za procenu sile (VS) mišića ekstenzora, kao i tri testa za procenu brzine razvoja sile (BRS), takođe, mišića ekstenzora (Unilateralne NUMK dominantne i nedominantne noge i Bilateralne antifazne NUMK nedominantne noge). Dalje, sa drugom izolovanom glavnom komponentom najveću povezanost pokazuju svi testovi NUMK za procenu sile (VS) mišića fleksora. Sa trećom izolovanom glavnom komponentom, najveću povezanost pokazuje jedan test za procenu brzine razvoja sile (BRS) mišića ekstenzora (Bilateralne antifazne NUMK dominantne noge), kao i 4 od 6 testova za procenu istog svojstva (BRS), ali, ovog puta, mišića fleksora. Izuzetak su samo Bilateralne fazne NUMK mišića fleksora dominantne i nedominantne noge, koje prilikom procene brzine razvoja sile (BRS), najveći stepen povezanosti beleže u odnosu na četvrtu izolovanu glavnu komponentu. Pored toga, sa četvrtom izolovanom glavnom komponentom, najveći stepen povezanosti pokazuju i ista dva testa, ali za procenu brzine razvoja sile (BRS) mišića ekstenzora (Bilateralne fazne NUMK dominantne i nedominantne noge).

5.5 Eksterna validnost testa Naizmeničnih uzastopnih maksimalnih kontrakcija (NUMK)

Podaci prikazani u Tabeli 14 predstavljaju osnovne deskriptivne pokazatelje motoričkih sposobnosti ispitanika procenjenih na osnovu rezultata izabranih motoričkih testova. Izuzev u dva sprinta na 10 i 20 m, gde su ispitanici zabeležili homogene rezultate (dobijeni su koeficijenti varijacije manji od 10 %) u ostalim testovima zabeleženi rezultati varirali su u odnosu na prosek za deset i više procenata (rezultat Margarija testa bio je veoma blizu ovoj granici – 9.3 %). Prikazani podaci, zajedno sa podacima izabranih morfoloških karakteristika ukazuju na nehomogen uzorak.

Tabela 14. Deskriptivni pokazatelji motoričkih sposobnosti ispitanika procenjenih na osnovu rezultata izabranih motoričkih testova.

	10 m (s)	20 m (s)	Marg (W)	VŠČ (cm)	PVS (cm)	SVS (cm)	SVS (W)	1RM (kg)	MPowO (W)
Srednja vrednost	1.94	2.62	59.9	31.8	35.3	30.5	36.7	126.5	1126.7
Standardna devijacija	0.11	0.12	5.6	4.7	4.1	4.3	7.3	19.9	208.3
Minimalna vrednost	1.80	2.41	47.8	22.1	25.0	22.7	24.5	92.5	727.5
Maksimalna vrednost	2.19	2.88	65.9	40.0	41.8	37.4	56.4	162.5	1525.7
Opseg	0.39	0.47	18.1	17.9	16.8	14.7	31.9	70.0	798.2
Koeficijent varijacije (CV)	5.6 %	4.4 %	9.3 %	14.9 %	11.6 %	14.2 %	19.9 %	15.7 %	18.5 %

10 m - Sprint na 10 m iz visokog starta; 20 m - Sprint na 20 m sa letećim startom; Marg - Margarija test; VŠČ - Vertikalni skok iz polučučnja; PVS - Prirodni vertikalni skok; SVS - Skok uvis nakon saskoka; 1RM - Jedan ponavljajući maksimum iz polučučnja; MPowO - Maksimalna snaga mišića u skoku iz polučučnja sa opterećenjem.

Eksterna validnost evaluiranih testova procenjivana je na osnovu povezanosti rezultata STJ i testova NUMK sa rezultatima izabranih motoričkih testova. U Tabeli 15 prikazane su vrednosti Pirsonovog koeficijenta korelacije (R), kao mera eksterne validnosti različitih varijanti STJ. Važno je napomenuti da je korelaciona analiza izvršena na podacima normalizovanim u odnosu na telesne dimenzije (npr. masu tela). U normalizaciji testova korišćen je teorijski pristup, koji za različite grupe testova

predviđa korišćenje različitih alometrijskih eksponenata (Hill 1959; Astrand i Rodahl 1986). Naime, različite grupe testova pokazuju različitu zavisnost od telesnih dimenzija.

Tabela 15. Međusobna povezanost između varijabli Standardnog testa jačine (STJ) dobijenih primenom njegovih različitih varijanti (Unilateralni STJ, Bilateralni fazni STJ i Bilateralni antifazni STJ) i rezultata izabranih motoričkih testova

	10 m	20 m	Marg	VŠČ	PVS	SVS (cm)	SVS (W)	1RM	MPowO
Unilateralni STJ									
EXT									
VS	-0.247	-0.188	0.136	-0.035	-0.075	0.252	0.406*	0.288	0.354
BRS	-0.220	-0.285	0.224	0.049	0.063	0.320	0.179	0.183	0.306
FLX									
VS	-0.358	-0.165	-0.171	0.048	-0.078	-0.187	0.163	0.177	0.170
BRS	-0.424*	-0.344	-0.075	0.130	0.055	0.104	0.259	0.130	0.163
Bilateralni fazni STJ									
EXT									
VS	-0.183	-0.114	0.154	-0.011	-0.040	0.106	0.234	0.463*	0.388
BRS	-0.370	-0.234	0.389	-0.242	-0.156	0.228	0.164	0.180	0.130
FLX									
VS	-0.223	-0.196	-0.168	-0.077	-0.176	-0.229	0.013	0.171	0.173
BRS	-0.293	-0.353	-0.127	0.029	-0.035	-0.056	-0.013	0.186	0.195
Bilateralni antifazni STJ									
EXT									
VS	-0.322	-0.451*	0.115	0.095	0.075	0.379	0.464*	0.426*	0.454*
BRS	-0.306	-0.527*	0.091	0.194	0.265	0.415*	0.112	0.310	0.409*
FLX									
VS	-0.313	-0.084	-0.080	0.054	-0.042	-0.057	0.090	0.104	0.162
BRS	-0.317	-0.282	-0.076	0.258	0.191	0.146	0.050	0.283	0.302

10 m - Sprint na 10 m iz visokog starta; 20 m - Sprint na 20 m sa letećim startom; Marg - Margarija test; VŠČ - Vertikalni skok iz polučučnja; PVS - Prirodni vertikalni skok; SVS - Skok uvis nakon saskoka; 1RM - Jedan ponavljajući maksimum iz polučučnja; MPowO - Maksimalna snaga mišića u skoku iz polučučnja sa opterećenjem,

Već na prvi pogled se jasno uočava da je apsolutna većina dobijenih koeficijenata korelacije ispod granice statističke značajnosti ($R = 0,404$). Ipak, pažljivijom analizom dobijenih rezultata, zapažaju se, generalno, nešto veće vrednosti koeficijenata korelacije dobijene za mišiće ekstenzore u odnosu na mišiće fleksore.

Dalje, veće vrednosti koeficijenata korelacije dobijaju se, u proseku, i za VS u odnosu na BRS kod mišića ekstenzora, odnosno BRS u odnosu na VS kod mišića fleksora. Konačno, veće vrednosti koeficijenata korelacije beleže se i kod Unilateralnog STJ i Bilateralnog antifaznog STJ, ako se ove dve varijante uporede sa varijantom Bilateralnog faznog STJ. Bez obzira, važno je ipak istaći da niske vrednosti dobijenih koeficijenata korelacije obesmišljavaju primenu detaljnijih statističkih analiza, tako da gore navedeni nalazi predstavljaju grubu spekulaciju.

Tabela 16. Međusobna povezanost između varijabli testa Naizmeničnih uzastopnih maksimalnih kontrakcija (NUMK) dobijenih primenom njegovih različitih varijanti (Unilateralne NUMK, Bilateralne fazne NUMK i Bilateralne antifazne NUMK) i rezultata izabranih motoričkih testova.

	10 m	20 m	Marg	VŠČ	PVS	SVS (cm)	SVS (W)	1RM	MPowO
Unilateralne NUMK									
EXT									
VS	-0.206	-0.274	-0.195	0.451*	0.370	0.329	0.284	0.507*	0.560*
BRS	-0.039	-0.021	-0.368	0.283	0.140	0.136	0.136	0.479*	0.380
FLX									
VS	0.059	-0.070	-0.102	-0.005	-0.103	0.136	0.278	-0.089	-0.057
BRS	-0.266	-0.280	-0.361	0.107	0.027	0.076	0.283	0.498*	0.302
Bilateralne fazne NUMK									
EXT									
VS	-0.055	-0.038	-0.162	-0.017	-0.042	0.126	0.162	0.260	0.286
BRS	0.129	0.161	-0.288	-0.187	-0.295	-0.042	0.233	0.474*	0.240
FLX									
VS	0.172	-0.013	-0.081	-0.270	-0.333	-0.065	0.175	-0.146	-0.181
BRS	-0.050	-0.043	-0.236	-0.300	-0.344	-0.068	0.262	0.365	0.222
Bilateralne antifazne NUMK									
EXT									
VS	-0.149	-0.165	-0.071	0.277	0.172	0.186	0.302	0.546*	0.592*
BRS	-0.186	-0.162	-0.339	0.313	0.199	0.131	0.190	0.487*	0.536*
FLX									
VS	0.077	0.008	-0.031	-0.149	-0.219	-0.102	0.178	-0.284	-0.195
BRS	-0.223	-0.112	-0.429*	-0.019	-0.088	0.018	0.141	0.417*	0.348

10 m - Sprint na 10 m iz visokog starta; 20 m - Sprint na 20 m sa letećim startom; Marg - Margarija test; VŠČ - Vertikalni skok iz polučučnja; PVS - Prirodni vertikalni skok; SVS - Skok uvis nakon saskoka; 1RM - Jedan ponavljajući maksimum iz polučučnja; MPowO - Maksimalna snaga mišića u skoku iz polučučnja sa opterećenjem.

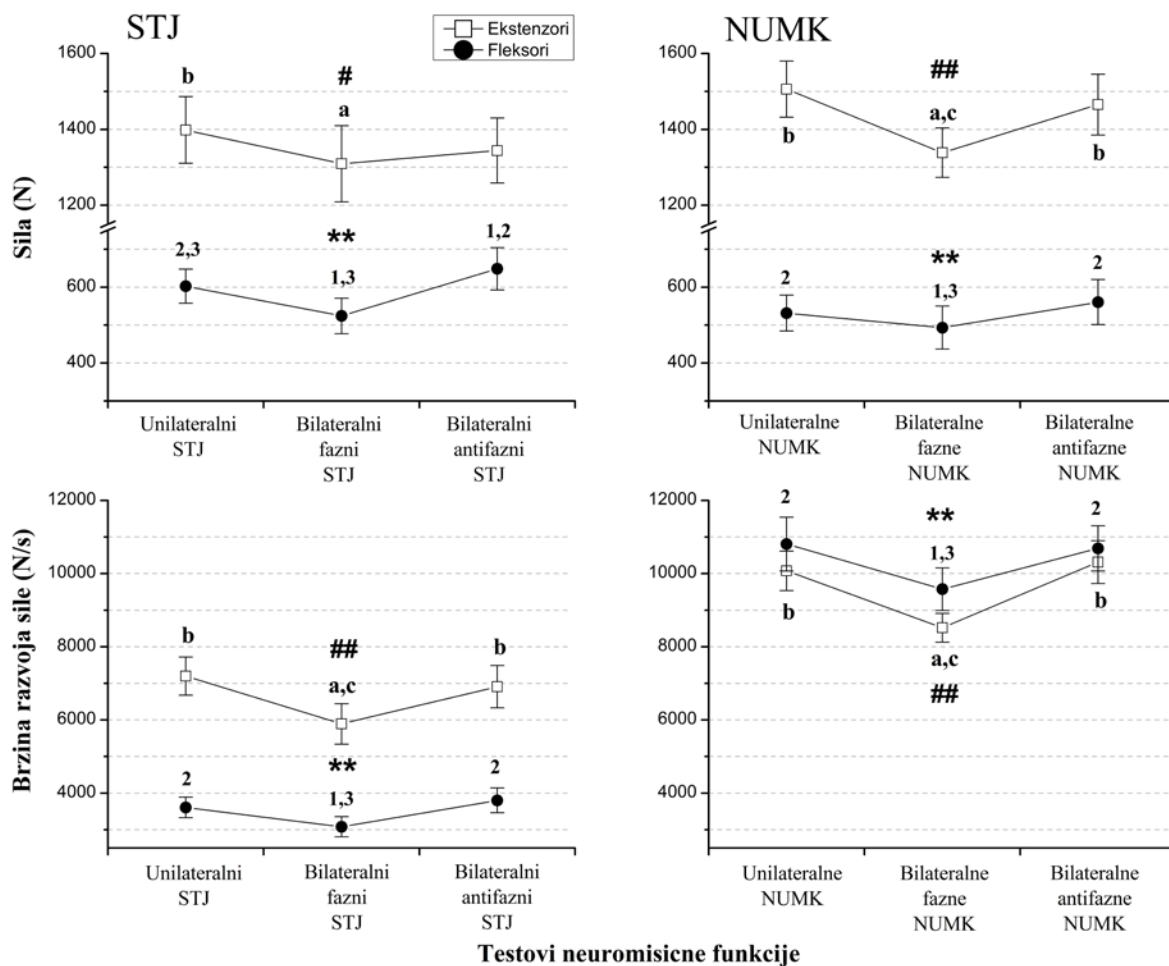
U Tabeli 16 prikazane su vrednosti Pirsonovog koeficijenta korelacije (R), kao mera eksterne validnosti različitih varijanti testa NUMK. Kao ni kod STJ, ni kod testova NUMK apsolutna većina varijabli ne beleži statistički značajnu povezanost sa varijablama izabranih motoričkih testova ($R < 0,404$). Ipak i ovde se izdvajaju iste ili slične grupe kao i kod STJ, a u okviru kojih se beleže nešto veće vrednosti dobijenih koeficijenata korelacije. Na osnovu toga, moglo bi se ponovo spekulirati da i kod testa NUMK, nešto veću eksternu validnosti pokazuju mišići ekstenzori u odnosu na mišiće fleksore; VS u odnosu na BRS kod mišića ekstenzora, odnosno BRS u odnosu na VS kod mišića fleksora; kao i Unilateralne NUMK i Bilateralne antifazne NUMK, u odnosu na Bilateralne fazne NUMK.

5.6 Bilateralni deficit u testu Naizmeničnih uzastopnih maksimalnih kontrakcija (NUMK)

Na Grafiku 5 dat je uporedni prikaz pokazatelja bilateralnog deficita (za detalje videti Uvod - poglavlje 1.3.1) nastalog primenom različitih varijanti Standardnog testa jačine (Unilateralni STJ, Bilateralni fazni STJ i Bilateralni antifazni STJ) i testa Naizmeničnih uzastopnih maksimalnih kontrakcija (Unilateralne NUMK, Bilateralne fazne NUMK i Bilateralne antifazne NUMK).

Prilikom procene bilateralnog deficita koriste se sumarne sile i brzine razvoja sile zabeležene odvojeno za dominantnu i nedominantnu nogu. Prikazane tačke predstavljaju, odvojeno za ekstenzore (prazni kvadratići) i fleksore (puni kružići), srednje vrednosti zbira sila, odnosno zbira brzina razvoja sile dominantne i nedominantne noge, zabeležene unutar različitih varijanti istog testa (Unilateralne, Bilateralne fazne i Bilateralne antifazne varijante). Vertikalni štapići predstavljaju odgovarajuće 95 % intervale pouzdanosti. Linijskim povezivanjem prikazanih tačaka, za isti test se, odvojeno za ekstenzore i fleksore, dobija kriva, čiji profil jasno može da ukaže na postojanje fenomena bilateralnog deficita. Naime, postojanje V-profila u ovako datom rasporedu različitih varijanti istog testa, ukazivalo bi na niže vrednosti zabeleženih sila ili brzina razvoja sile u Bilateralnoj faznoj varijanti. Upravo ovakvi profili se uočavaju na apsolutno svim prikazanim panelima, kako za mišiće ekstenzore, tako i za mišiće fleksore, te, kao takvi, predstavljaju glavni nalaz Grafika 5. Na

razdvojenim panelima Grafika 5 prikazani su i rezultati statističke analize. Naime, primenom analize varijanse sa ponovljenim merenjem, potvrđivana je statistička značajnost gore navedenog nalaza. Za procenu razlika između ponovljenih merenja, korišćen je faktor „Varijanta istog testa“.



Grafik 5. Uporedni prikaz pokazatelja bilateralnog deficita nastalog primenom različitih varijanti Standardnog testa jačine (Unilateralni STJ, Bilateralni fazni STJ i Bilateralni antifazni STJ) i testa Naizmeničnih uzastopnih maksimalnih kontrakcija (Unilateralne NUMK, Bilateralne fazne NUMK i Bilateralne antifazne NUMK). Prikaz je dat u odnosu na zabeležene sile (gornji paneli) i brzine razvoja sile (donji paneli), a odvojeno za ekstenzore (prazni kvadratići) i fleksore (puni kružići). Vertikalni štapići predstavljaju 95 % intervale pouzdanosti.

*, # - $p < 0,05$; **, ## - $p < 0,001$; 1- različito od unilateralnog STJ; 2 – različito od Bilateralnog faznog STJ; 3 – različito od Bilateralnog antifaznog STJ; a – različito od unilateralnog NUMK; b – različito od Bilateralnih faznih NUMK; c – različito od Bilateralnih antifaznih NUMK.

Nalaz po kome se u okviru Bilateralne fazne varijante ostvaruju značajno niže sile ili brzine razvoja sile, potvrđivan je naknadnom *post-hoc* analizom. U okviru ove analize korišćen je *Tukey-ev post-hoc* test, kao test sa najvišim nivoom statističke značajnosti. Rezultati naknadne *post-hoc* analize, na panelima su prikazani korišćenjem slova: *a*, *b* i *c* za mišiće ekstenzore, odnosno korišćenjem brojeva 1, 2 i 3 za mišiće fleksore. Slovo *b* za mišiće ekstenzore, odnosno broj 2 za mišiće fleksore ukazuju na značajno niže vrednosti sile i brzine razvoja sile zabeležene u Bilateralnoj faznoj varijanti kod oba posmatrana testa (STJ i testa NUMK). Značajno niže vrednosti sile i brzine razvoja sile zabeležene u Bilateralnoj faznoj varijanti potvrđuju se i na osnovu vrednosti 95 % intervala pouzdanosti. Naime, ukoliko se u okviru 95 % intervala pouzdanosti Bilateralne fazne varijante ne nalaze srednje vrednosti sile i brzine razvoja sile Unilateralne i Bilateralne antifazne varijante, onda se može zaključiti da su vrednosti sile i brzine razvoja sile zabeležene u Bilateralnoj faznoj varijanti, značajno niže.

Primenom analize sa ponovljenim merenjem dobijeni su sledeći rezultati: za silu mišića ekstenzora u STJ ($F_{[3,72]} = 4,2$; $p < 0,05$); za brzinu razvoja sile mišića ekstenzora u STJ ($F_{[3,72]} = 22,1$; $p < 0,001$); za silu mišića fleksora u STJ ($F_{[3,72]} = 41,4$; $p < 0,001$); za brzinu razvoja sile mišića fleksora u STJ ($F_{[3,72]} = 35,9$; $p < 0,001$); za silu mišića ekstenzora u NUMK ($F_{[3,72]} = 26,4$; $p < 0,001$); za brzinu razvoja sile mišića ekstenzora u NUMK ($F_{[3,72]} = 40,9$; $p < 0,001$); za silu mišića fleksora u NUMK ($F_{[3,72]} = 9,9$; $p < 0,001$); za brzinu razvoja sile mišića fleksora u NUMK ($F_{[3,72]} = 10,1$; $p < 0,001$).

6. Diskusija rezultata istraživanja sa zaključcima

Istraživani problem odnosio se na validnu i pouzdanu procenu neuromišićne funkcije. U okviru najrazličitijih oblasti ljudskog delovanja, kao što su: sport i fizičko vaspitanje, fizikalna terapija, rehabilitacija, ergonomija, neurologija i sl., za procenu neuromišićne funkcije najčešće se koristi Standardni test jačine (STJ). S obzirom da su u primeni STJ uočeni brojni nedostaci (videti Uvod - poglavlje 1.2.1.4), nameće se zahtev za iznalaženje alternativnog rešenja u vidu novog testa za procenu neuromišićne funkcije. Šira primena svakog novog testa zahteva prethodnu detaljnu evaluaciju, putem koje se na eksperimentalan način proveravaju njegove metrijske karakteristike (npr. validnost, pouzdanost, eksterna validnost i osetljivost).

U vezi sa tim, realizovano je istraživanje u okviru koga je evaluiran novopredloženi test zasnovan na izvođenju Naizmeničnih uzastopnih maksimalnih kontrakcija (NUMK) u uslovima bilateralne mišićne aktivnosti. Shodno tome, postavljene su hipoteze čijim testiranjem bi se utvrdile pojedine metrijske karakteristike novopredloženog testa (validnost, pouzdanost i eksterna validnost). Primena NUMK u uslovima bilateralne mišićne aktivnosti urađena je kako bi se uslovi testiranja približili realnim situacijama, u okviru kojih se različiti kretni zadaci najčešće vrše uz sadejstvo oba istoimena ekstremiteta (skokovi, bacanja, trčanja, vožnja bicikla, plivanje, veslanje itd). Kako bilateralna mišićna aktivnost dovodi do pojave bilateralnog deficita (videti Uvod – poglavlje 1.3.1) postavljena je još i hipoteza čijim testiranjem bi se ispitalo prisustvo ovog fenomena u primeni novopredloženog testa. Konačno, testiranjem hipoteze postavljene u vezi sa latentnom strukturom motoričkog prostora tačno bi se utvrdila svojstva mišića koja se procenjuju primenom novopredloženog testa.

U cilju lakšeg razumevanja, diskutovanje glavnih nalaza urađeno je u odnosu na postavljene hipoteze.

6.1 Karakteristike uzorka

Pre diskutovanja glavnih nalaza, značajno je razmotriti par metodoloških aspekata u vezi sa uzorkom ispitanika, koji je korišćen u testiranju postavljenih hipoteza

istraživanja. Naime, u Tabelama 6 i 14 prikazani su deskriptivni pokazatelji osnovnih morfoloških karakteristika ispitanika, kao i deskriptivni pokazatelji rezultata dobijenih testiranjem ispitanika izabranim motoričkim testovima. Na osnovu prikazanih vrednosti koeficijenata korelacije, uočava se da dobijeni rezultati variraju u najvećem broju slučajeva za deset i više procenata od srednjih vrednosti. Time se ukazuje na nehomogenost korišćenog uzorka. Ovakav nalaz ima izvesni metodološki značajan, jer je dobro poznata činjenica da izrazito homogeni uzorci, zbog suženog opsega, ograničavaju rezultate komparativnih analiza, odnosno veštački snižavaju vrednosti računatih koeficijenata korelacije (Särndal i sar. 2003). Ovde je važno imati na umu da se testiranje hipoteza u vezi sa validnošću, pouzdanošću i eksternom validnošću, zasniva isključivo na ispitivanju stepena povezanosti između pojedinih varijabli istog ili različitog testa. U vezi sa tim, potrebno je istaći da korišćenje nehomogenog uzorka na jedan prirodniji način omogućava dobijanje višeg stepen povezanosti između ispitivanih varijabli.

Pažljivijom analizom deskriptivnih pokazatelja izabranih morfoloških karakteristika ispitanika, uočava se postojanje značajnog varijabiliteta uzorka u pogledu mase tela (M ; $CV = 13,7\%$), a posebno u pogledu mase telesnih masti (MTM ; $CV = 41,7\%$). Ovakav nalaz upućuje na potrebu normalizacije rezultata testova motoričkih sposobnosti u odnosu na telesne dimenzije (npr. masu tela). Važna napomena je da različite grupe motoričkih testova pokazuju različiti stepen zavisnosti od telesnih dimenzija (Hill 1959; Astrand i Rodahl 1986), te se iz tog razloga u normalizaciji koriste različite vrednosti alometrijskih eksponenata, kojima se ova zavisnost određuje. Tačnije, u testovima za procenu maksimalne jačine mišića u uslovima savladavanja spoljašnjeg opterećenja (F_{max} , BRS_{max} , VS , BRS i $1RM$) i testovima za direktnu procenu snage mišića ($Marg$, SVS (W) i $MPowO$), dobijeni rezultati normalizuju se deljenjem sa masom tela stepenovanom na $2/3$. Sa druge strane, rezultati dobijeni u testovima za indirektnu procenu snage mišića u uslovima izvođenja brzih pokreta ($10m$, $20m$, $VŠČ$, PVS i SVS) se ne normalizuju, jer su oni nezavisni od telesnih dimenzija, pa je vrednost njihovih alometrijskih eksponenata jednaka 0 (nuli).

Ipak za potrebe testiranja postavljenih hipoteza istraživanja, opisani metod normalizacije korišćen je samo u testiranju hipoteze koja se odnosila na ispitivanje eksterne validnosti evaluiranog testa NUMK. Naime, u ovom slučaju ispitivana je

međusobna povezanost između testova, koji su u različitom stepenu zavisni od telesnih dimenzija. Kako bi ovi različiti uticaji bili neutralisani bilo je potrebno normalizovati sve dobijene rezultate, na način kako je to u prethodnom odeljku opisano. Sa druge strane, u okviru testiranja svih ostalih hipoteza ispitivane su veze ili razlike između podataka čija je zavisnost od telesnih dimenzija istog stepena. U tim slučajevima normalizacija gubi smisao, jer se prilikom deljenja brojeva istom vrednošću ne utiče na promenu njihovog međusobnog odnosa. Iz navedenog razloga, sirovi, nenormalizovani rezultati korišćeni su u testiranju hipoteza vezanih za ispitivanje konkurentne validnosti i pouzdanosti testa NUMK, kao i u testiranju hipoteza vezanih za ispitivanje latentne strukture motoričkog prostora i fenomena bilateralnog deficita.

6.2 Pouzdanost testa Naizmeničnih uzastopnih maksimalnih kontrakcija (NUMK)

Prva hipoteza istraživanja predviđa visoku pouzdanost kod ponovljenih merenja za sve izvedene varijable (VS i BRS) u testovima sa bilateralnim faznim i antifaznim NUMK (**Hipoteza H_{1-1}**). Iako je u ranijim istraživanjima potvrđena pouzdanost kod ponovljenih merenja za STJ (Abernethy i sar. 1995; Wilson i Murphy 1996), kao i za Unilateralne NUMK (Bozic i sar. 2011), kompleksnost Bilateralnih NUMK kao motoričkog zadatka mogla bi negativno uticati na pouzdanost ovog testa. Naime, istovremena simultana aktivnost četiri različita mišića u dva odvojena ekstremiteta, kao i neprekidna brza tranzicija ispoljenih sila (ekstenzori – fleksori – ekstenzori), značajno mogu usložniti samo izvođenje, ali, takođe, i aktivirati različite mehanizme motorne kontrole (za detalje videti Uvod – poglavlje 1.3.2). Iz tog razloga, bilo je potrebno eksperimentalno utvrditi stepen pouzdanosti kod ponovljenih merenja u testovima Bilateralnih NUMK (faznih i antifaznih).

Kao prvo, krive zabeleženih promena sile u vremenu, koje su na Grafiku 3 prikazane za reprezentativnog ispitanika, jasno ukazuju na stabilnost njihovih profila. Stabilni profili sile omogućavaju dobijanje stabilnih profila brzine razvoja sile. Naime, krive brzina razvoja sile se metodom derivacije direktno računaju iz krivi sila. Ukoliko bi se na krivi sile pojavile određene nepravilnosti, to bi nužno za posledicu imalo i narušavanje profila brzine razvoja sile. Pored toga, na sledećem grafiku (Grafik 4)

primećuje se i stabilan odnos sila i brzina razvoja sile kod dominantne i nedominantne noge. U slučaju testa Bilateralnih NUMK, pored stabilnih profila zabeleženih kriva, za dobijanje pouzdanih podataka neophodan je i stabilna odnos dominantne i nedominantne noge. Grafici 3 i 4 upravo prikazuju zadovoljenje ova dva uslova kod svih varijanti evaluiranih testova.

Dalje, dobijeni rezultati (videti Tabele 7 i 8) pokazuju da su za obe varijante testa Bilateralnih NUMK u svim praćenim varijablama zabeleženi: (1) vrlo visoki ICC koeficijenti (uglavnom veći od 0,90); (2) izrazito niski koeficijenti varijacije (oko 5 %) i (3) odsustvo statistički značajnih razlika između ponavljanih pokušaja (F -vrednosti uglavnom manje od 0,500). Ovime je potvrđen preliminarni nalaz pilot istraživanja, uz prethodno ispunjenje neophodnih metodoloških zahteva po pitanju veličine uzorka. Imajući napred navedeno u vidu može se izvući zaključak da je pouzdanost dobijena za obe varijante Bilateralnih NUMK (fazna ili antifazna) uporediva sa onom dobijenoj za STJ (Abernethy i sar. 1995; Wilson i Murphy 1996; Hopkins i sar. 2001) i test Unilateralnih NUMK (Bozic i sar. 2011). Daljom analizom dobijenih rezultata, uočava se da su pokazatelji pouzdanosti generalno nešto niži za BRS. Ovakav nalaz je takođe na liniji nalaza ranijih istraživanja, koja su pouzdanost BRS ispitivala u STJ (Abernethy i sar. 1995; Wilson i Murphy 1996), Unilateralnim UMK (Suzovic i sar. 2008) i Unilateralnim NUMK (Bozic i sar. 2011). Konačno, niske vrednosti koeficijenata varijacije (oko 5 %) ukazuju na mali varijabilitet unutar samog ispitanika i sugerišu da je rutinskom primenom novopredloženog testa Bilateralnih NUMK, moguće u budućnosti detektovati razlike u visini od 5 % prilikom procenjivanja sile mišića ili prilikom procenjivanja brzine njenog razvoja.

Shodno izloženom, može se zaključiti da su dobijeni rezultati potvrdili **Hipotezu H_{1-1}** , koja je glasila „*Variable testova sa bilateralnim faznim i antifaznim NUMK (VS i BRS) pokazaće visoku pouzdanost kod ponovljenih merenja*“. Praktična posledica ovakvog nalaza ogleda se u preporuci da se u budućoj rutinskoj primeni novopredloženog testa Bilateralnih NUMK koristi samo jedan eksperimentalni pokušaj, kome svakako mora da prethodni i jedan probni pokušaj. Tačnije, može se smatrati da je i samo jedan eksperimentalni pokušaj dovoljan za dobijanje pouzdanih, a moguće i validnih podataka, jer je dobijanje pouzdanih podataka osnovna pretpostavka njihove validnosti.

Kada je reč o pouzdanosti testova Bilateralnih NUMK, u okviru budućih istraživanja potrebno je dalje ispitati, ne samo, kao u ovom slučaju, pouzdanost između ponovljenih pokušaja unutar jednog merenja, već i pouzdanost između ponovljenih merenja. Tačnije, da bi novopredloženi testovi Bilateralnih NUMK mogli rutinski da se primenjuju u praksi, neophodno je da se utvrdi njihova pouzdanost nakon dva dana i nakon šest nedelja. Na taj način bi se omogućilo praćenje različitih intervencija čiji su efekti povezani sa uticajem proteklog vremena. Naime, većina trenažnih programa ili primenjenih rehabilitacionih procedura najčešćeg su trajanja od šest nedelja. Da bi se procenili efekti ovih programa ili procedura, mora se precizno utvrditi da li proteklo vreme, samo po sebi utiče na rezultat testa, ili su eventualne promene rezultata nastale isključivo kao posledica efekata primenjenog trenažnog programa, odnosno rehabilitacione procedure.

6.3 Konkurentna validnost testa Naizmeničnih uzastopnih maksimalnih kontrakcija (NUMK)

Druga hipoteza odnosila se na ispitivanje konkurentne validnosti novopredloženog testa. Postavljenom hipotezom predviđa se visoka konkurentna validnost varijabli testova sa bilateralnim faznim i antifaznim NUMK (VS i BRS) u odnosu na STJ i Unilateralne NUMK (**Hipoteza H₁₋₂**). Konkurentna validnost podrazumeva postojanje visokog stepena povezanosti evaluiranog testa sa testom čija validnost je očigledna. U ovom slučaju, test sa očiglednom validnošću je STJ, dok je test Unilateralnih NUMK, test čija validnost je eksperimentalno dokazana u ranijim istraživanjima (Bozic i sar. 2011; Bozic i sar. 2012). Ipak, važno je naznačiti da se očigledna validnost STJ odnosi pre svega na varijablu Fmax, dok za varijablu BRSmx ostaje nejasno da li ona, u odnosu na Fmax, procenjuje isto ili različito svojstvo mišića (Wilson i Murphy 1996; Holtermann i sar. 2007).

Rezultati korelacione analize, u okviru koje je određivan stepen povezanosti između varijanti testa NUMK, sa jedne strane, i Unilateralnog STJ, sa druge strane, ukazuju na sličnu konkurentnu validnost Unilateralnih NUMK i Bilateralnih faznih NUMK (videti Tabelu 9). Naime, ove dve varijante testova NUMK pokazuju značajno veći stepen povezanosti sa Unilateralnim STJ, u odnosu na varijantu Bilateralnih

antifaznih NUMK. U ranijim istraživanjima Božića i sar. 2011, 2012 dobijena je umerena do visoka povezanost Unilateralnih NUMK sa Unilateralnim STJ. Rezultati dobijeni u ovom istraživanju su u delimičnoj saglasnosti sa nalazima iz dve pomenute studije, jer su vrednosti dobijenih koeficijenata korelacije umerene, što znači nešto niže od ranije dobijenih.

Rezultati prikazani u Tabelama 10 i 11, koji se odnose na stepen međusobne povezanosti između različitih varijanti istog testa (testa NUMK i STJ), izdvajaju Bilateralnu faznu varijantu, kao varijantu sa najnižim stepenom međusobne povezanosti. Ovaj nalaz je značajan, jer je, sa druge strane, pokazano da konkurentna validnost Bilateralne fazne varijante ne zaostaje za ostalim varijantama, čime se sugerše da bi se u pogledu ostalih karakteristika upravo ova varijanta testa sa bilateralnom mišićnom aktivnošću mogla kvalitativno razlikovati. Jedna od prednosti varijante Bilateralnih faznih NUMK mogla bi se ogledati u činjenici da pokazatelji za brzinu razvoja sile pokazuju generalno veću povezanost sa istim pokazateljima u STJ. Ovo je posebno uočljivo za mišiće ekstenzore gde u svim slučajevima dobijene vrednosti koeficijenata korelacije prelaze granicu statističke značajnosti. Jedno od mogućih objašnjenja za dobijanje delom različitih rezultata moglo bi biti prisustvo različitih neuroloških mehanizama tokom vršenja bilateralnih faznih i antifaznih aktivnosti (za detalje videti Uvod – poglavlje 1.3.2). Uloga različitih neuroloških mehanizama posebno može biti značajna za validnu procenu brzine razvoja sile pošto je ovaj parametar sile vremenski zavistan (Ohtsuki 1983; Oda i Moritani 1995; Taniguchi 1998).

Na osnovu izloženih nalaza, može se zaključiti da su dobijeni rezultati delimično potvrdili **Hipotezu H_{1-2}** , koja je glasila „*varijable testova sa bilateralnim faznim i antifaznim NUMK (VS i BRS) pokazaće u odnosu na STJ i Unilateralne NUMK visoku konkurentnu validnost*“. Tačnije, može se zaključiti da obe varijante testa Bilateralnih NUMK (fazna i antifazna), po pitanju procene maksimalne sile mišića pokazuju značajnu konkurentnu validnost u odnosu na STJ. Međutim, po pitanju procene brzine razvoja sile blaga prednost se može dati varijanti Bilateralnih faznih NUMK. U svakom slučaju, generalni nalaz mogao bi ukazivati na jednu vrlo važnu komparativnu prednost testa Bilateralnih NUMK u odnosu na Unilateralne NUMK, a posebno na STJ. Naime, primena testa Bilateralnih NUMK omogućava istovremeno testiranje antagonističkih

mišićnih grupa u oba ekstremiteta. To konkretno znači da se jednim testom, u samo jednom pokušaju, mogu validno i pouzdano proceniti pokazatelji sile i brzine razvoja sile kod četiri različita mišića. Ova karakteristika novopredloženog testa mogla bi da reši probleme mišićnog i mentalnog zamora za koje se smatra da predstavljaju značajno metodološko i praktično ograničenje STJ (Abernethy i sar. 1995; Wilson i Murphy 1996). Sa druge strane, moglo se očekivati da VS dobijen u Bilateralnim NUMK ne može validno proceniti maksimalnu izometrijsku silu (F_{max}) dobijenu u STJ, za koju se smatra da je značajna za neke motoričke zadatke. Ipak, u skladu sa nalazima ranijih istraživanja, kojima su evaluirane varijante testova sa UMK (Suzovic i sar. 2008) i NUMK (Bozic i sar. 2011; Bozic i sar. 2012), ali, takođe, i u skladu sa nalazima pilot studije, pokazano je da se primenom testova Bilateralnih NUMK mogu validno proceniti maksimalna sila i maksimalna brzina razvoja sile, bez izlaganja mišićnog i vezivnog tkiva dugotrajnim i velikim naporima.

6.4 Latentna struktura motoričkog prostora procenjivana primenom testa Naizmeničnih uzastopnih maksimalnih kontrakcija (NUMK)

Treća hipoteza odnosila se na ispitivanje latentne strukture motoričkog prostora procenjivane primenom novopredloženog testa. Kada je reč o STJ, poznato je da sila mišića i brzina njenog razvoja pozitivno koreliraju između i unutar individualnih mišića (Mirkov i sar. 2004). Ova povezanost može biti zasnovana na brojnim zajedničkim faktorima kao što su veličina tela, poprečni presek mišića, nivo fizičke aktivnosti i sl. (Jaric 2003; Mirkov i sar. 2004; Nedeljkovic i sar. 2009b; Vanderwalle i sar. 1987; Wilson i Murphy 1996). Sa druge strane, rezultati studija koje su evaluirale testove UMK (Suzovic i sar. 2008) i NUMK (Bozic i sar. 2011; Bozic i sar. 2012) upućuju na drugačije nalaze. Postavljena je, stoga, hipoteza koja predviđa da varijable STJ jačine (F_{max} i BRS_{max}) procenjuju isto svojstvo mišića, dok varijable testa NUMK (VS i BRS) procenjuju različito svojstvo mišića. (**Hipoteza $H_{1.3}$**). Shodno tome, u okviru testiranja glavne hipoteze korišćene su i dve pomoćne hipoteze. Prvom pomoćnom hipotezom predviđeno je da će zabeleženi VS kod bilateralnih faznih i antifaznih NUMK pokazati značajnu pozitivnu povezanost sa F_{max} zabeleženoj u STJ i značajnu

pozitivnu povezanost sa VS zabeleženim kod unilateralnih NUMK (**Hipoteza H_{1-3a}**). Sa druge strane, drugom pomoćnom hipotezom zabeležena BRS kod Bilateralnih faznih i antifaznih NUMK pokazaće značajnu pozitivnu povezanost sa BRS zabeleženoj kod unilateralnih NUMK, ali neće pokazati značajnu pozitivnu povezanost sa BRSmax zabeleženoj u STJ (**Hipoteza H_{1-3b}**).

U razmatranju rezultata korelacione analize prikazanih u Tabeli 9, odvojeno bi trebalo posmatrati rezultate dobijene za sile mišića, a odvojeno za brzine njihovog razvoja. Kada je reč o silama mišića, primećuje se da se statistički značajna povezanost beleži u svim mogućim poređenjima između testova NUMK, sa jedne i STJ, sa druge strane. Suprotno tome, kada je reč o brzinama razvoja sile, u većini slučajeva vrednosti koeficijenata korelacije su ispod nivoa statističke značajnosti. Tačnije, kod mišića fleksora u svim slučajevima, a kod mišića ekstenzora u većini, izuzev kod Bilateralnih faznih NUMK kod kojih se jedino beleži statistički značajna povezanost između BRS i BRSmax. Ovakav nalaz upućuje na pretpostavku da varijable BRSmax iz STJ i BRS iz NUMK ne procenjuju isto svojstvo mišića, na šta ukazuju i nepostojani nalazi dosadašnjih istraživanja (Bemben i sar. 1990; Passuke i sar. 1999; Pryor i sar. 1994; Sahaly i sar. 2001; Ugarkovic i sar. 2002; Aagaard i sar. 2002; Mirkov i sar. 2004; Holtermann i sar. 2007; za pregled videti Wilson i Murphy 1996)

U prilog prethodnoj diskusiji su i rezultati prikazani u Tabelama 10 i 11. Naime, u Tabeli 10 jasno se uočava najviši i istovremeno statistički značajan stepen povezanosti između istoimenih varijabli (VS sa VS; BRS sa BRS) zabeleženih unutar različitih varijanti testa NUMK (Unilateralne NUMK, Bilateralne fazne NUMK i Bilateralne antifazne NUMK). U ostalim slučajevima dobijene vrednosti koeficijenata korelacije su niže i najčešće ispod nivoa statističke značajnosti. Sa druge strane, rezultati prikazani u Tabeli 11 upućuju na zaključak da varijable Fmax i BRSmax zabeležene u STJ procenjuju isto svojstvo mišića, jer se njihovim međusobnim poređenjem dobijaju visoki i istovremeno statistički značajni koeficijenti korelacije. Statistički značajni, ali istovremeno nešto niži, odnosni umereni koeficijenti korelacije dobijaju se kada se međusobno porede varijable zabeležene na različitim grupama mišića (ekstenzori sa fleksorima). Ovakvi nalazi bi konkretno značili da u testu NUMK zabeleženi VS i BRS procenjuju različita svojstva istog mišića, dok u STJ zabeležene Fmax i BRSmax procenjuju isto svojstvo istog mišića.

Rezultati faktorske analize prikazani u Tabelama 12 i 13 potvrđuju prethodne pretpostavke. Naime, faktorskom analizom dobijenih podataka, unutar istog faktora izoluju se sve one varijable koje pokazuju visoku međusobnu povezanost i istovremeno nisku povezanost sa ostalim varijablama (Thomas i sar. 2011). Pre diskutovanja glavnih nalaza faktorske analize važno je istaći jedan važan metodološki aspekt. Naime, primena faktorske analize zahteva posebnu pažnju prilikom izbora odgovarajućih varijabli, zatim prilikom određivanja njihovog broja, kao i prilikom određivanja broja testiranih ispitanika (Nunnally i Bernstein 1994). Tačnije, za dobijanje validnih rezultata faktorske analize, neophodno je analizirati najmanje 10 umereno do jako međusobno povezanih varijabli, pri čemu je zahtevani broj ispitanika deset puta veći od broja varijabli. Na ovom mestu, neophodno je navesti da je postojećom studijom obuhvaćeno 24 manifestnih varijabli, koje su procenjivane testiranjem 24 ispitanika. Iako se u pregledu ranijih istraživanja mogu pronaći brojni slučajevi korišćenja manjih uzoraka od metodološki opravdanih, važno je istaći da broj ispitanika u ovoj studiji u značajnoj meri ne ispunjava prethodno pomenuti uslov. Zato se zaključci koji će biti izloženi u daljem tekstu, a koji se odnose na latentnu strukturu istraživanog motoričkog prostora, moraju posmatrati kao preliminarni. Dalja istraživanja na većem uzorku trebalo bi da potvrde dobijene nalaze.

Dobijeni nalazi pokazuju da, iako su procenti kojima se objašnjava ukupna varijansa svih izabranih manifestnih varijabli u oba testa gotovo identični (78,6 % u STJ, nasuprot 79,1 % u NUMK), struktura izolovanih glavnih komponenti je različita. Naime, broj izolovanih glavnih komponenti iznosio je tri, u slučajevima kada su faktorski analizirani rezultati STJ, odnosno četiri u slučajevima kada su faktorski analizirani rezultati NUMK. Uzimajući u obzir samo ovaj nalaz, već na startu se može pretpostaviti da testovi STJ i NUMK procenjuju delimično različita svojstva mišića. Daljom analizom rezultata prikazanih u Tabelama 12 i 13 može se pouzdano potvrditi ova početna pretpostavka.

Naime, kada su faktorski analizirani rezultati STJ (Tabela 12), varijable Fmax i BRSmax zabeležene na istom mišiću grupisale su se, bez izuzetka, unutar istog faktora. Dobijena struktura izolovanih glavnih komponenti upućuje na jedno svojstvo mišića, koje u ovom slučaju ima topografsku određenost. Tačnije, u primeni STJ varijablama Fmax i BRSmax procenjuje se isto svojstvo mišića, koje nije zajedničko za različite

grupe mišića (ekstenzori i fleksori). Konkretno, neko ko je jak u mišićima ekstenzorima, ne mora nužno biti srazmerno jak i u mišićima fleksorima. Ovakav nalaz nije iznenađujući, ako se uzme u obzir da su uzorak činili fizički neaktivne osobe, koje nisu bili uključene ni u jedan organizovani sistem vežbanja. To konkretno znači da su u svojim svakodnevnim životnim aktivnostima ove osobe dominatno koristile ekstenzore (antigravitacioni mišići aktivni u motoričkim zadacima kao što su: hodanje, trčanje, skokovi, penjanje uz stepenice i sl).

Sa druge strane, kada su faktorski analizirani rezultati testa NUMK (Tabela 13), varijable VS i BRS rasporedile su se na drugačiji način. Naime, dok su se, sa jedne strane, varijable VS grupisale, kao i kod STJ, u prva dva izdvojena faktora shodno mišićnoj grupi, dotle su se, sa druge strane, varijable BRS najvećim delom grupisale u druga dva faktora. Tačnije, u trećem faktoru su se grupisale većina varijabli BRS zabeležene na mišićima fleksorima, dok su se one zabeležene na mišićima ekstenzorima raspršile u tri različita faktora. Do mogućeg objašnjenja ove nekonzistentnosti moglo bi se doći ako se još jednom pažljivije pogledaju rezultati prikazani na Grafiku 4. Naime, u razmatranju odnosa između BRS kod dominantne i nedominantne noge, jasno se uočavaju razlike unutar pojedinih varijanti testova, koje su prisutne samo kod mišića ekstenzora. Bez obzira, iako dobijeni nalazi ne predstavljaju dovoljno jaku potvrdu da se varijablom BRS iz testa NUMK procenjuje izolovano svojstvo mišića, ipak se definitivno može zaključiti da se njome ne procenjuje isto svojstvo kao i varijablom BRSmax iz STJ. Konačno, neophodno je sprovesti dalja istraživanja ovog problema uz prethodno ispunjenje svih ranije pomenutih metodoloških zahteva.

Na osnovu svih izloženih nalaza, a u vezi sa istraživanom latentnom strukturom motoričkog prostora, može se zaključiti da su dobijeni rezultati u najvećoj meri potvrdili dve pomoćne hipoteze: **Hipotezu H_{1-3a}** „Zabeleženi VS kod bilateralnih faznih i antifaznih NUMK pokazaće značajnu pozitivnu povezanost sa Fmax zabeleženim u STJ i značajnu pozitivnu povezanost sa VS zabeleženim kod unilateralnih NUMK“, odnosno **Hipotezu H_{1-3b}** „Zabeleženi BRS kod Bilateralnih faznih i antifaznih NUMK pokazaće značajnu pozitivnu povezanost sa BRS zabeleženim kod unilateralnih NUMK, ali neće pokazati značajnu pozitivnu povezanost sa BRSmax zabeleženim u STJ“. Potvrđivanjem pomoćnih hipoteza u jednakoj meri potvrđuje se i glavna hipoteza (**Hipoteza H₁₋₃**) koja

glasi: „Varijabla STJ jačine (F_{max} i BRS_{max}) procenjuje se isto svojstvo mišića, dok se varijabla testa NUMK (VS i BRS) procenjuju različita svojstva mišića“.

6.5 Eksterna validnost testa Naizmeničnih uzastopnih maksimalnih kontrakcija (NUMK)

Četvrta hipoteza odnosila se na ispitivanje eksterne validnosti novopredloženog testa. Test za procenu neuromišićne funkcije će imati visoku eksternu validnost ukoliko rezultati dobijeni njegovom primenom pokažu visok stepen povezanosti sa rezultatima različitih motoričkih testova. Postavljenom hipotezom predviđa se da će VS i BRS zabeleženi u Bilateralnim antifaznim NUMK pokazati, u odnosu na odgovarajuće varijable svih ostalih posmatranih testova neuromišićne funkcije, najviši stepen povezanosti sa rezultatima motoričkih testova (**Hipoteza H₁₋₄**).

Nalazi izloženi u Tabelama 15 i 16 ukazuju na nisku povezanost sa rezultatima testova motoričkih sposobnosti, kako rezultata STJ, tako i rezultata testova NUMK. Ovakvi nalazi su, istina, u saglasnosti sa nalazima ranijih studija u kojima je ispitivana eksterna validnost STJ (Abernethy i sar. 1995; Andersen i Aagaard 2006; Driss i sar. 1998; Jaric 2003). Međutim, na izvestan način predstavljaju kontradiktornost, s obzirom da se na osnovu pretpostavljenih razlika u neurofiziološkim mehanizmima, koji prate bilateralnu mišićnu aktivnost, očekivalo dobijanje višeg stepena povezanosti, posebno u slučaju Bilateralnih antifaznih NUMK (za detalje videti Uvod – poglavlje 1.3.2). Naime, različite refleksne aktivnosti koje prouzrokuje bilateralna mišićna aktivnost različito utiču na nivo ispoljene sile. U bilateralnoj faznoj mišićnoj aktivnosti refleksni odgovor snižava nivo ispoljene sile u istoimenom mišiću odgovarajućeg ekstremiteta sa suprotne strane tela (Ferber i sar. 1992). Sa druge strane, u bilateralnoj antifaznoj mišićnoj aktivnosti refleksni odgovor (tzv. refleks ukrštene ektenzije) facilitira mišićnu aktivnost mišića antagoniste sa suprotne strane tela, utičući tako na povećanje nivoa ispoljene sile u njemu (Kawakami i sar. 1998). Takođe, bilateralna antifazna mišićna aktivnost može pokrenuti i pojedine mehanizme motorne kontrole kao što je, na primer, centralni generator ritma⁸ (Latash 2008). Imajući sve navedeno u vidu, očekivalo se da

⁸ engl. *Central pattern generator*

bi test Bilateralnih antifaznih NUMK mogao imati komparativnu prednost u predikciji rezultata brzih cikličnih kretanja (npr. testovi kao što su: 10 m, 20 m, Marg), dok bi test Bilateralnih faznih NUMK bio u prednosti kod predikcije rezultata raznih vrsta skokova (npr. testovi kao što su: VŠČ, PVS, SVS, MPowO).

Jedno od mogućih objašnjenja za malu eksternu validnost leži u činjenici da se evaluirani testovi sprovode u statičkim uslovima. Naime, izometrijski režim rada mišića koji prati statičke uslove izvođenja, značajno se razlikuje od povratnog režima rada⁹, karakterističnog za većinu testova motoričkih sposobnosti korišćenih u ovoj studiji. Ključni detalj ovde je da elastična svojstva mišićnog i vezivnog tkiva, koja do izražaja dolaze isključivo u uslovima izduženja mišića, značajno mogu uticati, ne samo na nivo ispoljene sile, već i, pre svega, na brzinu njenog razvoja. Potvrda ove pretpostavke može se naći u Tabeli 16 u kojoj se jasno vidi da najveći stepen povezanosti testovi NUMK pokazuju sa 1RM. Naime, uslovi u kojima se izvodi test 1RM su zbog maksimalnog opterećenja koje se u njemu koristi najbliži statičkim, odnosno režim rada mišića je najbliži izometrijskom. Ako bi testiranje postavljene hipoteze bilo ograničeno samo na rezultate testa 1RM, očigledna bi bila prednost Bilateralnih antifaznih NUMK nad STJ, ali i nad Bilateralnim faznim NUMK. Ipak prednosti ne bilo nad Unilateralnim NUMK, koje u ovom slučaju beleže eksternu validnost poredivu sa onom zabeleženoj u Bilateralnim antifaznim NUMK.

Na osnovu izloženih nalaza, može se zaključiti da dobijeni rezultati nisu potvrdili **Hipotezu H₁₋₄**, koja je glasila „VS i BRS zabeleženi u Bilateralnim antifaznim NUMK pokazaće, u odnosu na odgovarajuće varijable svih ostalih posmatranih testova neuromišićne funkcije, najviši stepen povezanosti sa rezultatima motoričkih testova“. Očigledno je da je po pitanju eksterne validnosti, izometrijski režim rada mišića u novopredloženom testu njegov najveći ometajući faktor. Ipak, ta činjenica se ne bi smela smatrati negativnom karakteristikom novopredloženog testa, jer je slična eksterna validnost dobijena u ranijim istraživanjima i za STJ (Abernethy i sar. 1995; Andersen i Aagaard 2006; Driss i sar. 1998; Jaric 2003), UMK (Suzovic i sar. 2008) i NUMK (Bozic i sar. 2011; Bozic i sar. 2012).

⁹ engl. *Stretch-shorthening cycle*

6.6 Bilateralni deficit u testu Naizmeničnih uzastopnih maksimalnih kontrakcija (NUMK)

Poslednjom, petom hipotezom predviđeno je da procena neuromišićne funkcije u uslovima bilateralne fazne mišićne aktivnosti dovodi do pojave bilateralnog deficita (**Hipoteza H₁₋₅**). Bilateralni deficit predstavlja mišićni fenomen koji je karakterističan za bilateralnu mišićnu aktivnost (Bobbert i sar. 2006; Howard i Enoka 1991; Kuruganti i Murphy 2008; Kuruganti i Seaman 2006; Rejc i sar. 2010; Hakkinen i sar. 1997). Naime, ovaj fenomen pretpostavlja da će tokom bilateralne mišićne aktivnosti, dva mišića, koja se kontrahuju istovremeno, ispoljiti manje maksimalne sile, nego kada ti isti mišići, maksimalne sile ispoljavaju u odvojenim zasebnim kontrakcijama (unilateralna mišićna aktivnost). Nalazi ranijih studija (Hakkinen i sar. 1995, 1996, 1997; Jakobi i Cafarelli 1998; Schantz i sar. 1989), iako u velikoj meri kontradiktorni, upućuju na pretpostavku da se fenomen bilateralnog deficita javlja u okviru bilateralne fazne mišićne aktivnosti, odnosno istovremene simultane aktivnosti istoimenih mišića dva različita ekstremiteta (npr. istovremena simultana aktivnost ekstenzora obe noge). Nalazi dobijeni u studijama *Ohtsuki*-ja (1983) i *Kawakami*-ja i sar. (1998) potvrđuju ovu pretpostavku.

Nalazi do kojih se došlo u okviru realizovanog istraživanja, upućuju na slične zaključke. Naime, rezultati prikazani na Grafiku 5 jasno potvrđuju postojanje bilateralnog deficita kod testa Bilateralnih faznih NUMK. Onaj deo rezultata koji se odnosi na bilateralni deficit u ispoljenoj sili, samo potvrđuje ranije nalaze pojedinih studija (Howard i Enoka 1991; Owings i Grabiner 1998b; Koh i sar. 1993), mada ima i studija sa kontradiktornim nalazima (Hakkinen i sar. 1995, 1996, 1997; Jakobi i Cafarelli 1998; Schantz i sar. 1989). Sa druge strane, od posebnog je značaja generalizacija ovog nalaza na pokazatelje BRS, s obzirom da do sada bilateralni deficit nije ispitivan na pokazateljima BRS. Kao što se na Grafiku 5 jasno može uočiti, bilateralni deficit je prisutan i kod varijable BRS_{max} zabeležene u Bilateralnom faznom STJ i kod varijable BRS zabeležene u Bilateralnim faznim NUMK. Ovakav nalaz ne mora biti iznenađujući, ako se u obzir uzmu nalazi dobijeni u studiji Mirkova i sar. (2004). Naime, na osnovu rezultata dobijenih u ovoj studiji, predstavljen je model po kome se brzina razvoja sile u mišiću povećava sa povećanjem nivoa ispoljene sile.

Tačnije, isti mišić će zbog toga što se viši nivo sile ispoljava za isto vreme, to uraditi na način da odgovarajuću silu razvije većom brzinom. Na primeru NUMK, to je lako potvrditi ako se u obzir uzmu prosečne frekvencije uzastopnih kontrakcija. Naknadnom analizom utvrđeno je da je spontano izabrana frekvencija koja je korišćena u testovima NUMK, u proseku iznosila 1,20 Hz i nije se značajno razlikovala unutar različitih varijanti ovog testa. Imajući ovu činjenicu u vidu, lako je po modelu Mirkova i sar. (2004) dalje objasniti zašto se u Bilateralnim faznim NUMK niže sile razvijaju manjom brzinom. Sa jedne strane, ključno je da se u okviru različitih varijanti testa NUMK, i niži i viši nivoi sile razvijaju za isto vreme. Sa druge strane, niže sile će se najverovatnije razviti upravo u okviru varijante Bilateralnih faznih NUMK zbog mogućeg inhibitornog uticaja različitih neuroloških mehanizama (za detalje videti Uvod – poglavlje 1.3.2).

Već je napomenuto da je ispitivanje fenomena bilateralnog deficita u izometrijskim kontrakcijama pružilo nekonzistentne nalaze (za detalje videti Uvod – poglavlje 1.3.1). U vezi sa tim je i pregledni rad *Jakobi*-ja i *Chilibeck*-a (2001), u okviru koga autori pokušavaju da utvrde uticaj pojedinih metodoloških pitanja na problem dobijanja nekonzistentnih nalaza. Autori se tako bave pitanjima zglobnog ugla, redosleda testiranja, karakteristikama ispitanika i njihovom informisanošću u vezi sa ciljevima studije. Važno je naglasiti da su u okviru realizovanog istraživanja sva navedena metodološka pitanja, koja su bila prisutna u ranijim studijama, striktno kontrolisana, pa je time značajno smanjena mogućnost njihovog negativnog uticaja na dobijene rezultate (Hakkinen i sar. 1995; Howard i Enoka 1991; Koh i sar. 1993; Jakobi i Cafarelli 1998). Naime, zglobni ugao je iznosio 120° i bio je kontrolisan korišćenjem specijalno dizajnirane stolice za dinamometrijska merenja, koja je podrazumevala fiksaciju položaja ispitanika uz pomoć posebnih kaiševa. Zahvaljujući ovako kontrolisanim uslovima testiranja, zglobni ugao je od početka do kraja sprovođenja testa, u svim njegovim varijantama, ostajao fiksiran na 120°. Dalje, redosled testiranja je bio u potpunosti randomizovan. To znači da je redosled vrsta testa (STJ ili NUMK), kao i redosled njihovih varijanti (Unilateralna, Bilateralna fazna i Bilateralna antifazna), određivan po metodi slučajnog izbora. Konačno, u vezi sa karakteristikama ispitanika i njihovom informisanošću o ciljevima istraživanja, treba istaći da je grupa ispitanika bila homogena po pitanju pola, uzrasta i zdravstvenog statusa. Tačnije, u pitanju su bili

mladi ispitanici muškog pola, uzrasta 20 - 25 godina, bez istorije neuroloških oboljenja. Sa druge strane, oni jesu bili informisani o generalnom cilju studije (evaluacija alternativnog testa za procenu neuromišićne funkcije), ali ništa nisu znali o pojedinačnim ciljevima, pa tako ni o onom vezanom za ispitivanje fenomena bilateralnog deficita.

Imajući u vidu napred navedene činjenice, može se tvrditi da su nalazi dobijeni u vezi sa ispitivanjem bilateralnog deficita validni, jer su prilikom njihovog ispitivanja prethodno bili zadovoljeni svi potencijalno važni metodološki zahtevi. Shodno tome, može se zaključiti da su dobijeni rezultati potvrdili **Hipotezu H₁₋₅**, koja je glasila: „*Procena neuromišićne funkcije u uslovima bilateralne fazne mišićne aktivnosti dovodi do pojave bilateralnog deficita*“. Potvrđivanjem ove hipoteze ukazuje se na jednu veoma važnu potencijalnu prednost testa Bilateralnih faznih NUMK u odnosu na, ne samo STJ, već i preostale dve varijante testa NUMK (Unilateralnih NUMK i Bilateralnih antifaznih NUMK). Naime, uprkos maksimalnom voljnom naporu ispitanika u toku izvođenja Bilateralnih faznih NUMK, pokazano je da su ispoljene sile bile, ne samo relativno niže, već i razvijene manjom brzinom. Ova karakteristika testa Bilateralnih faznih NUMK mogla bi da predstavlja njegovu ključnu komparativnu prednost nad ostalim testovima za procenu neuromišićne funkcije, posebno u slučajevima kada se ova procena vrši kod rekoalescenata ili starijih i slabijih osoba.

7. Značaj istraživanja

Značaj realizovanog istraživanja se ogleda u rešavanju bitnih metodoloških problema vezano za validnu i pouzdanu procenu neuromišićne funkcije. Problemi i ograničenja koja postoje u standardnoj proceni neuromišićne funkcije ukazali su na potrebu evaluacije novih alternativnih testova.

Nalazi do kojih se došlo u realizovanom istraživanju omogućili su dalji razvoj testa neuromišićne funkcije zasnovanog na izvođenju naizmeničnih uzastopnih maksimalnih kontrakcija (NUMK). Tačnije, Bilateralne fazne NUMK mogle bi da prerastu u jedan od standardnih testova za procenu neuromišićne funkcije, s obzirom da su eksperimentalni nalazi do kojih se došlo u ovom istraživanju pokazali da je reč o pouzdanom i validnom testu. Sa druge strane, prednosti ovakvog testa u odnosu na STJ i nedavno evaluirani test Unilateralnih NUMK su očigledne.

Prvo, testom Bilateralnih faznih NUMK istovremeno bi se procenjivala neuromišićna funkcija u četiri odvojene mišićne grupe, nasuprot samo jedne prilikom primene STJ, odnosno dve prilikom primene Unilateralnih NUMK. Time bi se značajno smanjio broj neophodnih ponavljanja i skratilo ukupno vreme testiranja.

Drugo, primenom testa Bilateralnih faznih NUMK procenjuju se dva odvojena svojstva mišića: da ispoljava maksimalnu silu (varijabla VS) i da maksimalnu silu ispolji maksimalno brzo (varijabla BRS). Ovo je posebno bitno jer u većini motoričkih zadataka brzo ispoljavanje sile predstavlja dominantnu sposobnost. Suprotno tome, rezultati realizovanog istraživanja pokazuju da se u okviru primene STJ, dvema varijablama (Fmax i BRSmax) procenjuje samo jedno svojstvo mišića.

Treće, u primeni Bilateralnih faznih NUMK prisutan je fenomen bilateralnog deficita koji dovodi do značajnog smanjenja ispoljenih sila, uz zadržavanje njihove validnosti. Ovo je posebno značajno, jer se jedan od osnovnih nedostataka STJ odnosi na to da ispoljavanje maksimalnih kontrakcija može biti neodgovarajuće, bolno, čak i rizično za pojedine osobe, pre svega za starije, povređene i osobe sa neuromišićnim poremećajima (Wilson i Murphy 1996).

Konačno, zbog prirode naizmeničnih kontrakcija (npr. kratkotrajni razvoji maksimalne sile), primena novog alternativnog testa bi trebalo da stvori uslove za

validnu i pouzdanu procenu neuromišićne funkcije kada se mišić i vezivno tkivo ne izlažu dugotrajnim ekstremnim silama. Pored toga, na osnovu činjenice da je u primeni testa Bilateralnih faznih NUMK moguće koristiti samo jednu frekvenciju, i to onu koju ispitanik sam izabere, moglo bi se pretpostaviti da bi protokoli testiranja mogli značajno da se pojednostave. Takođe, jednostavan protokol testiranja smanjuje potrebu za dugotrajnom familijarizacijom. Potvrdu toga predstavlja dobijanje visoke pouzdanosti u uslovima primene kratke familijarizacije i samo jednog probnog pokušaja. Na kraju, da je zaista reč o jednostavnom i lako primenjivom testu govori i činjenica da je za njegovo sprovođenje potrebna relativno jednostavna i jeftina oprema (npr. dovoljne su samo dve tenziometrijske sonde i nekoliko manžetni da se izvrši validna i pouzdana procena neuromišićne funkcije na osnovu rezultata Bilateralnih faznih NUMK). Ukoliko postoje uslovi test se može sprovoditi i uz korišćenje dva standardna izokinetička uređaja.

Literatura

1. Aagaard, P., Simonsen, E.B., Andersen, J.L., Magnusson, P. and Dyhre-Poulsen, P., Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training, *J Appl Physiol*, 93 (2002) 1318-26.
2. Aasa, U., Jaric, S., Barnekow-Bergkvist, M. and Johansson, H., Muscle strength assessment from functional performance tests: role of body size, *J Strength Cond Res*, 17 (2003) 664-70.
3. Abernethy, P., Wilson, G. and Logan, P., Strength and power assessment. Issues, controversies and challenges, *Sports Med*, 19 (1995) 401-17.
4. Agre, J.C., Casal, D.C., et al., Professional ice hockey players: phziologic, athropometric and musculoskeletal characteristics, *Arch Phys Med Rehabil*, 69 (1988) 188-192.
5. Agre, J.C., Magness, J.L. and Hull, S.Z., Strength testing with portable dynamometer: reliability for upper and lower extremities. *Arch Pys Med Rehab*, 68 (1987) 454-458.
6. Akesson, I., Hansson, G.A., et al., Quantifying work load in neck, shoulders and wrists in female dentists, *Int Arch Occup Environ Health*, 69 (1997) 461-474.
7. Andersen, L.L. and Aagaard, P., Influence of maximal muscle strength and intrinsic muscle contractile properties on contractile rate of force development, *Eur J Appl Physiol*, 96 (2006) 46-52.
8. Andrews, A.W., Thomas, M.W., et al., Normative values for isometric muscle force measurements obtained with hand-held dynamometers, *Phys Ther*, 76 (1996) 248-259.
9. Aoki, H., Tsukahara, R. and Yabe, K., Effects of pre-motion electromyographic silent period on dynamic exertion during a rapid ballistic movement in man, *Eur J Appl Physiol*, 58 (1989) 426-432.
10. Asmussen, E. and Heeboll-Nielsen, K., Isometric muscle strength of adult men and women. *Comm Danish Nat Ass for Infant Paral*, 11 (1961) 3-43.

11. Astrand, P.O., and Rodahl, K., Textbook of work physiology, New York: McGraw-Hill, 1986.
12. Aura, O. and Viitasalo, J.T., Biomechanical characteristics of jumping. *Int J Sport Biomech*, 5 (1998) 89-98.
13. Banicevic, D., Markovic, S., Knezevic, O., Nedeljkovic, A., Mirkov, D.M., Dopsaj, M., Reliability and validity of bilateral alternating consecutive maximum contractions as a test of neuromuscular function: A pilot study, *Serb Journal of Sports Sci* 6 (2012) 137-145.
14. Beenakker, E.A., van der Hoeven, J.H., et al., Reference values of maximum isometric muscle force obtained in 270 children aged 4-16 years by hand-held dynamometry, *Neuromuscular Disord*, 11 (2001) 441-446.
15. Bembien, M.G., Clasey, J.L. and Massey, B.H., The effect of the rate of muscle contraction on the force-time curve parameters of male and female subjects, *Res Q Exerc Sport*, 61 (1990) 96-99.
16. Bembien, M.G., Massey, B.H., Boileau, R.A., et al., Reliability of isometric force-time curve parameters for men aged 20-79 years, *J Appl Sport Sci Res*, 6 (1992) 158-164.
17. Blazeovich, A.J., Gill, N. and Newton, R.U., Reliability and validity of two isometric squat tests, *J Strength Cond Res*, 16 (2002) 298-304.
18. Bobbert, M.F., de Graaf W.W., Jonk, J.N., Casius, L.J., Explanation of the bilateral deficit in human vertical squat jumping, *J Appl Physiol*, 100 (2006) 493-499.
19. Bodine, S.D., Roy, R.R., Eldred, E., et al., Maximal force as a function of anatomical features of motor units in the cat tibialis anterior. *J Neurophysiol*, 57 (1987) 1730-1745.
20. Bojsen-Moller, J., Magnusson, S.P., Rasmussen, L.R., Kjaer, M. and Aagaard, P., Muscle performance during maximal isometric and dynamic contractions is influenced by the stiffness of the tendinous structures, *J Appl Physiol*, 99 (2005) 986-94.

21. Bozic, P., Suzovic, D., Nedeljkovic, A. and Jaric, S., Alternating consecutive maximum contractions as a test of muscle function, *J Strength Cond Res*, 25 (2011) 1605–1615.
22. Bozic, P.R., Pazin, N., Berjan, B. and Jaric, S., Evaluation of alternating consecutive maximum contractions as an alternative test of neuromuscular function. *Eur J Appl Physiol*, 112 (2012) 1445-1456.
23. Božić, P., Evaluacija testa za procenu mišićne funkcije zasnovanog na naizmeničnim maksimalnim kontrakcijama, Doktorska disertacija, Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja, Univerzitet u Beogradu, (2011).
24. Burke, R.E., Rudomin, P. and Zajac, F.E., 3rd, The effect of activation history on tension production by individual muscle units, *Brain Res*, 109 (1976) 515-29.
25. Cattell, R.B., The Scree test for the number of factors, *Multivariate Behav Res*, 1 (1966) 245-276.
26. Christ, C.B., Slaughter, M.H., Stillman, R.J., et al., Reliability of selected parameters of isometric muscle associated with 3 days x 3 trials in women. *J Strength Cond Res*, 8 (1994) 65-71.
27. Cometti, G., Maffiuletti, N.A., et al., Isokinetic strength and anaerobic power of elite, subelite and amateur French soccer players, *Int J Sports Med*, 22 (2001) 45-51.
28. Conrad, B., Benecke, R. and Goehmann, M., Premovement silent period in fast movement initiation, *Exp Brain Res*, 51 (1983) 310-313.
29. de Luca, C.J., LeFever, R.S., McCue, M.P., et al. Behaviour of human motor units in different muscles during linearly varying contractions. *J Physiol (Lond)*, 329 (1982) 113-128.
30. de Ruitter, C.J., Kooistra, R.D., Paalman, M.I. and de Haan, A., Initial phase of maximal voluntary and electrically stimulated knee extension torque development at different knee angles, *J Appl Physiol*, 97 (2004) 1693-701.

31. de Ruiter, C.J., Van Leeuwen, D., Heijblom, A., Bobbert, M.F. and de Haan, A., Fast unilateral isometric knee extension torque development and bilateral jump height, *Med Sci Sports Exerc*, 38 (2006) 1843-52.
32. Desmedt, J.E. and Godaux, E., Ballistic contractions in man: characteristic recruitment pattern of single motor units of the tibialis anterior muscle, *J Physiol*, 264 (1977) 673-93.
33. Domkin, D., Laczko, J., Djupsjobacka, M., Jaric, S. and Latash, M.L., Joint angle variability in 3D bimanual pointing: uncontrolled manifold analysis. *Exp Brain Res*, 163 (2005) 44-57.
34. Dopsaj, M., and Ivanović, J., Volume The analysis of the reliability and factorial validity in the basic characteristics of isometric F-t curve of the leg extensors in well trained Serbian males and females, *Measurement Sci Rev*, 11 (2011) 165-175.
35. Driss, T., Vandewalle, H. and Monod, H., Maximal power and force-velocity relationships during cycling and cranking exercises in volleyball players. Correlation with the vertical jump test, *J Sports Med Phys Fitness*, 38 (1998) 286-293.
36. Enoka, R.M. and Fuglevand, A.J., Motor unit physiology: some unresolved issues, *Muscle Nerve*, 24 (2001) 4-17.
37. Ferbert, A., Priori, A., Rothwell, J.C., Day, B.L., et al., Interhemispheric inhibition of the human motor cortex, *J Physiol*, 453 (1992) 525-546.
38. Fleck, S.J. and Falkel, J.E., Value of resistance training for the reduction of sports injuries, *Sports Med*, 3 (1986) 61-68.
39. Fry, R.W. and Morton, A.R., Physiological and kinanthropometric attributes of elite flatwater kayakists, *Med Sci Sports Exerc*, 23 (1991) 1297- 1301.
40. Fuglevand, A.J., Macefield, V.G. and Bigland-Ritchie, B., Force-frequency and fatigue properties of motor units in muscles that control digits of the human hand. *J Neurophysiol*, 81 (1999) 1718-1729.

41. Gorostiaga, E.M., Izquierdo, M.M., et al., Effect of heavy resistance training on maximal and explosive force production, endurance and serum hormones in adolescent handball players, *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 80 (1999) 485-493.
42. Gruber, M. and Gollhofer, A., Impact of sensorimotor training on the rate of force development and neural activation, *Eur J Appl Physiol*, 92 (2004) 98-105.
43. Hakkinen, K. and Keskinen, K.L., Muscle cross-sectional area and voluntary force production characteristics in elite strength- and endurance-trained athletes and sprinters, *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 59 (1989) 215-220.
44. Hakkinen, K. and Komi, P.V., Changes in electrical and mechanical behavior of leg extensor muscles during heavy resistance strength training, *Scand J Sports Sci*, 7 (1985a) 55-64.
45. Hakkinen, K. and Komi, P.V., The effect of explosive type strength training on electromyographic and force production characteristics of leg extensor muscles during concentric and various stretch-shortening cycle exercises. *Scand J Sports Sci*, 7 (1985b) 65-76.
46. Hakkinen, K., Alen, M. and Komi, P.V., Changes in isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of human skeletal muscle during strength training and detraining, *Acta Physiol Scand*, 125 (1985a) 587-600.
47. Hakkinen, K., Komi, P.V. and Alen, M., Effect of explosive type strength training on isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fiber characteristics of leg extensor muscles, *Acta Physiol Scand*, 125 (1985b) 601-612.
48. Hakkinen, K., Komi, P.V. and 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*, 7 (1986) 144-151.
49. Hakkinen, K., Kraemer, W.J., Kallinen, M., Linnamo, V., Pastinen, U., Newton, R.U., Bilateral and unilateral neuromuscular function and muscle cross-sectional

- area in middle-aged and elderly men and women, *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 51A (1996) B21-B29.
50. Hakkinen, K., Kraemer, W.J., Newton, R.U., Muscle activation and force production during bilateral and unilateral concentric and isometric contractions of the knee extensor in men and women at different ages, *Electromyogr Clin Neurophysiol*, 37 (1997) 131-142.
 51. Hakkinen, K., Patinen, U.M., Karsikas, R., Linnamo, V., Neuromuscular performance in voluntary bilateral and unilateral contraction and during electrical stimulation in men at different ages, *Eur J Appl Physiol*, 70 (1995) 518-527.
 52. Harridge, S.D., Bottinelli, R., Canepari, M., Pellegrino, M.A., Reggiani, C., Esbjornsson, M. and Saltin, B., Whole-muscle and single-fibre contractile properties and myosin heavy chain isoforms in humans, *Pflugers Arch*, 432 (1996) 913-20.
 53. Hill, A.V., The dimensions of animals and their muscular dynamics, *Science Progress*, 38 (1950) 209-230.
 54. Holtermann, A., Roeleveld, K., Vereijken, B., et al., The effect of rate of force development on maximal force production: acute and training-related aspects, *Eur J Appl Physiol*, 99 (2007) 605-613.
 55. Hopkins, W. G., Schabort, E. J., et al., Reliability of power in physical performance tests, *Sports Med*, 31 (2001) 211-234.
 56. Hopkins, W.G., Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Med*, 30 (2000) 1-15.
 57. Howard, J.D. and Enoka, R.M., Maximum bilateral contractions are modified by neurally mediated interlimb effects, *J Appl Physiol*, 70 (1991) 306-316.
 58. Ikai, M. and Fukunaga, T., Calculation of muscle strength per unit cross-sectional area of human muscle by means of ultrasonic measurement, *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 26 (1968) 26-32.

59. Imrhan, S., Muscle strength in elderly – implications for ergonomic design, *Int J Ind Ergonom*, 13 (1994) 125-138.
60. Ivanovic, J. and Dopsaj, M., Reliability of force-time curve characteristics during maximal isometric leg press in differently trained high-level athletes, *Measurement*, 46 (2013) 2146-2154.
61. Ivanovic, J., Dopsaj, M., et al., Is there a relation between maximal and explosive leg extensors isometric force? *Facta universitatis - series: Physical Education and Sport*, 9 (2011) 239-254.
62. Izquierdo, M.X., Aguado, X., et al., Maximal and explosive force production capacity and balance performance in men of different ages, *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 79 (1999) 260-267.
63. Jakobi, J.M. and Cafarelli, E., Neuromuscular drive and force production are not altered during bilateral contractions, *J Appl Physiol*, 84 (1998) 200-206.
64. Jakobi, J.M. and Chilibeck, P.D., Bilateral and unilateral contractions: Possible differences in maximal voluntary force, *Can J Appl Physiol*, 26 (2001) 12-33.
65. Jaric, S., Mirkov, D. and Markovic, G., Normalization of muscle strength and movement performance tests for body size: A proposal for standardization. *J Strength Cond Res*, 19 (2005) 467-474.
66. Jaric, S., Muscle strength testing: use of normalisation for body size, *Sports Med*, 32 (2002) 615-31
67. Jaric, S., Radosavljevic-Jaric, S. and Johansson, H., Muscle force and muscle torque in humans require different methods when adjusting for differences in body size, *Eur J Appl Physiol*, 87 (2002) 304-7.
68. Jaric, S., Ristanovic, D. and Corcos, D.M. the relationship between muscle kinetic parameters and kinematic variables in a complex movement, *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 59 (1989) 370-376.
69. Jaric, S., Role of body size in the relation between muscle strength and movement performance, *Exerc Sport Sci Rev*, 31 (2003) 8-12.

70. Kanchisa, H. and Miyashita, M., Effect of isometric and isokinetic muscle training on static strength and dynamic power, *Eur J Appl Physiol*, 50 (1983) 365-371.
71. Kanda, K. and Hashizume, K., Factors causing difference in force output among motor units in the rat medial gastocnemius muscle . *J physiol (Lond)*, 448 (1992) 677-695.
72. Kawakami, Y., Sale, D.G., MacDougall, J.D., Moroz, J.S., Bilateral deficit in plantar flexion: Relation to knee joint position, muscle activation, and reflex excitability, *Eur J Appl Physiol*, 77 (1998) 212-216.
73. Koh, T.J., Grabiner, M.D., Clough, C.A., Bilateral deficit is larger for step than for ramp isometric contractions, *J Appl Physiol*, 74 (1993) 1200-1205.
74. Komi, P.V. and Bosco, C., Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women, *Med Sci Sports Exerc*, 10 (1978) 261-265.
75. Komi, P.V., Karlsson, J., Tesch, P.A., et al., Effects of heavy resistance and explosive type strength training on mechanical, functional, and metabolic aspects of performance. In: Komi, P.V. (editor). *Exercise and Sports Biology*. Champaign, IL: Human Kinetics, (1982) pp. 90-102.
76. Kraemer, W., Piorkowski, P.A., Bush, J.A., The effects of NCAA division 1 intercollegiate competitive tennis match play on recovery of physical performance in women. *J Strength Cond Res*, 14 (2000) 265-272.
77. Kraemer, W.J., Mazzeti, S.A., et al., Effect of resistance training on women's strength/power and occupational performances, *Med Sci Sports Exerc*, 33 (2001) 1011-1025.
78. Kukolj, M., Ropret, R., Ugarkovic, D. and Jaric, S., Anthropometric, strength, and power predictors of sprinting performance. *J Sports Med Phys Fitness*, 39 (1999) 120–122.
79. Kukulka, C.G. and Clamann, H.P., Comparison of the recruitment and discharge properties of motor units in human brachial biceps and adductor pollicis during isometric contractions. *Brain Res*, 219 (1981) 45-55.

80. Kuruganti, U. and Murphy, T., Bilateral deficit expressions and myoelectric signal activity during submaximal and maximal isometric knee extensions in young, athletic males, *Eur J Appl Physiol*, 102 (2008) 721-726.
81. Kuruganti, U. and Seaman, K., The bilateral leg strength deficit is present in old, young and adolescent females during isokinetic knee extension and flexion, *Eur J Appl Physiol*, 97 (2006) 322-326.
82. Kwon, I.S., Oldaker, S., et al., Relationship between muscle strength and the time taken to complete a standardized walk-turn-walk test, *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 56 (2001) B398-404.
83. Latash, M.L., *Neurophysiological basis of movement. Human Kinetics, Champaign*, (2008)
84. Macefield, V.G., Fuglevand, A.J. and Bigland-Ritchie, B., Contractile properties of single motor units in human toe extensors assessed by intraneural motor axon stimulation. *J Neurophysiol*, 75 (1996) 2509-2519.
85. Magnusson, S.P., Constantini, N.W., et al., Strength profiles and performance in Masters' level swimmers, *Am J Sports Med*, 23 (1995) 626-631.
86. Marcora, S. and Miller, M.K., The effect of knee angle on the external validity of isometric measures of lower body neuromuscular function, *J Sports Sci*, 18 (2000) 313-319.
87. Markovic, G. and Jaric, S., Is vertical jump height a body-size independent measure of muscle power? *J Sports Sci*, 25 (2007) 1355-1363.
88. Markovic, G. and Jaric, S., Movement performance and body size: the relationship for different groups of tests, *Eur J Appl Physiol*, 92 (2004) 139-149.
89. Matavulj, D., Kukolj, M., et al., Effects of plyometric training on jumping performance in junior basketball players, *J Sports Med Phys Fitness*, 41 (2001) 159-164.
90. Mathiassen, S., Ahsberg, E., et al., Prediction of shoulder flexion endurance from personal factors, *Int J Ind Ergonom*, 24 (1999) 315-329.

91. McGuigan, M. and Ratamess, N. Strength, In: Ackland, T.R., Elliott, B.C. and Bloomfield, J. (editors) *Applied anatomy and biomechanics in sport* (second edition). Champaign, IL: Human Kinetics, (2003) pp. 120-154.
92. Mero, A., Komi, P.V. and Gregor, R.J., Biomechanics of sprint running. *Sports Med*, 28 (1992) 376-392.
93. Miller, R.G., Mirka, A. and Maxfield, M., Rate of tension development in isometric contractions of a human hand muscle, *Exp Neurol*, 73 (1981) 267-85.
94. Milner-Brown, H.S., Stein, R.B. and Yemm, R., The orderly recruitment of human motor units during voluntary isometric contractions, *J Physiol (Lond)*, 230 (1973) 359-370.
95. Mirkov, D.M., Nedeljkovic, A., Milanovic, S. and Jaric, S., Muscle strength testing: evaluation of tests of explosive force production, *Eur J Appl Physiol*, 91 (2004) 147-54.
96. Mortimer, J.A., Eisenberg, P. and Palmer S.S., Premovent silence in agonist muscles preceding maximum efforts, *Exp Neurol*, 98 (1987) 542-554.
97. Murphy, A. and Spinks, W.L., The importance of movement specificity in isokinetic assessment, *J Hum Movement Stud*, 38 (2000) 167-183.
98. Narici, M.V., Hoppeler, H., Kayser, B., Landoni, L., Claassen, H., Gavardi, C., Conti, M. and Cerretelli, P., Human quadriceps cross-sectional area, torque and neural activation during 6 months strength training, *Acta Physiol Scand*, 157 (1996) 175-86.
99. Nedeljkovic, A., Mirkov D.M., Pazin, N., Jaric, S., Evaluation of Margaria staircase test: the effect of body size. *Eur J Appl Physiol*, 100 (2007) 115-120.
100. Nedeljkovic, A., Mirkov, D.M., Bozic, P., Jaric, S., Tests of muscle power output: the role of body size, *Int J Sports Med*, 30 (2009a) 100-106.
101. Nedeljkovic, A., Mirkov, D.M., Markovic, S., Jaric, S., Tests of muscle power output assess rapid movement performance when normalized for body size, *J Strength Cond Res*, 23 (2009b) 1593-1605.

102. Newton, R., Murphy, A., et al., Influence of load and stretch shortening cycle on the kinematics, kinetics and muscle activation that occurs during explosive upper-body movements, *J Appl Physiol*, 75 (1997) 333-342.
103. Nunnally, J.C. and Bernstein, I. H., *Psychometric Theory*, New York: McGraw-Hill, 1994.
104. O'Shea, K.L. and O'Shea, J.P., Functional isometric weight training: it's effects on dynamic and static strength, *J App Sport Sci Res*, 3 (1989) 30-33.
105. Oda, S. and Moritani, T., Movement-related cortical potentials during handgrip contractions with special reference to force and electromyogram bilateral deficit, *Eur J Appl Physiol*, 72 (1995) 1-5.
106. Ohtsuki, T., Decrease in human voluntary isometric arm strength induced by simultaneous bilateral exertion, *Behav Brain Res*, 7 (1983) 165-178.
107. Owings, T.M. and Grabiner, M.D., Fatigue effects on the bilateral deficit are speed dependent, *Med Sci Sport Exerc*, 30 (1998a) 1257-1262.
108. Owings, T.M. and Grabiner, M.D., Normally aging older adults demonstrate the bilateral deficit during ramp and hold contractions, *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 53A (1998b) B426-B429.
109. Paasuke, M., Ereline, J. and Gapeyeva, H., Knee extension strength and vertical jumping performance in nordic combined athletes, *J Sports Med Phys Fitness*, 41 (2001) 354-61.
110. Pfeifer, K. and Banzer, W., Motor performance in different dynamic test in knee rehabilitation, *Scand J Med Sci Sports*, 9 (1999) 19-27.
111. Pijnappels, M., Bobbert, M.F. and van Dieen, J.H., Push-off reactions in recovery after tripping discriminate young subjects, older non-fallers and older fallers, *Gait Posture*, 21 (2005) 388-94.
112. Pryor, J.F., Wilson, G.J. and Murphy, A.J., The effectiveness of eccentric, concentric and isometric rate of force development tests, *J Hum Mov Stud*, 27 (1994) 153-172.

113. Rainoldi, A., Bullock-Saxton, J.E., Cavarretta, F. and Hogan, N., Repeatability of maximal voluntary force and of surface EMG variables during voluntary isometric contraction of quadriceps muscles in healthy subjects, *J Electromyogr Kinesiol*, 11 (2001) 425-438.
114. Rejc, E., Lazzer, S., Guglielmo, A., Isola, M., di Prampero, P.E., Bilateral deficit and EMG activity during explosive lower limb contraction against different overloads, *Eur J Appl Physiol*, 108 (2010) 157-165.
115. Reuter, I., Engelhardt, M., et al., Therapeutic value of exercise training in Parkinson's disease, *Med Sci Sports Exerc*, 31 (1999) 1544-1549.
116. Roy, M.A., Sylvestre, M., Katch, F.I., Katch, K.I., Proprioceptive facilitation of muscle tension during unilateral and bilateral knee extension, *Int J Sports Med*, 11 (1990) 289-292.
117. Sahaly, R., Vandewalle, H., Driss, T. and Monod, H., Maximal voluntary force and rate of force development in humans--importance of instruction, *Eur J Appl Physiol*, 85 (2001) 345-50.
118. Sale, D., Testing strength and power, Champaign, Illinois, Human Kinetics, (1991)
119. Särndal, C.E., Swensson, B., et al., Model assisted survey sampling, New York: Springer-Verlag, 2003.
120. Schantz, P.G., Moritani, T., Karlson, E., Johansson, E., Lundh, A., Maximal voluntary force of bilateral and unilateral leg extension, *Acta Physiol Scand*, 136 (1989) 185-192.
121. Schmidt, R.A. and Lee, T.D., Motor control and learning: a behavioral emphasis. 4th Edition. Human Kinetics, Champaign (2005).
122. Sleivert, G.G. and Wenger, H.A., Reliability of measuring isometric and isokinetic peak torque, rate of torque development, integrated electromyography, and tibial nerve conduction velocity, *Arch Phys Med Rehabil*, 75 (1994) 1315-21.

123. Stevenson, J.M., Greenhorn, D.R., et al., Gender differences in performance of a selection test using the incremental lifting machine, *Appl Ergon*, 27 (1996) 45-52.
124. Stone, M.H., O'Bryant, H.S., et al., Power and maximum strength relationships during performance of dynamic and static weighted jumps, *J Strength Cond Res*, 17 (2003) 140-147.
125. Strass, D., Force-time and electromyographical characteristics of arm shoulder muscles in explosive type force production in sprint swimmers. *J Swim Res*, 7 (1991) 19-27.
126. Suzovic, D., Nedeljkovic, A., Pazin, N., Planic, N. and Jaric, S., Evaluation of consecutive maximum contractions as a test of neuromuscular function. *J Hum Kinetics* 20 (2008) 51-67.
127. Suzović, D., Evaluacija testova za procenu neuromišićne funkcije baziranih na uzastopnim maksimalnim i kratkim pulsanim kontrakcijama, Doktorska disertacija, Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja, Univerzitet u Beogradu, (2009).
128. Takala, E.P. and Viikari-Juntura, E., Do functional tests predict low back pain? *Spine*, 25 (2000) 2126-2132.
129. Takei, Y., Techniques used by elite women gymnasts performing handspring vault at the 1987 Pan American Games, *Int J Sport Biomech*, 6 (1990) 29-55.
130. Taniguchi, Y., Lateral specificity in resistance training: The effect of bilateral and unilateral training, *Eur J Appl Physiol*, 75 (1997) 144-150.
131. Taniguchi, Y., Relationship between the modifications of bilateral deficit in upper and lower limbs by resistance training in humans, *Eur J Appl Physiol*, 78 (1998) 226-230.
132. Tanji, J. and Kato, M., Recruitment of motor units in voluntary contraction of a finger muscle in man. *Exp Neurol*, 40 (1973) 759-770.

133. Taylor, N.A., Cotter, J.D., et al., Functional torque-velocity and power-velocity characteristics of elite athletes, *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 62 (1991) 116-121.
134. Thomas, J. R., Nelson, J.K., et al., *Research methods in physical activity*, 6th Edition, Human Kinetics, Champaign, IL, 2011.
135. Totossy de Zepetnek, J., Zung, H.V., Erdebil, S., et al., Innervation ratio is an important determinant of force in normal and reinnervated rat tibialis anterior muscles, *J Neurophysiol*, 67 (1992) 1385-1403.
136. Ugarkovic, D., Matavulj, D., Kukolj, M. and Jaric, S., Standard anthropometric, body composition, and strength variables as predictors of jumping performance in elite junior athletes. *J Strength Cond Res*, 16 (2002) 227-230.
137. van Cutsem, M. and Duchateau, J., Preceding muscle activity influences motor unit discharge and rate of torque development during ballistic contractions in humans, *J Physiol*, 562 (2005) 635-44.
138. van Cutsem, M., Duchateau, J. and Hainaut, K., Changes in single motor unit behavior contribute to the increase in contraction speed after dynamic training in humans. *J Physiol*, 513 (1998) 295-305.
139. van den Bogert, A.J., Pavol, M.J. and Grabiner, M.D., Response time is more important than walking speed for the ability of older adults to avoid a fall after a trip, *J Biomech*, 35 (2002) 199-205.
140. Vandervoort, A.A., Sale, D.G., Moroz, J., Comparison of motor unit activation during unilateral and bilateral leg extension, *J Appl Physiol*, 56 (1984) 46-51.
141. Vanderwalle, H., Peres, G., et al., Standard anaerobic exercise tests, *Sports Med*, 4 (1987) 268-289.
142. VanSoest, A.J., Roebroek, M.L., Bobbert, M.J., Huijing, P.A., van Ingen Schenau, G.J., A comparison of one-legged and two-legged countermovement jumps, *Med Sci Sports Exerc*, 17 (1985) 635-639.
143. Viitasalo, J.T. and Komi, P.V., Force-time characteristics and fiber composition in human leg extensor muscles. *Eur J Appl Physiol*, 40 (1978) 7-15.

144. Viitasalo, J.T., Hakkinen, K. and Komi, P.V., Isometric and dynamic force production and muscle fibre composition in men. *J Hum Mov Stud*, 7 (1981) 199-209.
145. Weir, J.P., Housh, D.J., Housh, T.J., Weir, L.I., The effect of unilateral eccentric weight training and detraining on joint angle specificity, cross-training, and the bilateral deficit, *J Orthop Sports Phys Ther*, 22 (1995) 207-215.
146. Weir, J.P., Quantifying test-retest reliability using the intraclass correlation coefficient and the SEM, *J Strength Cond Res*, 19 (2005) 231-40.
147. Wilson, G.J. and Murphy, A.J., The use of isometric tests of muscular function in athletic assessment, *Sports Med*, 22 (1996) 19-37.
148. Wilson, G.J., Murphy A.J., et al., Weight and plyometric training: effect on eccentric and concentric force production, *Can J Appl Physiol*, 21 (1996) 301-315.
149. Wilson, G.J., Newton, R.L., Murphy, A.J., et al., The optimal training load for development of dynamic athletic performance, *Med Sci Sports Exerc*, 25 (1993) 1279-1286.
150. Wisloff, U., Castagna, C., Hegerud, J., et al., Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players, *Br J Sports Med*, 38 (2004) 285-288.
151. Wisloff, U., Helgerud, J., et al., Strength and endurance of elite soccer players, *Med Sci Sports Exerc*, 30 (1998) 462-467.
152. Young, W.B. and Bilby, B.E., The effect of voluntary effort to influence speed of contraction on strength, muscular power and hypertrophy development, *J Strength Con Res*, 7 (1993) 172-178.

Prilog 1: Naslovna strana originalnog naučnog rada objavljenog na osnovu rezultata istraživanja (kategorija M24)

Banićević et al.: Novel testing of neuromuscular function

Serb J Sports Sci 6(4): 137-145

Serbian Journal of Sports Sciences
2012, 6(4): 137-145
UDC 796.012.11

ISSN 1820-6301
ID 197157644

Original article

Received: 09 Oct 2012

Accepted: 05 Dec 2012



RELIABILITY AND VALIDITY OF BILATERAL ALTERNATING CONSECUTIVE MAXIMUM CONTRACTIONS AS A TEST OF NEUROMUSCULAR FUNCTION: A PILOT STUDY

Dragan Banićević¹, Srđan Marković², Olivera Knežević^{2,3}, Aleksandar Nedeljković²,
Dragan M. Mirkov² & Milivoj Dopsaj²

¹Institute for Education Quality and Evaluation, Belgrade, SERBIA.

²The Research Center, University of Belgrade Faculty of Sport and Physical Education, SERBIA.

³Institute for Medical Research, University of Belgrade, SERBIA.

Abstract Although regularly used, the standard strength test (SST) is known to have several shortcomings, such as being based only on sustained maximum contractions as well as on a relatively large number of trials that expose the tested muscle to rapid fatigue. The aim of this pilot study was to preliminarily evaluate alternating consecutive maximum contractions (ACMC) performed bilaterally (Bilateral ACMC) as a test of neuromuscular function through its comparison with both SST and Unilateral ACMC. Seven participants performed SST and both the externally paced (1.33 Hz) isometric Unilateral and Bilateral ACMC of the knee extensors and flexors muscles. In order to detect the possible effects of the phenomenon known as bilateral deficit, Bilateral ACMC were performed simultaneously with homonymous muscles (Bilateral phase ACMC) and with non-homonymous muscles (Bilateral anti-phase ACMC). The derived variables of all strength tests included the peak forces and their maximum rates of force development exerted in both directions. The preliminary results revealed the properties of Bilateral ACMC to be similar to SST regarding the intra-trial reliability and validity. However, Bilateral ACMC has comparative advantage over both SST and Unilateral ACMC, since only one trial is needed to assess neuromuscular function of four different muscles. Moreover, it is shown that the effect of bilateral deficit affects only the simultaneous contraction of homonymous muscle (Bilateral phase ACMC) presuming Bilateral anti-phase ACMC as a test that could reveal higher external validity. Further research performed on a larger number of subjects is needed to confirm these potentially important findings.

Key words: Strength, testing, bilateral

INTRODUCTION

Assessing the neuromuscular function and determining the ability to perform various functional movements are of profound importance in a number of both clinical and non-clinical human-movement related areas [22, 23, 24]. The most commonly applied test of muscle function has been the standard strength test (SST) based on the maximum voluntary contraction of a particular muscle group performed under isometric or isokinetic conditions [1, 14, 28]. By far, the dependent variable most often recorded has been the maximum voluntary force (F_{max} ; [1, 14, 21]) typically achieved after 3-5 s of a sustained contraction. In addition to F_{max} but with less relative frequency, the SST has been used to record the maximum rate of force development (RFD_{max}). Specifically, RFD_{max} has been calculated as the maximum of the time derivative of the recorded force [2, 18].

Although widely used, the SST is known to have several shortcomings. First, the patterns of neural activation of rapid [7, 25] and sustained maximum contractions [8] could be different. Since the SST is based on sustained contractions, it may not capture the neural activation pattern typical for rapid force exertions that could be critical for functional tasks with limited time to exert relatively high muscle force [10, 18, 19]. This casts doubts on the validity of SST variables when used to assess the ability to perform rapid discrete and cyclic movements (e.g., correcting posture, jumping, running, cycling). Another consequence of the discussed differences between the neural activation patterns is that the instructions "to exert maximum force" and "to exert it rapidly" have profoundly different effects on the outcome of the SST assessed as F_{max} and RFD_{max} [3, 21]. Thus, separate series of trials could be needed to record F_{max} and RFD_{max} . Having also

Prilog 2: Saglasnost Etičke komisije Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja za realizaciju istraživanja

UNIVERZITET U BEOGRADU
FAKULTET SPORTA I FIZIČKOG VASPITANJA
ETIČKA KOMISIJA

РЕПУБЛИКА СРБИЈА
УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ФАКУЛТЕТ СПОРТА И ФИЗИЧКОГ ВАСПИТАЊА

02 Бр 656-2
08.3.2012
БЕОГРАД, Београдска Петровића 188

Predmet-Na zahtev zaveden pod brojem 02-656-1 od 7.03.2012 godine koji je podneo van.prof dr Dragan Mirkov ,Etička komisija Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu daje

S A G L A S N O S T

Za realizaciju eksperimenta -OCENA JAČINE I BRZINE RAZVOJA SILE OPRUŽAČA I PREGIBAČA U ZGLOBU KOLENA PRIMENOM TESTA NAIZMENIČNIH MAKSIMALNIH KONTRAKCIJA I STANDARDNOG TESTA JAČINE U RAZLIČITIM USLOVIMA ISPOLJAVANJA MIŠIČNE KONTRAKCIJE-

O b r a z l o ž e n j e

Na osnovu uvida u plan projekta navedenog eksperimenta čiji je rukovodilac van.prof .Dragan Mirkov ,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 planiranih gore navedenim projektom.

U Beogradu 8.03.2012

Za Etičku komisiju

Članovi

1. prof dr Dušanka Lazarević



prof dr Dušan Jgarković

3. prof dr Vladimir Koprivica

Prilog 3: Fotografije ispitanika tokom testiranja



Biografija autora

Mr Dragan Banićević rođen je 28.02.1955. godine u Vrbasu. Osnovnu i srednju školu završio je u Beogradu. Zvanje profesora fizičke kulture stekao je na Fakultetu sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu. Završio je i Višu trenersku školu Univerziteta u Beogradu, odsek rukomet. Zvanje magistra nauka iz oblasti fizičkog vaspitanja i sporta stekao je na Fakultetu sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu. U periodu od 1984. do 2002. godine radio je kao profesor fizičkog vaspitanja u osnovnim školama: OŠ "Užička Republika", Novi Beograd; OŠ "Marko Orešković", Novi Beograd i OŠ "Milan Rakić", Novi Beograd. Od 2002. do 2005. godine obavljao je dužnost v.d. direktora u OŠ "Milan Rakić", Novi Beograd. Od aprila do septembra meseca 2005. godine nalazio se na mestu načelnika Školske uprave Beograd i vršio je dužnost koordinatora školskih uprava pri Ministarstvu prosvete i sporta Republike Srbije. Od septembra 2005. godine do danas nalazi se na mestu direktora Zavoda za vrednovanje kvaliteta obrazovanja i vaspitanja.

Mr Dragan Banićević je pored navedenog obavljao još i sledeće aktivnosti: kao član Radne grupe za predškolski, školski i univerzitetski sport, učestvovao je u pripremi Nacionalne strategije razvoja sporta u Republici Srbiji, za period 2008-2012. godina; kao član Radne grupe za nastavni predmet Fizičko vaspitanje, učestvovao je u izradi Predloga obrazovnih standarda za kraj obaveznog obrazovanja; inicijator je više stručnih tribina i seminara na različitim nivoima; aktivan je član stručnih foruma opštine, grada i republike; član je Komisije za instruktore i trenere pri Smučarskom savezu Srbije i predsednik stručne komisije Upravnog odbora Rukometnog Saveza Beograda. Pozna je ruski jezik.

Mr Dragan Banićević je do sada objavio 4 rada:

1. **Banićević, D.**, Marković, S., Pažin, N., Božić, P., Radovanović, S., Mirkov, D.M., Pouzdanost modifikovanog testa uticaja senzornih interakcija na posturalnu stabilnost sportista uzrasta od 10 do 12 godina Godišnjak Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja, 15 (2007-2008) 100-110.
2. Kebin, V., **Banićević, D.**, Čaprić, G., Džida, B., Pantić, J., Nikolić, J., Istraživanje stanja u obrazovno vaspitnim ustanovama u Srbiji u vezi sa školskim sportom, Zavod za vrednovanje kvaliteta obrazovanja i vaspitanja, Ministarstvo omladine i sporta RS, Beograd, 2008.
3. Gotnar, Z., Radisavljević, S., Lepeš, J., Zečević, S., Ćujić Repić, S., **Banićević, D.**, Gardašević, B., Jakovljević, S., Jevtić, B., Juhas, I., Mraović, V., Radisavljević, L., Radojević, J., Obrazovni standardi za kraj obaveznog obrazovanja za nastavni predmet Fizičko vaspitanje, Ministarstvo prosvete RS, Zavod za vrednovanje kvaliteta obrazovanja i vaspitanja, Beograd, 2010.
4. **Banicevic, D.**, Markovic, S., Knezevic, O., Nedeljkovic, A., Mirkov, D., Dopsaj, M., Reliability and validity of bilateral alternating consecutive maximum contractions as a test of neuromuscular function: a pilot study, Serb J Sport Sci, 6 (2012) 137-145.