

UNIVERZITET U BEOGRADU

FAKULTET SPORTA I FIZIČKOG VASPITANJA

Olivera M. Knežević

**EVALUACIJA TESTA ZA PROCENU  
NEUROMIŠIĆNE FUNKCIJE  
PREGIBAČA I OPRUŽAČA U ZGLOBU  
KOLENA NAKON POVREDE PREDNJEG  
UKRŠTENOG LIGAMENTA**

doktorska disertacija

Beograd, 2013

UNIVERSITY OF BELGRADE

FACULTY OF SPORT AND PHYSICAL EDUCATION

Olivera M. Knežević

**EVALUATION OF TEST FOR THE  
ASSESSMENT OF KNEE FLEXOR'S AND  
EXTENSOR'S NEUROMUSCULAR  
FUNCTION FOLLOWING THE  
ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT  
INJURY**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2013

**MENTOR:**

1. Vanredni profesor dr Dragan Mirkov, Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja,  
Univerzitet u Beogradu

---

**ČLANOVI KOMISIJE:**

1. Redovni profesor dr Slobodan Jarić, Department of Kinesiology and Applied  
Physiology, University of Delaware, USA;

---

2. Docent dr sci. med. Marko Kadija, Medicinski fakultet, Univerzitet u Beogradu;

---

3. Vanredni profesor dr sci. med. Saša Filipović, Institut za medicinska istraživanja,  
Univerzitet u Beogradu.

---

---

Datum odbrane

## ***Zahvaljujem se***

*Mentoru prof. dr Draganu Mirkovu na ukazanom poverenju, velikom strpljenju i pomoći tokom svih faza izrade disertacije,*

*Dr Slađanu Milanoviću i prof. dr Milošu Kukulju za korisne komentare i sugestije prilikom pisanja ove disertacije i doprinos u formiranju finalnog oblika rada, prof. dr Aleksandru Nedeljkoviću na pruženoj prilici i poverenju,*

*Članovima komisije prof. dr Slobodanu Jariću, doc. dr Marku Kadiji i prof. dr Saši Filipoviću, svojim profesorima sa Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja i kolegama sa Instituta za medicinska istraživanja, na prenetim znanjima i konstruktivnim savetima koji su ovaj rad učinili kvalitetnijim.*

*I Svima onima koje ne mogu navesti pojedinačno, koji su mi najdraži i omiljeni, koji su verovali u mene i pružili mi iskrenu podršku i pomoć.*

# **Evaluacija testa za procenu neuromišićne funkcije pregibača i opružača u zglobu kolena nakon povrede prednjeg ukrštenog ligamenta**

Rezime:

Povreda prednjeg ukrštenog ligamenta (lat. *ligamentum cruciatum anterior*; LCA) jedna je od najčešćih povreda u sportu i rekreaciji. Bez obzira da li se povreda leči konzervativno i/ili operativno, neophodna je dugotrajna rehabilitacija tokom koje se mora pažljivo pratiti oporavak neuromišićne funkcije. Oporavak neuromišićne funkcije najčešće se prati pomoću direktnih i izvedenih mera jačine: momenta sile ( $M$ ); odnosa jačine opružača ( $OPO$ ), i pregibača i relativnog deficita jačine ( $RDJ$ ); koje se dobijaju primenom standardnih izometrijskih (IM) i standardnih izokinetičkih testova (IK). Međutim, u literaturi se navodi čitav niz nedostataka ovih testova, koji se odnose na obrazac neuralne aktivacije koji bi mogao biti drugačiji od obrasca aktivacije koji je karakterističan za brze i ciklične pokrete, korekcije položaja i izbegavanje povreda, relativno duga i zamoru podložnu proceduru, nisku očiglednu i spoljašnju validnost i dr. Kako bi se neki od pomenutih nedostataka standardnog IM i IK testa prevazišli, nedavno je evaluiran novi test zasnovan na izometrijskim *naizmeničnim maksimalnim kontrakcijama* (NMK), koji bi po svojim karakteristikama mogao biti alternativan standardnim testovima, kada se koriste u proceni neuromišićne funkcije zdravih i fizički aktivnih ispitanika. *Cilj* ovog istraživanja odnosio se na evaluaciju testa NMK u proceni neuromišićne funkcije sportista nakon rekonstrukcije LCA (RLCA), koja je obuhvatila upoređivanje novog testa sa IK i IM testovima u pogledu pouzdanosti, validnosti i osetljivosti za procenu i praćenje postoperativnog oporavka.

Na osnovu opšteg cilja istraživanja planirana su i sprovedena su 3 eksperimenta. Eksperiment 1 realizovan je u dve sesije: u prvoj, testirano je 15 ispitanika (Eksperimentalna grupa) sa ciljem određivanja adekvatnog ugla za primenu testa NMK, dok je u drugoj sesiji testirano 20 ispitanika (Kontrolna grupa) sa ciljem ispitivanja validnosti varijabli dobijenih pri uglu koji je određen na osnovu podataka prikupljenih u

prvoj sesiji. U Eksperimentu 2 procena neuromišićne funkcije opružaća i pregibača u zglobu kolena urađena je primenom NMK, IM i IK testova, kod sportista koji su se oporavljali nakon RLCA ( $4.0 \pm 0.1$  meseca postoperativno) . Spoljašnja validnost NMK, IM i IK ispitana je u odnosu na test skok udalj jednom nogom (SDJN) koji je korišćen kao funkcionalni test za procenu stabilnosti kolena. U Eksperimentu 3, dvadeset sportista sa povredom i RLCA testirano je u 3 sesije: preoperativno, 4 meseca i 6 meseci nakon operacije, primenom IK, IM i NMK testova, kako bi se ispitala njihova osetljivost i konkurentna validnost.

Primenom polinomne funkcije drugog reda, dobijene su krive za relativne momente sile opružaća i pregibača čiji presek je bio pri uglu od  $45^\circ$ , pri kome su relativne jačine ove dve mišićne grupe bile za 7.2% niže od njihovih maksimalnih  $M$ . Testiranjem Kontrolne grupe primenom NMK u izračunatom uglu, dobijeni su  $OPO$  koji su se nalazili u granicama intervala pouzdanosti (95%)  $OPO_{eksp}$  koji odgovara uglu od  $45^\circ$ , čime je potvrđena validnost dobijenih mera. Pouzdanost  $M$  dobijenih primenom izometrijskih i izokinetičkih testova kod sportista nakon RLCA bila je visoka (mediana ICC = 0.97). Konkurentna validnost IM i NMK u odnosu na IK, bila je umerena do visoka ( $r$  od 0.71 do 0.96). Analizom spoljašnje validnosti, između testova jačine i SDJN, dobijeni su koeficijenti korelacije koji su generalno bili umereni i značajni (0.52 – 0.81). Ispitivanje osetljivosti pokazalo je da varijable testa NMK imaju sličnu osetljivost u registrovanju razlika između opružaća i pregibača, odnosno između zdrave i operisane noge. Ispitivanjem osetljivosti testova mišićne funkcije za praćenje oporavka nakon povrede i RLCA, dobijene su značajne promene u funkciji opružaća i pregibača operisane noge, ali ne i zdrave. Varijable testa NMK ( $M$ ;  $OPO$  i  $RDJ$ ) imale su sličnu ili veću osetljivost od varijabli dobijenih iz IM i IK testova. Konkurentna validnost varijabli testa NMK u odnosu na IK testove bila je umerena do visoka, i slična konkurentskoj validnosti IM testa.

Dobijeni nalazi ukazuju na to da se pomoću NMK neuromišićna funkcija može proceniti na podjednako pouzdan i validan način kao i kada se koriste standardni izometrijski i izokinetički testovi. Pored toga, NMK ima adekvatnu osetljivost za registrovanje deficita jačine između zdrave i operisane noge, odnosno neuravnoteženosti u jačini antagonističkog para mišića. Nalazi koji su dobijeni sprovedenim istraživanjima trebalo bi da vode daljoj primeni testa NMK kao jednog od standardnih testova za

procenu oporavka neuromišićne funkcije sportista nakon povrede LCA, ali i kod drugih kategorija ispitanika. Evaluirani test može biti važan korak u prevazilaženju nedostataka i ograničenja standardnih IM i IK testova za procenu neuromišićne funkcije. Osnovne metrijske karakteristike testa NMK su slične kao i kod standardnih IK i IM testova. Pored toga, novi test omogućava testiranje neuromišićne funkcije u uslovima u kojima se mišići i kompromitovano vezivno tkivo izlažu kratkotrajnim silama, kroz manji broj ponavljanja, i uz potencijalno bolju ocenu kvaliteta ispoljavanja sile povezane sa brojnim aktivnostima kao što su kratke diskretne i ciklične mišićne akcije, posturalne korekcije i pokreti za prevenciju povreda. Takođe, ovaj test je zasnovan na jednostavnoj proceduri testiranja i korišćenju relativno jednostavne i jeftine opreme, iako se može izvoditi na standardnim izokinetičkim uređajima. Uzimajući u obzir navedene metodološke prednosti NMK u odnosu na IM, nalazi ove studije ukazuju da bi se novi test mogao primenjivati kao alternativan IK i IM testovima, kada se koriste u proceni neuromišićne funkcije nakon RLCA.

*Ključne reči: prednji ukršteni ligament, sportisti, neuromišićna funkcija, rehabilitacija, mišićna jačina, moment sile, odnos jačine antagonista, relativni deficit jačine.*

Naučna oblast: Medicinske nauke

Uža naučna oblast: Opšta antropomotorika čoveka

UDK broj: 612.766.1:616.728.3-001(043.3)

# **Evaluation of test for the assessment of knee flexor's and extensor's neuromuscular function following the anterior cruciate ligament injury**

Summary:

The Anterior Cruciate Ligament injury (ACL) represents one of the most frequent disabling injuries associated with athletic activity. Despite the applied treatment methods, a lengthy rehabilitation procedure has to be performed and closely monitored. The quadriceps and hamstring strength have been shown to correlate with a positive outcome following the ACL reconstruction (ACLR). Neuromuscular function of these muscles is usually assessed through peak torque (PT), hamstring-to-quadriceps ratio (HQ ratio) and bilateral difference (BLD), derived from either standard isometric (IMT) or isokinetic (IKT) testing protocols. However, IMT and IKT are known to have several important shortcomings, such as relatively low face and external validity, the underlying neural activation pattern that could be different from the same pattern in rapid and cyclic movements, or a relatively long and fatigue-prone procedure. In order to overcome some of the aforementioned shortcomings, a novel strength test based on isometric *alternating consecutive maximal contractions* (ACMC) has been recently proposed as an alternative to standard strength tests, when used to assess neuromuscular function in healthy and physically active participants. The aim of this study was to evaluate *alternating consecutive maximal contractions* when used to assess neuromuscular function in athletes recovering from ACL reconstruction, and to compare it with IKT and IMT regarding their reliability, validity and sensitivity for monitoring the recovery.

Three experiments have been conducted within this study. Experiment 1 consisted of two separate sessions: in the first session, 15 healthy participants (Experimental group) were recruited in order to determine the appropriate angle for further use of ACMC test, while additional 20 participants (Control group) were included in session two, in order to investigate the validity of the measures obtained at the determined angle. In the Experiment 2, fifteen male athletes with recent ACLR (4.0



± 0.1 months following the surgery) were included in the study. Quadriceps and hamstrings peak torques of involved and uninvolved leg was assessed both through the ACMC and IKT performed at 60 °/s and 180 °/s. In the Experiment 3, quadriceps and hamstrings peak torques of both legs were tested in the athletes ( $n=20$ ) with ACL reconstruction over 3 sessions: preoperatively, four, and six months following the surgery, through the ACMC, IMT and IKT performed at 60 °/s and 180 °/s.

The solution of the second order polynomial functions applied on quadriceps and hamstrings PT -knee angle curves revealed that these curves cross each other at the knee angle of 45 degrees. At this angle, each muscle exerts the same percent of their maximum isometric torque (7.2% lower than their maximum values). The validity of the measures that correspond to the determined angle has been confirmed by measures obtained from Control group i.e., the HQ ratios obtained when ACMC was applied at the selected angle were within the confidence interval (95%) of the experimentally obtained HQ ratio. The indices of the within-day reliability of PT were exceptionally high in all tests (median ICC = 0.97). Concurrent validity of ACMC and IMT with respect to IKT was moderate to high ( $r$  ranged from 0.71 to 0.96). External validity of strength tests was assessed through their correlation with one leg hop test, and the obtained correlation coefficients were generally moderate and significant (0.52 – 0.81). Regarding the sensitivity of the applied tests, the results showed that ACMC variables have similar sensitivity as IMT and IKT. The sensitivity of ACMC, IMT and IKT for detection of rehabilitation related changes in muscle function was explored through the concept of longitudinal construct validity. Significant effects of session were found in all 3 tests for the variables obtained from the involved leg, but not from the uninvolved leg. The concurrent validity of the novel isometric test with respect to the routinely used IKT was moderate-to-high, and comparable to the concurrent validity of IMT.

The obtained findings suggests that, when applied on individuals recovering from ACLR, the novel ACMC test revealed a similar reliability and validity, as well as adequate sensitivity for detecting imbalances both between antagonistic and between contralateral muscles. The present findings suggest that ACMC could be used as a test of muscle function that is alternative to IKT, particularly in the laboratories where the isokinetic devices are not available. Clinical significance of the ACMC could be that the measures obtained from this test could help in decision making process whether the

athlete is ready to return to strenuous athletic activity and competition. Of particular significance could be that the novel test can be an important step in overcoming the limitations and shortcomings of standard IKT and IMT test. Namely, ACMC has similar metric properties like IMT and IKT. In addition, the novel test has several methodological advantages such as a brief testing procedure while exposing muscles and compromised tissue to low and relatively transient forces. Also, there is a possibility to conduct ACMC using relatively inexpensive devices such as custom made kits containing a single one-axis force transducer, although it could be performed using the standard isokinetic devices. Therefore, the present findings generally suggest that ACMC could be developed as a test of muscle function, and that it could be alternative to IKT and IMT when used to assess neuromuscular function following the ACL reconstruction.

*Key words: anterior cruciate ligament, athletes, neuromuscular function, rehabilitation, muscle strength, peak torque, HQ ratio, bilateral deficit*

Scientific field: Medical sciences

Narrower scientific field: General human kinesiology

UDK number: 612.766.1:616.728.3-001(043.3)

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
1.1. <i>Građa i funkcija prednjeg ukrštenog ligamenta i mehanizam nastanka povrede ..</i>	<i>2</i>
1.2. <i>Metode lečenja .....</i>	<i>4</i>
1.3. <i>Značaj mišićne jačine za stabilnost zgloba kolena i zaštitu LCA .....</i>	<i>6</i>
1.4. <i>Procena mišićne funkcije nakon povrede LCA .....</i>	<i>7</i>
1.4.1. <i>Standardne metode procene jačine .....</i>	<i>8</i>
1.4.2. <i>Varijable kojima se prati oporavak neuromišićne funkcije nakon povrede LCA .....</i>	<i>12</i>
1.4.3. <i>Nedostaci standardnih testova za procenu jačine .....</i>	<i>17</i>
1.5. <i>Prethodna istraživanja .....</i>	<i>18</i>
<b>2. PRELIMINARNO ISTRAŽIVANJE .....</b>	<b>20</b>
2.1 <i>Preliminarna procena pouzdanosti, validnost i osetljivosti testa zasnovanog na naizmeničnim maksimalnim kontrakcijama nakon rekonstrukcije LCA .....</i>	<i>20</i>
2.1.1. <i>Uvod .....</i>	<i>20</i>
2.1.2. <i>Metode .....</i>	<i>21</i>
2.2.3. <i>Rezultati .....</i>	<i>26</i>
2.2.4. <i>Nalazi i zaključci istraživanja .....</i>	<i>32</i>
<b>3. PROBLEM, PREDMET I CILJ ISTRAŽIVANJA .....</b>	<b>34</b>
3.1. <i>Određivanje ugla u zglobu kolena za izvođenje testa zasnovanog na naizmeničnim maksimalnim kontrakcijama .....</i>	<i>35</i>
3.2. <i>Pouzdanost, validnost i osetljivost testa zasnovanog na naizmeničnim maksimalnim kontrakcijama u proceni oporavka nakon rekonstrukcije LCA .....</i>	<i>35</i>
3.3. <i>Naizmenične maksimalne kontrakcije u ispitivanju razlika u neuromišićnoj funkciji tokom oporavka nakon rekonstrukcije LCA .....</i>	<i>36</i>
<b>4. EKSPERIMENT 1: Određivanje ugla u zglobu kolena za primenu testa zasnovanog na naizmeničnim maksimalnim kontrakcijama (NMK) .....</b>	<b>38</b>
4.1. <i>Uvod .....</i>	<i>38</i>
4.2. <i>Metode .....</i>	<i>40</i>
4.2.1. <i>Uzorak ispitanika .....</i>	<i>40</i>
4.2.2. <i>Tok i postupci istraživanja .....</i>	<i>41</i>
4.2.3. <i>Uzorak varijabli .....</i>	<i>41</i>

4.2.4. Morfološki status.....	42
4.2.5. Procena neuromišićne funkcije .....	42
4.2.6. Prikupljanje i obrada podataka .....	43
4.2.7. Statistička analiza.....	45
4.3. <i>Rezultati</i> .....	45
4.4. <i>Diskusija</i> .....	49
<b>5. EKSPERIMENT 2: Pouzdanost, validnost i osetljivost testa zasnovanog na naizmeničnim maksimalnim kontrakcijama u proceni oporavka nakon rekonstrukcije LCA.....</b>	<b>52</b>
5.1. <i>Uvod</i> .....	52
5.2. <i>Metode</i> .....	54
5.2.1. Uzorak ispitanika.....	54
5.2.2. Tok i postupci istraživanja .....	55
5.2.3. Uzorak varijabli.....	55
5.2.4. Morfološki status.....	57
5.2.5. Procena neuromišićne funkcije .....	57
5.2.6. Procena stabilnosti zgloba kolena .....	59
5.2.7. Prikupljanje i obrada podataka .....	59
5.2.8. Statistička analiza.....	60
5.3. <i>Rezultati</i> .....	61
5.4. <i>Diskusija</i> .....	66
<b>6. EKSPERIMENT 3: Naizmenične maksimalne kontrakcije u ispitivanju razlika u neuromišićnoj funkciji tokom oporavka nakon rekonstrukcije LCA .....</b>	<b>72</b>
6.1. <i>Uvod</i> .....	72
6.2. <i>Metode</i> .....	74
6.2.1. Uzorak ispitanika.....	74
6.2.2. Tok i postupci istraživanja .....	75
6.2.3. Uzorak varijabli.....	75
6.2.4. Morfološki status.....	77
6.2.5. Procena neuromišićne funkcije .....	77
6.2.6. Prikupljanje i obrada podataka .....	78
6.2.7. Statistička analiza.....	78
6.3. <i>Rezultati</i> .....	79

6.4. <i>Diskusija</i> .....	88
<b>7. ZAKLJUČAK</b> .....	<b>94</b>
7.1. <i>Pravci u budućim istraživanjima</i> .....	97
<b>8. LITERATURA</b> .....	<b>98</b>

# Skraćenice

<b>LCA</b>	<i>Lig. cruciatum anterior</i> - prednji ukršteni ligament
<b>RLCA</b>	Rekonstrukcija prednjeg ukrštenog ligamenta
<b>IK</b>	Izokinetički test
<b>IM</b>	Standardni izometrijski test
<b>NMK</b>	Naizmenične maksimalne kontrakcije
<b>M</b>	Maksimalni moment sile mišića
<b>BRM</b>	Brzina razvoja momenta sile mišića
<b>S</b>	Snaga
<b>OPO</b>	Odnos jačine pregibača i opružača
<b>RDJ</b>	Relativni defici jačine (%)
<b>Zdr</b>	Zdrava noga
<b>Oper</b>	Operisana noga
<b>Ext</b>	Opružač
<b>Flx</b>	Pregibač
<b>SDJN</b>	Skok udalj jednom nogom
<b>SV</b>	Srednja vrednost
<b>SD</b>	Standardna devijacija
<b>ANOVA</b>	Analiza varijanse
<b>ICC</b>	Intraklasni koeficijent korelacije
<b>CV</b>	Koeficijent varijacije
<b>IP</b>	Interval pouzdanosti 95%
<b>p</b>	Nivo statističke značajnosti
<b>Z</b>	Meng test

# 1. UVOD

Sve veći zahtevi koji se postavljaju pred sportiste sa ciljem postizanja vrhunskih rezultata dovode do pojave iscrpljenosti, pretreniranosti, a ne retko i do povređivanja. Izloženost sistema za kretanje velikim spoljašnjim i unutrašnjim silama tokom sportskih aktivnosti, jedan je od brojnih uzroka nastajanja povreda, među kojima su najčešće povrede u zglobu kolena (posebno u fudbalu, skijanju, rukometu, ragbiju i američkom fudbalu) (Kobayashi, Higuchi et al. 2004; Pigozzi, Di Salvo et al. 2004; Ninković, Savić et al. 2005; Milankov, Semnic et al. 2008). Od svih povreda u zglobu kolena, najveću učestalost ima ruptura prednjeg ukrštenog ligamenta (*lig. cruciatum anterior*; LCA). Tačni podaci o učestalosti rupture LCA u svetskoj populaciji nisu poznati. Procenjuje se da samo u SAD godišnje dogodi do 200.000 povreda LCA (Beynnon, Johnson et al. 2005; Kadija 2010).

Akutna ruptura LCA predstavlja povredu karakterističnu za mlađu, sportski aktivnu populaciju. Pored sportista, od ove povrede pati i veliki broj rekreativaca. Zbog određenih anatomskih karakteristika, a bez obzira na nivo treniranosti, rizik za nastajanje ove povrede je znatno veći kod osoba ženskog pola (Lund-Hanssen, Gannon et al. 1996; Myer, Ford et al. 2006; Myer, Ford et al. 2009; Micheo, Hernandez et al. 2010), nego što je to slučaj kod muškaraca (Abernethy, Hanrahan et al. 2005; Ninković, Savić et al. 2005). Posledice rupture prednjeg ukrštenog ligamenta mogu biti razarajuće po zglob kolena i praćene su brojnim neželjenim posledicama.

Lečenje rupture LCA značajno je unapređeno poslednjih nekoliko decenija. Bolje razumevanje biomehanike kolena i uloge prednjeg ukrštenog ligamenta u stabilnosti i kinematici zgloba, rezultovalo je značajno naprednijim tehnikama hirurške rekonstrukcije oštećenog ligamenta. Ipak, i pored velikog napretka u operativnom pristupu, celokupan ishod lečenja ove povrede zavisi od rehabilitacionih procedura koje je neophodno sprovesti nakon rekonstrukcije, uz intenzivan i individualizovan pristup. Iako brojni specifični aspekti rehabilitacionih protokola još uvek nisu precizno definisani, uopšteno je prihvaćen značaj intenzivne rehabilitacije za oporavak zglobne pokretljivosti, neuromišićne funkcije (mišićne jačine, snage i dr.) i kontrole operisane noge, kao preduslov za što raniji povratak sportu i profesionalnim aktivnostima

(Shelbourne and Gray 1997; Risberg, Lewek et al. 2004; Myer, Ford et al. 2006; Pua, Bryant et al. 2008; Kadija 2010; Pezzullo and Fadale 2010). Ciljevi postoperativne rehabilitacije usmereni su ka obnavljanju morfologije zgloba kolena i jačanju aktivnih i pasivnih stabilizatora radi postizanja dinamičke i statičke stabilnosti kolena, i omogućavanja što ranijeg povratka svakodnevnim aktivnostima i sportu. S obzirom na to da se nedoumice i specifičnosti savremenog programa rehabilitacije odnose i na pronalaženje efikasnih metoda treninga radi što bržeg obnavljanja neuromišićne funkcije opružača i pregibača natkolenice, čime značajno utiče i na metodologiju praćenja oporavka funkcije tih mišića, kroz razvoj i primenu testova za procenu jačine, što samo po sebi zahteva dalja istraživanja.

### **1.1. Građa i funkcija prednjeg ukrštenog ligamenta i mehanizam nastanka povrede**

Prednji ukršteni ligament ispunjava interkondilarnu jamu (*fossa intercondilaris*) zgloba kolena, neposredno uz unutrašnji zid lateralnog kondila butne kosti (Bošković 2003; Kadija 2010). Od zadnjegornjeg dela interkondilarne jame vlakna ligamenta spuštaju se nadole između vrhova interkondilarnog uzvišenja (*tuberculi medialis et lateralis eminentiae intercondylaris tibiae lat. et med.*) i medijalno, ka prednjem interkondilarnom prostoru platoa tibije (*area intercondilaris anterior*). Vlakna LCA su organizovana u tri snopa, pri čemu su anteromedijalni (AM) i posterolateralni (PL) snopovi jasno diferencirani, dok je srednji, intermedijarni nestalan ili teško uočljiv (Bošković 2003; Kadija 2010).

LCA ima ulogu u obezbeđivanju kontrole klizanja tibije ispred femura (prednja translacija tibije) i rotatorne stabilnosti zgloba kolena tokom punog obima pokreta, pri čemu svoju funkciju stabilizatora kolena obavlja u svih šest stepeni slobode (Kadija 2010). U funkcionalnom smislu LCA predstavlja primarni pasivni stabilizator kolena koji pruža otpor prednjoj translaciji tibije i zajedno sa zadnjim ukrštenim ligamentom (lig. cruciatum posterior), svojim zatezanjem sprečava prekomernu ekstenziju, fleksiju, spoljašnju i unutrašnju rotaciju kolena (Bošković 2003; Kadija 2010; Micheo, Hernandez et al. 2010; Dubljanin-Raspopovic, Kadija et al. 2011). Pri malim uglovima u smeru fleksije u zglobu kolena, posterolateralni snop LCA je maksimalno zategnut,



dok se sa povećanjem tog ugla zateže anteromedijalni snop (Bošković 2003; Micheo, Hernandez et al. 2010; Yoo, Jeong et al. 2010). Međusobni odnos pripoja anteromedijalnog i posterolateralnog snopa na femuru menja se u toku pokreta. Pripoj posterolateralnog snopa koji se u opružanju nalazi posteriorno, pri fleksiji se pomera prema napred, i na približno 90° nalazi se napred i ispod pripoja anteromedijalnog snopa (prema anatomskoj nomenklaturi). Promena položaja pripoja snopova dovodi do zategnutosti posterolateralnog snopa kada je koleno u punoj ekstenziji i labavosti kada je u fleksiji. Zbog svojih približno izometrijskih karakteristika, anteromedijalni snop zategnut je u skoro svim fazama pokreta, ali u fleksiji njegova vlakna pokazuju maksimalnu izduženost (Yoo, Jeong et al. 2010), pa svi nagli pokreti koji izlažu ligament velikim naprezanjima potencijalno mogu biti uzrok nastanka povreda.

Pitanje mehanizma nastanka povrede prednjeg ukrštenog ligamenta još uvek je kontroverzna tema u sportskoj traumatologiji, ortopediji i rehabilitaciji. Poznavanje etiologije rupture LCA od suštinskog je značaja za kreiranje programa prevencije koji bi doprineli smanjenju broja novopovređenih, kojih je, prema procenama, samo u SAD, 100 000 do 200 000 godišnje (Mattacola, Perrin et al. 2002; Pua, Bryant et al. 2008; Micheo, Hernandez et al. 2010). Na osnovu mehanizma nastanka, povrede LCA dele se na kontaktne i nekontaktne.

Mehanizam nastanka kontaktnih povrede je poznat i jasan: sila deluje na spoljašnju stranu kolena, uzrokujući valgus stres i često prateću leziju medijalnog kolateralnog ligamenta i medijalnog meniskusa (tzv. nesrećna trijada). Iako se u stručnoj literaturi navodi da su nekontaktne povrede mnogo češće (70%-80%) (Mattacola, Perrin et al. 2002; Kadija 2010; Micheo, Hernandez et al. 2010), kod nekih pacijenata teško je povući jasnu granicu između dva mehanizma nastanka povrede. Uzrok povrede može biti neuobičajen položaj tela i noge, koji nastaje kao posledica izbegavanja potencijalno opasnog kontakta, naglog zaustavljanja ili nagle promene pravca kretanja, naglog šuta i dodavanja, ili nakon kontakta koji početno nije mogao da izazove povredu.

Za razliku od kontaktnih povreda LCA; mehanizmi nekontaktnih povreda nisu u potpunosti jasni i u stručnoj literaturi nema saglasnosti o značaju dejstava pojedinih sila i ravni u kojoj deluju. Zastupnici *teorije sagitalne ravni* smatraju da sila smicanja, koju

pri doskoku ili zaustavljanju izaziva forsirana kontrakcija mišića opružača, ima dominantan uticaj na preopterećenje i povredu LCA (Boden, Griffin et al. 2000; Aalbersberg, Kingma et al. 2009; Dubljanin-Raspopovic, Kadija et al. 2011). Nasuprot tome, prema *hipotezi valgus ravni* (transverzalne), osnovni mehanizam povrede je abdukcija kolena, što ima za posledicu multiplanarno dejstvo sila, uključujući i valgus stres (Kadija 2010; Kadija, Knezevic et al. 2010; Dubljanin-Raspopovic, Kadija et al. 2011).

Prilikom nastanka nekontaktnih povreda određenu ulogu igraju faktori rizika, koji se mogu klasifikovati kao: faktori sredine (meteorološki uslovi, podloga, obuća, funkcionalne ortoze), anatomske (valgus kolena, pronacija stopala, dimenzije interkondilarnog useka, geometrija i mehaničke karakteristike LCA), hormonalni, neuromišićni (poremećaj obrasca pokreta, poremećaj obrasca mišićne aktivacije, neodgovarajuća krutost mišića i dr.) i nasledni faktori (Micheo, Hernandez et al. 2010).

Dosadašnja istraživanja pokazuju da se nekontakte povrede uglavnom dešavaju prilikom naglog zaustavljanja ili promene pravca kretanja pri fiksiranom stopalu, sa kolenom u maloj fleksiji, odnosno blizu pune ekstenzije (15°) (Kadija 2010; Micheo, Hernandez et al. 2010), blagom valgus položaju i unutrašnjoj rotaciji tibije. Dejstvu spoljašnjih sila u momentu povrede pridružuju se unutrašnje sile u vidu snažne kontrakcije mišića opružača, koja preko ligamenta patele dovodi do izražene prednje translacije tibije i rupture prednjeg ukrštenog ligamenta (Aalbersberg, Kingma et al. 2009).

## **1.2. Metode lečenja**

Ruptura LCA (bilo da je delimična ili potpuna) uzrokuje biomehaničku nestabilnost kolena koja se manifestuje povećanjem prednje translacije tibije i rotatorne nestabilnosti. Dodatni nepovoljni uticaj na stabilnost kolena ima hipotrofija mišića natkolenice (prevashodno opružača, *musculus quadriceps femoris*-a) koja je posledica eventualne imobilizacije nakon povrede, senzomotorne inhibicije zbog prisustva otoka u povređenom zglobu i smanjenog obima kretanja (Pigozzi, Di Salvo et al. 2004; Lautamies, Harilainen et al. 2008; Eitzen, Eitzen et al. 2010; Dubljanin-Raspopovic, Kadija et al. 2011). Pored toga, kao veoma učestala posledica povrede i rekonstrukcije

LCA navode se progresivne degeneracije zglobnih površina, oštećenja meniskusa, osteoartritisa i bola (Li, Maffulli et al. 1996; Boden, Griffin et al. 2000; Keays, Bullock-Saxton et al. 2001; Kobayashi, Higuchi et al. 2004).

U cilju ublažavanja ovih, ali i nekih pratećih simptoma koji su povezani sa progresivnom disfunkcijom kolena, moguće je primeniti konzervativni i/ili operativni način lečenja, u zavisnosti od stepena rupture ligamenta, prisustva nestabilnosti kolena i mogućnosti učešća u fizičkim aktivnostima (Fitzgerald, Axe et al. 2000; Eitzen, Eitzen et al. 2010; Hartigan, Zeni et al. 2012). Konzervativni pristup, koji podrazumeva intenzivnu fizikalnu terapiju i jačanje aktivnih stabilizatora, obično se primenjuje kod sportista koji mogu da nastave učešće u takmičarskim aktivnostima bez potrebe za operativnim lečenjem LCA (eng. coppers; (Fitzgerald, Axe et al. 2000)). Međutim, kod sportista koji imaju izražene deficite u neuromišićnoj funkciji i nestabilnost kolena, ali žele da zadrže isti nivo učešća u sportu (eng. non-coppers), koristi se operativni pristup - zamena oštećenog ligamenta graftom (Kobayashi, Higuchi et al. 2004; Kadija 2010). Graft se najčešće uzima isecanjem dela tetive mišića zadnje lože buta (tzv. STG graft) ili ligamenta patele (BPTB graft). Posmatrano iz ugla hirurgije, izbor grafta ili ne utiče na ishod lečenja po pitanju morfologije kolena, ili su razlike takve da upotrebljene metode ispitivanja nisu u stanju da ih detektuju (Zijl, Kleipool et al. 2000; Pigozzi, Di Salvo et al. 2004; Goradia, Grana et al. 2006; Mae, Shino et al. 2006; Kadija 2010). Međutim, izbor operativne tehnike ipak utiče na pojavu različitih deficita u neuromišićnoj funkciji. Naime, uzimanje grafta sa ligamenta patele utiče na nastanak deficita u funkciji opružača operisane noge, dok uzimanje grafta sa tetive mišića zadnje lože buta više utiče na nastanak deficita kod pregibača operisane noge (Li, Maffulli et al. 1996; Keays, Bullock-Saxton et al. 2001; Gobbi, Tuy et al. 2003; Moisala, Jarvela et al. 2007; Myer, Paterno et al. 2008; Ageberg, Roos et al. 2009).

Na osnovu prethodno iznetog, može se zaključiti da je osnovni cilj hirurške rekonstrukcije LCA obnavljanje morfologije i biomehaničke stabilnosti kolena, dok je za obnavljanje dinamičke stabilnosti, eliminisanje deficita u neuromišićnoj funkciji i povratak punom obimu aktivnosti neophodna intenzivna postoperativna rehabilitacija (Mattacola, Perrin et al. 2002; Kadija 2010). Jedan od osnovnih zadataka rane faze postoperativne rehabilitacije je obnavljanje obima pokreta, senzomotorne kontrole,

neuromišićne funkcije (mišićne jačine i snage) operisane noge na način koji graft štiti od sila koje bi mogle da dovedu do njegove trajne deformacije (Mattacola, Perrin et al. 2002; Kobayashi, Higuchi et al. 2004; Risberg, Holm et al. 2007; Dubljanin-Raspopovic, Kadija et al. 2011). U ostvarivanju tih zadataka i praćenju napretka rehabilitacije nakon rekonstrukcije LCA značajnu ulogu ima procena neuromišićnih karakteristika sile pregibača i opružača u zglobu kolena.

### **1.3. Značaj mišićne jačine za stabilnost zgloba kolena i zaštitu LCA**

Neuromišićna funkcija najčešće se posmatra preko jačine i njenih oblika ispoljavanja (brzine razvoja sile, itd). Jačina se definiše kao maksimalna sila koju mišić razvija tokom maksimalne voljne kontrakcije delujući protiv zadatog spoljašnjeg opterećenja (Abernethy, Wilson et al. 1995; Jaric, Radosavljevic-Jaric et al. 2002; Knezevic and Mirkov 2011). U sportu je sposobnost razvijanja velikih sila za što kraće vreme važna za sportski rezultat, ali i prevenciju povreda (Neeter, Gustavsson et al. 2006). Ukoliko dođe do povrede, cilj je da se mišićna jačina što pre vrati na nivo pre povrede, kako bi se obnovila dinamička stabilnost zgloba i sprečilo ponovno povređivanje. Važnu ulogu u zaštiti LCA, i kompenzaciji njegove nestabilnosti usled povrede imaju mišići pregibači u zglobu kolena kod kojih je uočen veći nivo aktivacije nego kod zdravih (Li, Maffulli et al. 1996; Ageberg, Thomee et al. 2008; Aalbersberg, Kingma et al. 2009). Pošto se pregibači ekscentričnom kontrakcijom suprotstavljaju koncentričnoj kontrakciji opružača, oni u određenom zglobnom uglu mogu proizvoditi veće sile, pa je uravnoteženost jačine i šema aktivacije između ovih mišića od ključnog značaja za funkcionalnu stabilnost kolena (Aagaard, Simonsen et al. 1998; Boden, Griffin et al. 2000; Hole, Smit et al. 2000; Osternig, Ferber et al. 2001). Ukoliko je odnos takav da su mišići opružači (inače, antagonisti LCA), značajno jači od pregibača, koji su mu agonisti, integritet ligamenta može biti narušen, i shodno tome, bilo kakva slabost, povećana pokretljivost, ili kašnjenje motornog signala ka mišićima zadnje lože buta može povećati rizik od povreda LCA (Lund-Hanssen, Gannon et al. 1996; Boden, Griffin et al. 2000).

Poznato je da mišići pregibači i opružači u zglobu kolena maksimalne sile ispoljavaju samo pri određenim dužinama mišića, tj. određenim uglovima u zglobu kolena (oko 30° za pregibače i oko 60° za opružače) (Osternig, Ferber et al. 2000;

Zemach, Almoznino et al. 2009). Sa promenom ugla u zglobu, menja se i stepen koaktivacije ove dve mišićne grupe, potencijalno utičući na kapacitete za aktivnu stabilizaciju kolena. Potreba za većim nivoom aktivacije mišića zadnje lože buta javlja se pri uglovima u zglobu kolena koji su veći od 30° (Abernethy, Hanrahan et al. 2005; Aalbersberg, Kingma et al. 2009), jer sa povećanjem ugla u smeru ekstenzije u zglobu kolena rastu sile kojima opružači povlače tibiju u prednju translaciju. Time LCA biva izložen velikom naprežanju koje se mora umanjiti kokontrakcijom mišića zadnje lože buta. Kada je koleno u punoj ekstenziji, kokontrakcija mišića zadnje lože buta ima mali do nikakav efekat na ublažavanje sile koja se prenosi do prednjeg ukrštenog ligamenta. Međutim, kada je ugao u zglobu kolena veći od 15°, istovremena aktivacija pregibača uz aktivaciju opružača u velikoj meri smanjuje opterećenost prednjeg ukrštenog ligamenta (Abernethy, Hanrahan et al. 2005). Postoje indicije da se u situacijama kada je ruptura LCA potpuna, mišići zadnje lože buta dodatno aktiviraju u nastojanju da obezbede neophodnu stabilnost kolena. Na osnovu prethodno iznetog, jasno je da je u cilju prevencije nastanka mišićne nauravnoteženosti i povrede LCA, važno kontrolisati međusobni odnos jačine ove dve grupe mišića (tzv. *OPO*), koji će biti detaljnije opisan u narednim poglavljima.

#### **1.4. Procena mišićne funkcije nakon povrede LCA**

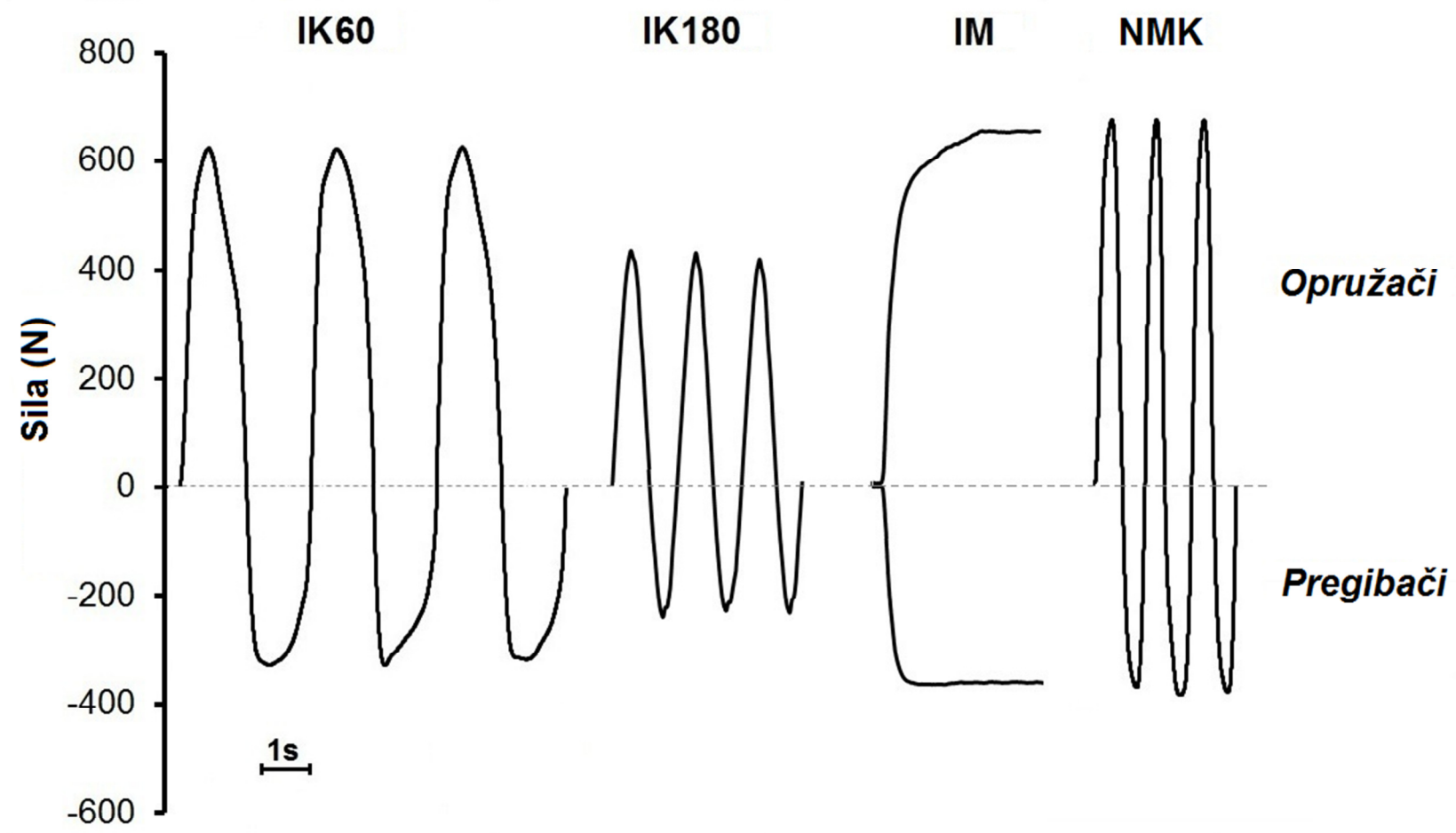
Tokom rehabilitacije nakon povrede ili rekonstrukcije LCA, primenjuju se različiti testovi za procenu funkcije zgloba kolena, stabilnosti kolena i oporavka neuromišićne funkcije. Pored subjektivnih testova za procenu nivoa aktivnosti pre i nakon operacije LCA (International Knee Documentation Committee skor (IKDC), Tegnerov skor, Lisholmov skor i dr.) i manuelnih testova za procenu čvrstine grafta i stabilnosti zgloba kolena (Pivot šift test, Lahman test) (Kobayashi, Higuchi et al. 2004; Lee, Seong et al. 2004; Fabbriciani, Milano et al. 2005; Lautamies, Harilainen et al. 2008; Kadija, Knezevic et al. 2010), značajno mesto u praćenju oporavka imaju i testovi za procenu neuromišićne funkcije (Hole, Smit et al. 2000; Neeter, Gustavsson et al. 2006; Ageberg, Thomee et al. 2008). Neophodnost primene testova za procenu neuromišićne funkcije proističe iz uloge i značaja mišićnih sila u obezbeđivanju aktivne stabilnosti zgloba kolena i zaštiti rekonstruisanog ligamenta. S obzirom na važnu ulogu jačine, procena mišićne funkcije i merenje sposobnosti izvođenja različitih

(funkcionalnih) kretanja od suštinskog značaja su u brojnim kliničkim i nekliničkim oblastima koje proučavaju pokrete. Nakon povrede i rekonstrukcije LCA, jačina mišića procenjuje se u cilju utvrđivanja porekla i veličine mišićne slabosti kako bi se otkrili razlozi smanjene funkcionalnosti koja bi inače mogla biti tretirana treningom jačine (Morrissey, Hooper et al. 2004; Engelen-van Melick, van Cingel et al. 2012). Drugi razlog za primenu testova nakon povrede LCA je ispitivanje funkcionalnog kapaciteta povređene noge u akutnoj fazi oporavka, kada inače nije moguće primeniti tzv. funkcionalne testove kao što su to skokovi na jednoj nozi (Morrissey, Hooper et al. 2004):

Testovi kojima se procenjuje jačina mišića zasnovani su na merenju sile koju mišić razvija delujući protiv zadatog spoljašnjeg opterećenja u zadatim uslovima (Osternig, James et al. 1999; Pua, Bryant et al. 2008; Zemach, Almoznino et al. 2009; Kadija, Knezevic et al. 2010). U tu svrhu najčešće se koriste standardni izometrijski i izokinetički testovi (za detalje, vidi **Slika 1**).

#### **1.4.1. Standardne metode procene jačine**

Izometrijski testovi su za mnoge istraživače bili metoda izbora za procenu jačine mišića, posebno u ranoj fazi rehabilitacije nakon operacije LCA (Ageberg, Thomee et al. 2008; Pua, Bryant et al. 2008; Zebis, Bencke et al. 2011; Angelozzi, Madama et al. 2012). Izometrijski testovi takođe imaju veoma značajno mesto u praćenju oporavka nakon povrede LCA, a pomoću njih se procenjuje jačina zasnovana na maksimalnoj sili koja se razvije prilikom maksimalne voljne kontrakcije (tokom delovanja protiv spoljašnjeg opterećenja), sa konstantnim uglom u zglobu kolena (Abernethy, Wilson et al. 1995; Wilson and Murphy 1996; Augustsson and Thomee 2000; Jaric, Radosavljevic-Jaric et al. 2002). Najčešće praćena varijabla *standardnog izometrijskog testa jačine* (IM) jeste maksimalna sila –  $F_{max}$  (**Slika 1**) ili maksimalni moment sile mišića ( $M$ ) koji se obično dostiže posle 3-5 s maksimalne kontrakcije (Abernethy, Wilson et al. 1995; Sahaly, Vandewalle et al. 2001). Pored  $M$ , procenjuje se i maksimalna brzina razvoja sile ( $BRS$ ) koja predstavlja maksimalnu vrednost prvog izvoda sile u vremenu, odnosno predstavlja njen maksimalan nagib (Mirkov, Nedeljkovic et al. 2004; Andersen and Aagaard 2006). Razlozi upotrebe tzv. testova



**Slika 1.** Ilustracija profila sile dobijenih iz testova za procenu neuromišićne funkcije. Na slici su prikazana srednja tri ciklusa iz profila sile dobijenih iz izokinetičkih testova (IK60 i IK120) i novog testa zasnovanog na *naizmeničnim maksimalnim kontrakcijama* (NMK), kao i maksimalna vrednost sile iz IM testa. Sile pregibača prikazane su kao negativne vrednosti.

brzine razvoja sile (*BRS*) pravdaju se činjenicama da je u mnogim sportskim dešavanjima vreme za dostizanje odgovarajuće sile ograničeno.

Izometrijski testovi su široko zastupljeni u proceni neuromišićne funkcije pre svega zbog visokog stepena kontrole merenja. Ovaj tip procene mišićne funkcije ima visoku tzv “test – retest” pouzdanost. Mereći  $F_{max}$ , veći broj istraživača dobio je koeficijente pouzdanosti u intervalu od 0.85 do 0.99 (Agre, Casal et al. 1988; Wilson and Murphy 1996; Bemben and Murphy 2001; Mirkov, Nedeljkovic et al. 2004). Vilson i Marfi (1996) zabeležili su slabije korelacione koeficijente za *BRS* ( $r = 0.84$ ) nego za  $F_{max}$  ( $r = 0.96$ ). Nasuprot tome Krist i sar. (prema Mirkov, Nedeljkovic et al. 2004) dobili su veće korelacione koeficijente za *BRS* (0.83 do 0.94) nego za  $F_{max}$  (0.64 do 0.91). Ovakve razlike su verovatno posledica toga što su testirane različite mišićne grupe.

Pretpostavljena sličnost  $F_{max}$  sa maksimalnom silom koju mišić može da ostvari u različitim funkcionalnim zadacima ono je na čemu se zasniva njena očigledna validnost, dok je očigledna validnost *BRS* zasnovana na činjenici da je vreme izvođenja eksplozivnih i brzih pokreta i kretanja ili posturalnih korekcija, znatno kraće od vremena koje je potrebno za dostizanje  $F_{max}$  (Mirkov, Nedeljkovic et al. 2004; Andersen and Aagaard 2006). Ipak, ovaj način procene mišićne jačine često je kritikovan zbog pretpostavke da izometrijski testovi imaju malo sličnosti sa dinamičkom prirodom većine sportskih zadataka (Murphy and Wilson 1996; Mirkov, Nedeljkovic et al. 2004). To se posebno odnosi na jednozglobne izometrijske kontrakcije kojima se procenjuje funkcija izolovanog mišića (Coombs and Garbutt 2002), dok su funkcionalni zadaci uglavnom višezglobni i dinamički, pa se smatra da se izometrijskim testovima ne može proceniti dinamička kontrola kolena (Hole, Smit et al. 2000). Međutim, pojedini istraživači ukazuju na snažnu povezanost izometrijske jačine sa funkcionalnim sposobnostima, kao i to da omogućava validnu procenu eksplozivnih kapaciteta mišića (Aagaard, Simonsen et al. 2002). Kako bi se omogućilo da mere neuromišićne funkcije dobijene iz izometrijskih testova budu što bliže maksimalnoj sili koju taj mišić može da ostvari u različitim funkcionalnim zadacima, Sale (1991) predlaže da se izometrijska merenja vrše u položaju u kome je za dati opseg kretanja sila najveća. Međutim, različiti



mišići maksimalne mogućnosti ispoljavaju pri različitim uglovima, pa je zbog toga nemoguće da se standardnim izometrijskim testovima istovremeno i bez dodatnih podešavanja procenjuje jačinu antagonističkog para mišića.

Iako se sa primenom izokinetičke dinamometrije počelo kasnije u odnosu na izometrijsku, vrlo brzo postala je izuzetno popularna i može se smatrati standardnom metodom za procenu jačine opružača i pregibača nakon povrede ili rekonstrukcije LCA (Dvir 1995; Pua, Bryant et al. 2008; Eitzen, Eitzen et al. 2010). Imajući u vidu da su izokinetički dinamometri konstruisani tako da se u kontrolisanim uslovima može procenjivati funkcija velikog broja različitih mišićnih grupa, ali i da se mogu vrlo efikasno koristiti kao trenažno sredstvo, postali su sastavni deo procene mišićne funkcije u procesima oporavka nakon povreda lokomotornog aparata, a naročito u praćenju rehabilitacije posle povreda kolena. Izokinetički režim karakteriše konstantna brzina izvođenja pokreta (kontrola brzine vrši se posebnim motorima koji obezbeđuju promenu spoljašnjeg otpora sa promenom sile kojom mišić deluje) i u okviru njega može se meriti neuromišićna funkcija pri različitim režimima rada: izometrijskom, izokinetičkom ili izoinercijalnom (Murphy and Wilson 1996; Pua, Bryant et al. 2008). U izokinetičkom režimu jačina može biti procenjena preko momenta sile mišića ( $M$ ) ostvarenog tokom koncentrične ili ekscentrične kontrakcije i ovakav način procene omogućava praćenje zavisnosti: ugaona brzina - ugao u zglobu, snaga – ugaona brzina, moment sile – ugao u zglobu (Osternig, Ferber et al. 2001; Eitzen, Eitzen et al. 2010). Pored toga, na osnovu zabeleženih funkcija mogu se očitati odgovarajuće maksimalne vrednosti i vremenski indeksi. Takođe, moguće je poređenje rezultata agonista i antagonista, kontralateralnih ekstremiteta (Hole, Smit et al. 2000; Coombs and Garbutt 2002; Impellizzeri, Bizzini et al. 2008; Kadija, Knezevic et al. 2010).

Brojne studije su pokazale da je tzv. “test – retest” pouzdanost izokinetičke dinamometrije jako dobra ( $r > 0.9$ ) (Kannus 1988; Impellizzeri, Bizzini et al. 2008; Pua, Bryant et al. 2008). U nekim istraživanjima zabeleženi su veoma dobri koeficijenti pouzdanosti ( $> 0.9$ ) za maksimalne momente sile mišića u zglobu kolena, merene pri ugaonim brzinama u intervalu od  $60^\circ/s$  do  $300^\circ/s$  (**Slika 1**), kako kod zdravih ispitanika, tako i kod onih sa povredom LCA (Impellizzeri, Bizzini et al. 2008; Eitzen, Eitzen et al. 2010). Međutim, uočeno je da su koeficijenti varijacije uzastopnih pokušaja

veći kada se koriste veće ugaone brzine (Osternig, James et al. 1999). Iako su koeficijenti pouzdanosti za ekscentrične kontrakcije nešto niži od onih dobijenim za koncentrične kontrakcije, još uvek se mogu smatrati jako dobrim (od 0.92 do 0.94) (Seger, Westing et al. 1988; Snow and Blacklin 1992).

Oni koji kritikuju ovaj tip dinamometrije, svoje kritike zasnivaju na činjenicama da obrazac kretanja (često se posmatraju pojedinačni, izolovani pokreti) i opterećenja (izostanak faze ubrzanja i ciklusa izduženja-skraćenja; eng. stretch shortening cycle SSC), ima malo sličnosti sa pokretima i opterećenjima koja se savladavaju u većini sportova (Ashley and Weiss 1994; Augustsson and Thomee 2000). Zato među istraživačima koji se bave problematikom procene jačine i snage, prevladava mišljenje da izokinetička dinamometrija ima očigledno veliku tzv “internu” i malu tzv. “spoljašnju validnost”. Još jedan od nedostataka izokinetičke dinamometrije je da se potrebni podaci o neuromišićnoj funkciji ne mogu dobiti merenjem pri samo jednoj ugaonoj brzini, već se često moraju primeniti dve, tri pa i četiri ugaone brzine, zavisno od protokola. Zemak i sar. (2009) upravo to navode kao jedan od nedostataka izokinetičkih testova, kao i činjenicu da ne postoje standardizovani protokoli za praćenje oporavka nakon rekonstrukcije LCA (ugaone brzine, vrsta kontrakcije, broj ponavljanja, obim pokreta i dr.). Kada bi se izokinetički testovi sprovodili primenom samo jedne ugaone brzine, to bi doprinelo manjem opterećenju na ligament, manjem zamoru ispitanika i na kraju, značajnoj uštedi u vremenu. Testovi sprovedeni pri manjim ugaonim brzinama duže traju i eventualno mogu dovesti do pojave neprijatnosti i bola.

#### **1.4.2. Varijable kojima se prati oporavak neuromišićne funkcije nakon povrede LCA**

Poseban izazov u rehabilitaciji nakon povrede u rekonstrukcije LCA jeste procena da li je i kada je bezbedno početi sa intenzivnim fizičkim aktivnostima (Beynnon, Johnson et al. 2005; Neeter, Gustavsson et al. 2006). Nije u potpunosti jasno kada se sportista može smatrati oporavljenim i spremnim za povratak punom obimu treninga i takmičenju, odnosno da li se testovi jačine mogu koristiti za predikciju budućih preformansi i na taj način sprečiti ponovno povređivanje (Hole, Smit et al. 2000; Eitzen, Eitzen et al. 2010). U praćenju oporavka i identifikaciji faktora rizika za nastanak povrede LCA, vrlo često se pored direktno merenih varijabli dobijenih iz

testova za procenu jačine (tj. maksimalnog momenta sile mišića;  $M$ ), koriste i izvedene varijable (Neeter, Gustavsson et al. 2006; Impellizzeri, Bizzini et al. 2008; Eitzen, Eitzen et al. 2010). Naime, primenom standardnih testova jačine na bezbedan i kontrolisan način se kvantifikuje odnos jačine antagonističkog para mišića tzv. *OPO* (odnos pregibač/opružrač; eng. Hamstring/Quadriceps ratio ili HQ ratio), i odnos jačine mišića operisane i zdrave noge tj. relativni deficit mišićne jačine (*RDJ*) (Augustsson and Thomee 2000; Hole, Smit et al. 2000; Neeter, Gustavsson et al. 2006; Pua, Bryant et al. 2008).

*OPO* se koristi kao indikator balansa jačine mišića pregibača i opružrača u zglobu kolena. U zavisnosti od odabrane kombinacije mišićnih kontrakcija, u praksi se koriste dva tipa: konvencionalni i funkcionalni. Konvencionalni *OPO* predstavlja odnos jačine mišića pregibača i opružrača ostvarene u koncentričnom, ili izometrijskom režimu rada (**Jednačina 1A**), dok funkcionalni (ili, u literaturi poznat kao dinamički kontrolni odnos (Hole, Smit et al. 2000) predstavlja odnos jačine ostvarene u kombinovanom ekscentrično-koncentričnom (**Jednačina 1B**) ili koncentrično-ekscentričnom režimu (**Jednačina 1C**):

**Jednačina 1.** Izračunavanje konvencionalnog (A) i funkcionalnog odnosa (B i C) pregibača i opružrača (*OPO*):

$$A) \text{ Konvencionalni } OPO = \frac{\text{Pregibač}_{\text{koncentrično}}}{\text{Opružrač}_{\text{koncentrično}}}$$

$$B) \text{ Funkcionalni } OPO = \frac{\text{Pregibač}_{\text{ekscentrično}}}{\text{Opružrač}_{\text{koncentrično}}}$$

$$C) \text{ Funkcionalni } OPO = \frac{\text{Pregibač}_{\text{koncentrično}}}{\text{Opružrač}_{\text{ekscentrično}}}$$

U stručnoj literaturi još uvek nije precizno definisana normativna vrednost *OPO*. U zavisnosti od ugaone brzine i režima rada mišića, ovaj odnos se može nalaziti u opsegu od 0.3-1.0 (Kannus 1988; Holcomb, Rubley et al. 2007; Kadija, Knezevic et al. 2010). Pojedini autori navode da se *OPO* od 0.67 može smatrati normativom optimalnog odnosa jačine ove dve mišićne grupe (Hole, Smit et al. 2000; Coombs and Garbutt 2002), ali se to odnosi na količnik sila koje se ostvare pri ugaonoj brzini od 60°/s, pa ne može važiti za sve ugaone brzine i kombinacije kontrakcija. Naime, sa

povećanjem ugaone brzine povećava i odnos jačine ova dva mišića (Hole, Smit et al. 2000; Holcomb, Rubley et al. 2007; Kadija, Knezevic et al. 2010), i to je potvrđeno i nalazima Kadije i sar. (2010) koji su pri većim ugaonim brzinama (120°/s i 180°/s) dobili veće vrednosti *OPO* nego pri manjoj brzini (60°/s). Situacija je slična i kada se *OPO* računa na osnovu jačine ostvarene u izometrijskom režimu rada - sa povećanjem ugla u zglobu kolena raste i vrednost ovog odnosa (Knezevic, Pazin et al. 2010; Kong and Burns 2010), pa poseban izazov predstavlja određivanje ugla u kome bi se dobio optimalni odnos jačine ove dve mišićne grupe. Pored toga na vrednost odnosa jačine pregibača i opružača mogu uticati pol ispitanika, uzrast, kao i to da li je u pitanju dominantna ili nedominantna noga, ukoliko se radi o zdravim ispitanicima, odnosno zdrava ili operisana, ako je reč o ispitanicima za povredom LCA (Ahmad, Clark et al. 2006; Aalbersberg, Kingma et al. 2009; Ageberg, Roos et al. 2009). Zemak i sar. (2009) dobili su veći odnos kod dominantne noge u odnosu na nedominantnu, dok taj odnos kod osoba nakon rekonstrukcije LCA zavisi od vrste primenjenog grafta (Ageberg, Roos et al. 2009), stadijuma oporavka i mnogih drugih faktora.

Pored *OPO*, za praćenje oporavka mišićne funkcije važan je i *relativni deficit jačine (RDJ)*, koji predstavlja relativnu razliku u jačini između operisane (*oper*) i zdrave (*zdr*) noge i računa se posebno za svaku od mišićnih grupa. Postoji više načina za izračunavanje deficita, ali najčešće korišćeni prikazan je u **Jednačina 2**:

**Jednačina 2.** Izračunavanje relativnog deficita jačine (*RDJ*)

$$RDJ \% = \frac{M_{oper} - M_{zdr}}{M_{zdr}} \times 100$$

gde  $M_{oper}$  i  $M_{zdr}$  predstavljaju *maksimalni moment sile* operisane, odnosno zdrave noge (Neeter, Gustavsson et al. 2006; Impellizzeri, Bizzini et al. 2008; Lautamies, Harilainen et al. 2008; Pua, Bryant et al. 2008).

Preporučena minimalna razlika u jačini između operisane i zdrave noge iznosi 10 do 15%, odnosno poželjno je da jačina operisane noge iznosi 85 do 90 % od jačine zdrave noge, kako bi se uklonila sva ograničenja u vezi dozvoljenih oblika kretanja i nesmetanog povratka sportskom takmičenju (Li, Maffulli et al. 1996; Neeter, Gustavsson et al. 2006; Micheo, Hernandez et al. 2010). U ranim fazama rehabilitacije, relativni deficit jačine vrlo često iznosi i više od 30-40% (Li, Maffulli et al. 1996;

Kadija, Knezevic et al. 2010), a veličina deficita zavisi vrste grafta koji je upotrebljen za rekonstrukciju ligamenta, stanja zdrave noge, kao i od uslova u kojima je vršena procena jačine (ugaona brzina i dr.). Međutim, brojne su studije u kojima su i godinu dana nakon operacije zabeležene razlike između operisane i zdrave noge u jačini mišića opružaća koje su bile veće od 10% (Anderson, Lamb et al. 2002; Mattacola, Perrin et al. 2002; Nyland, Caborn et al. 2003; Neeter, Gustavsson et al. 2006; Risberg, Holm et al. 2007). Naime, prema navodima Tome-a i sar. (2012), čak ni 2 godine nakon rekonstrukcije približno jedna trećina pacijenata nije postigla potpuni oporavak funkcije kolena, posmatranu kroz testove za procenu jačine ili pak funkcionalne testove poput skokova na jednoj nozi. Pored toga, slabost opružaća nakon povrede i rekonstrukcije LCA predstavlja značajan faktor rizika za razvoj osteoartritisa (Eitzen, Eitzen et al. 2010; Dubljanin-Raspopovic, Kadija et al. 2011; Thomee, Neeter et al. 2012).

Imajući u vidu sve do sada rečeno, može se zaključiti da je od izuzetne važnosti da se postoperativni tok rehabilitacije prati preko opisanih odnosa jačine (*OPO* i *RDJ*), jer neki od ispitanika pate od trajne slabosti mišića buta, funkcionalnog deficita, osteoartritisa, bola u predelu kolena što na kraju dovodi do smanjenja obima fizičke aktivnosti i povlačenja iz učešća u sportu (Hole, Smit et al. 2000; Nyland, Caborn et al. 2003; Lautamies, Harilainen et al. 2008; Hartigan, Zeni et al. 2012). Ipak, *OPO* i *RDJ* moraju se tumačiti sa određenim oprezom, s obzirom da za njih ne postoji jasno utvrđena normativna vrednost, već se vrlo često zdrava noga koristi kao kontrolna. Razlog za oprez potiče od činjenice da nakon operacije može doći do značajnog slabljenja mišićne funkcije čak i kod zdrave noge (Kannus 1988; Neeter, Gustavsson et al. 2006; Hiemstra, Webber et al. 2007; Eitzen, Holm et al. 2009; Engelen-van Melick, van Cingel et al. 2012), što potencijelno utiče na to da postoperativne mere, kao što je relativni deficit jačine između operisane i zdrave noge, ne daju pravi uvid u veličinu gubitka u jačini operisane noge. U tom slučaju možda je bolje imati rezultate preoperativnih merenja, ali istraživanja koja tu očiglednu pretpostavku potvrđuju nisu brojna.

Mogućnost da se ograniči i što pre popravi postojeći deficit mišićne jačine u direktnoj je vezi sa intenzitetom rehabilitacionog tretmana i vremena primene standardnih testova jačine. S obzirom da je glavni cilj rehabilitacije nakon povrede LCA

potpuni oporavak neuromišićne funkcije, jasno je da se ona tokom tog procesa mora pratiti. Pošto primena funkcionalnih testova (skokovi i promene pravca kretanja) nije indikovana u ranim fazama oporavka nakon rekonstrukcije LCA (prvih 8 nedelja), procena funkcije zgloba kolena zasniva se na primeni testova za procenu jačine mišića opružača i pregibača (Morrissey, Hooper et al. 2004). Osmišljene su specifične preporuke i algoritmi (Myer, Ford et al. 2006; Pezzullo and Fadale 2010; Hartigan, Zeni et al. 2012) koji mogu biti „vodič“ kroz oporavak, kako bi se kliničarima i istraživačima pomoglo da odrede u kojoj fazi rehabilitacionog procesa mogu da primene testove za procenu maksimalne jačine mišića (u zavisnosti od srastanja grafta, pristustva bola i otoka). Prema postojećoj literaturi, testovi se najčešće primenjuju 12 – 24 nedelje nakon operacije LCA (Mittlmeier, Weiler et al. 1999; Meyers, Sterling et al. 2002; Risberg, Lewek et al. 2004; Thomee, Neeter et al. 2012), međutim pojedini autori koristili su mnogo agresivniji pristup u postoperativnoj rehabilitaciji, i stoga testove primenjivali već između druge i šeste nedelje oporavka (De Carlo, Shelbourne et al. 1992; Kobayashi, Higuchi et al. 2004; Morrissey, Hooper et al. 2004). Periodičnim praćenjem mišićne funkcije opružača i pregibača kolena nakon rekonstrukcije LCA (npr. 3, 6, i 12 meseci postoperativno) stiče se bolji uvid u promene povezane sa primenjenim rehabilitacionim procedurama i postupcima (Mittlmeier, Weiler et al. 1999; Kobayashi, Higuchi et al. 2004; Risberg, Lewek et al. 2004; Thomee, Neeter et al. 2012). Na kraju, broj i vremenski raspored ponovljenih testiranja mišićne funkcije zavisi od napredovanja sportiste kroz faze oporavka, tako da je vreme poslednjeg merenja obično definisano samim trajanjem rehabilitacije (6-ti postoperativni mesec, a nekada i godinu dana nakon operacije).

I pored toga što dinamometrija ima značajno mesto u praćenju oporavka nakon povrede LCA, još uvek nije izdefinisani protokol testiranja koji bi se mogao smatrati standardnim, pa se u literaturi i praksi može pronaći veliki broj različitih metoda merenja. Bez obzira na to izabrani test ili testovi trebalo bi da omogućavaju:

- Utvrđivanje deficita mišićne jačine pregibača i opružača u zglobu kolena operisane u odnosu na zdravu nogu (Kannus 1988; Lund-Hanssen, Gannon et al. 1996; Morrissey, Hooper et al. 2004)

- Utvrđivanje neuravnoteženosti jačine antagonističkog para mišića praćenjem *OPO* (Hole, Smit et al. 2000; Coombs and Garbutt 2002; Myer, Ford et al. 2009)
- Utvrđivanje eventualnih razlika u brzini oporavka pacijenata operisanih različitim tehnikama i graftovima (Ageberg, Thomee et al. 2008; Lautamies, Harilainen et al. 2008),
- Dobijanje skorova jačine koji su blisko povezani sa funkcionalnim sposobnostima zahvaćene regije, tj. kolena (Morrissey, Hooper et al. 2004),
- Predikciju povratka sportista punom obimu treniga i takmičenju (Neeter, Gustavsson et al. 2006; Myer, Paterno et al. 2008).

### **1.4.3. Nedostaci standardnih testova za procenu jačine**

I pored neospornog značaja izokinetičke dinamometrije u proceni neuromišićne funkcije nakon povrede i rekonstrukcije LCA, izokinetički protokoli ipak imaju nekoliko nedostataka. Veliki broj ponavljanja pri različitim ugaonim brzinama, nedostatak standardizovanog protokola, ispitivanje mišićne funkcije pri jednozglobnim pokretima, samo su neki od nedostataka ovog načina procene jačine. Takođe, činjenica je da pokreti u izokinetičkom režimu, kao i izometrijske kontrakcije nisu nalik svakodnevnim višesegmentnim, dinamičkim aktivnostima ljudskog kretanja. Ipak, brojni funkcionalni pokreti zasnovani su ili na relativno kratkim akcijama određenih mišićnih grupa (brzi pojedinačni pokreti, kao što su dohvatanje i premeštanje stvari, ili posturalne korekcije), ili na uzastopnim aktivnostima antagonističkog para mišića (hodanje, trčanje, bacanja, šutevi...) (Suzovic, Nedeljkovic et al. 2008; Bozic, Suzovic et al. 2011). Procena uravnoteženosti jačine antagonističkog para mišića jeste važna, ali nezavisno posmatrani odnosi momenata sila daju samo ograničene informacije. U slučaju povreda, kao što je ruptura LCA, potreban je funkcionalniji pristup proceni uravnoteženosti mišićne jačine (Boden, Griffin et al. 2000). Sa druge strane, primena izometrijske dinamometrije i izlaganje ispitanika dugotrajnim maksimalnim kontrakcijama ponekada može biti neadekvatna i bolna. Poseban izazov u ovom načinu procene jačine predstavlja izbor ugla u zglobu u kome se vrši procena jačine, naročito zbog toga što postoje spekulacije da bi momenti sile ostvareni u uglovima različitim od onog u kome se razvija maksimalnim moment dali više informacija o veličini deficita

jačine testirane mišićne grupe, između operisane i zdrave noge (Eitzen, Eitzen et al. 2010).

## 1.5. Prethodna istraživanja

U nastojanju da se prevaziđu ranije pomenuti nedostaci standardnih testova jačine, grupa autora (Suzovic, Nedeljkovic et al. 2008; Bozic, Suzovic et al. 2011; Bozic, Pazin et al. 2012) predložila je novi test za procenu neuromišićne funkcije zasnovan na izometrijskim *naizmeničnim maksimalnim kontrakcijama (NMK)* za koji su pretpostavili da sadrži neophodni „funktionalniji pristup“ testiranju neuromišićnih sposobnosti. Prema autorima, predloženi test osmišljen je tako da se njegovim karakteristikama nadomeste neki od ranije iznetih nedostataka standardnih testova za procenu mišićne jačine (Bozic, Suzovic et al. 2011). Naime, novi test NMK zasnovan je na kratkim i brzim ispoljavanjima sile kroz naizmenične uzastopne maksimalne kontrakcije i omogućava da se u istom pokušaju proceni jačina antagonističkog para mišića. Pored toga, test se može izvoditi pri različitim frekvencijama (0.67 do 2.67 Hz, kao i pri frekvenciji koju su ispitanici spontano izabrali).

Nalazi istraživanja u kojima su ispitivani validnost i pouzdanost novog testa ukazuju na to da *NMK* ima potencijal da bolje prikaže neuralnu aktivaciju kratkih maksimalnih akcija povezanih sa testovima opštih motoričkih sposobnosti, nego sa izometrijskim (IM) i da kada se uporede sa standardnim testovima, novi test bi mogao da pruži bolje načine za kvantifikovanje kvaliteta ispoljavanja sile specifične za brojne pokrete koje čine svakodnevne aktivnosti, kao i za važne pokrete, koji se sastoje iz kratkih, jednostavnih i cikličnih mišićih aktivnosti, ili pri korekciji položaja ili pokreta koji služe da bi se sprečile povrede (Bozic, Suzovic et al. 2011). Merne karakteristike testa potvrđene su na zdravim osobama (sportistima), a glavni nalazi su:

- *Visoka pouzdanost između ponavljanja u istom danu, i između ponavljanja u različitim danima*
- *Umerena do visoka konkurentna validnost i umerena eksterna validnost*
- *Varijable testa pokazuju relativno stabilne vrednosti kroz čitav opseg primenjenih frekvencija, kao i kroz spontano izabranu frekvenciju*



- *Varijable testa su osetljive u beleženju razlika između ispitanika sa različitom trenažnom istorijom*
- *Naizmenične maksimalne kontrakcije imaju potencijal da posluže kao alternativa standardnim testovima za procenu jačine.*

Potencijalna prednost ovog testa je da se pored standardne varijable  $F_{max}$  dobija i podatak o brzini razvoja sile (*BRS*) čime se dobija potpunija slika o funkcionalnim karakteristikama mišića. Takođe, sile koje se prilikom izođenja testa *NMK* razvijaju nešto su manjeg intenziteta u odnosu na sile koje se razvijaju prilikom standardnog izometrijskog testa, kao i to da su dovoljna dva eksperimentalna pokušaja, čime se značajno skraćuje vreme testiranja i izbegava izlaganje ispitanika dugotrajnim kontrakcijama kojima se razvija maksimalna sila. S obzirom da je opseg spontano izabranih frekvencija bio u okviru onih frekvencija koje su deo prirodnog kretanja čoveka, autori su došli od zaključka da se test zasnovan na *NMK* može primenjivati na spontano izabranoj frekvenciji.

I pored obećavajućih nalaza primene testa, istraživanja Suzovića i sar. (2008) i Božića i sar. (2011; 2012) bila su ograničena na evaluaciju primene testa kod zdravih, fizički aktivnih ispitanika, pri uglu u zglobu kolena koji favorizuje ispoljavanje maksimalnih mogućnosti opružača, ali ne i pregibača. Takođe, nije vršena procena međusobnog odnosa jačine antagonističkog para mišića (*OPO*), kao ni eventualnih razlika između kontralateralnih ekstremiteta (*RDJ*). Kako je cilj da se ovaj test razvije u jedan od standardnih testova za procenu neuromišićne funkcije, od posebnog je značaja ispitivanje mogućnosti njegove primene kod populacija koje imaju povrede lokomotornog aparata ili su podvrgnuti nekom trenažnom ili rehabilitacionom postupku.

## 2. PRELIMINARNO ISTRAŽIVANJE

U cilju dalje evaluacije novog testa, osmišljena su istraživanja kako bi se detaljnije ispitala mogućnost primene NMK kod kliničkih populacija kao što su sportisti sa povredom LCA, da bi se dodatno istražili problemi standardne procene jačine i eventualno našla rešenja za njihovo prevazilaženje. Pretpostavka da bi test zasnovan na *naizmeničnim maksimalnim kontrakcijama* (NMK) mogao da nadomesti neke od pomenutih nedostataka standardnih testova za procenu jačine (izokinetičkih i izometrijskih) najpre je proverena preliminarnim istraživanjem sa ciljem da se preliminarno ispituju karakteristike testa predloženog od Božića i sar. (2011) kada se primenjuje na sportistima koji se oporavljaju nakon rekonstrukcije LCA. Kao što je ranije navedeno, test je zasnovan na naizmeničnim maksimalnim kontrakcijama koje se izvode pri frekvencijama koje odgovaraju većini prirodnih kretanja čoveka. Preliminarno istraživanje podrazumevalo je probnu evaluaciju testa zasnovanog na *naizmeničnim maksimalnim kontrakcijama* (NMK) za procenu jačine nakon rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta (RLCA). U tekstu koji sledi ukratko su predstavljeni ciljevi, metode i najvažniji nalazi pomenutog istraživanja.

### 2.1 Preliminarna procena pouzdanosti, validnosti i osetljivosti testa zasnovanog na *naizmeničnim maksimalnim kontrakcijama* nakon rekonstrukcije LCA

#### 2.1.1. Uvod

Prvi korak u daljoj evaluaciji novog testa bio je sprovođenje probnog istraživanja sa ciljem preliminarne evaluacije testa zasnovanog na *naizmeničnim maksimalnim kontrakcijama* (NMK) u proceni mišićne funkcije nakon operacije prednjeg ukrštenog ligamenta. Kao što je već rečeno, test je zasnovan na naizmeničnom razvijanju kratkih izometrijskih kontrakcija mišića opružaća i pregibača pri frekvencijama koje generalno odgovaraju većini prirodnih kretanja čoveka (Suzovic, Nedeljkovic et al. 2008; Bozic, Suzovic et al. 2011; Bozic, Pazin et al. 2012). Obrazloženje za odabir testa zasnovano je na pretpostavci da je režim aktivacije mišića pri izvođenju NMK sličan režimu aktivacije tipičnom za veliki broj brzih i

cikličnih kretanja. Takođe, za razliku od standardnog izometrijskog testa, NMK omogućava istovremeno testiranje antagonističkog para mišića. Iako zbog izometrijskih uslova u kojima se izvodi, novi test ne omogućava korišćenje ciklusa izduženje-skraćenje, smatra se da naizmenične aktivacije agonista i antagonista mogu da uključe dodatne neurofiziološke mehanizme za koje se veruje da doprinose uspešnosti izvođenja cikličnih aktivnosti (za detalje pogledati uvod) (Bozic, Suzovic et al. 2011). Sa druge strane, ovaj test bi možda mogao da pruži bolje načine kvantifikacije neuromišićnih karakteristika sile u odnosu na standardne izokinetičke i izometrijske testove, kojima se, kako je ranije navedeno, zamera nedovoljna očigledna validnost i mala sličnost sa svakodnevnim aktivnostima.

Cilj ovog istraživanja bio je da se izvrši preliminarna evaluacija NMK testa za procenu mišićne funkcije nakon operacije prednjeg ukrštenog ligamenta.

Specifični ciljevi studije podrazumevali su:

- ispitivanje pouzdanosti zavisnih varijabli testa NMK između uzastopnih ponavljanja,
- ispitivanje razlika u zavisnim varijablama testa NMK između antagonističkog para mišića, odnosno operisane i zdrave noge,
- ispitivanje razlika u zavisnim varijablama testa IK između antagonističkog para mišića, odnosno operisane i zdrave noge,
- ispitivanje povezanosti između testova NMK i IK.

### 2.1.2. Metode

U ovom istraživanju korišćena su dva testa za procenu mišićne funkcije: *naizmenične maksimalne kontrakcije* izvedene spontano izabranom frekvencijom i standardni izokinetički test. Testom *naizmeničnih maksimalnih kontrakcija* (NMK) mereni su maksimalni moment sile mišića ( $M$ ) i maksimalna brzina razvoja momenta sile mišića ( $BRM$ ), dok su *izokinetičkim testom* (IK) mereni maksimalni moment sile mišića ( $M$ ) i snaga ( $S$ ) pri dve ugaone brzine ( $60^\circ/s$  i  $120^\circ/s$ ).

### **2.1.2.1. Uzorak ispitanika**

U preliminarnom istraživanju učestvovalo je 13 ispitanika (uzrast  $23 \pm 5$  godina; masa tela  $83 \pm 13$  kg; visina tela  $181 \pm 6$  cm; prikazano kao srednja vrednost  $\pm$  standardna devijacija) kod kojih je neuromišićna funkcija procenjena  $5 \pm 1$  meseci nakon rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta. Svi ispitanici su bili fizički aktivni (u okviru sportske grane ili redovne fizičke aktivnosti) pre povrede ligamenta. Nakon operacije, svi ispitanici bili su podvrgnuti istom rehabilitacionom protokolu u okviru obavezne fizikalne terapije koja je sprovedena na Institutu za ortopedsku hirurgiju i traumatologiju Kliničkog centra Srbije. Izuzev rupture prednjeg ukrštenog ligamenta, ispitanici nisu imali druge povrede koje su mogle uticati na rezultate testiranja.

### **2.1.2.2. Procedura testiranja**

Merenja u okviru ovog istraživanja sprovedena su u Metodičko-istraživačkoj laboratoriji Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu. Svaki ispitanik testiran je u dva odvojena dana. Prvog dana, ispitanici su testirani primenom IK testova, dok je drugog dana primenjen test NMK. Između prvog i drugog testiranja bila su dva dana pauze. Pre testiranja, svakom od ispitanika saopšteni su kompletni protokoli testiranja i mogući rizici od nastajanje povreda, nakon čega je sledio standardni protokol zagrevanja i rastezanja u trajanju od 10 min (stacionarni bicikl, vežbe rastezanja u mestu i skokovi). Svakom testu prethodilo je detaljno objašnjenje i po jedan probni pokušaj u cilju familijarizacije ispitanika sa testom. U toku familijarizacije ispitanici su izvodili 1 seriju sa 5 submaksimalnih ponavljanja za IK60 i IK120, i 2 serije po najmanje 5 ponavljanja za test NMK (za detalje videti tekst koji sledi). Nakon probnih pokušaja, za svaki od testova sledila su po 3 eksperimentalna pokušaja, koji su snimani za dalju analizu. Sva testiranja sproveo je jedan iskusan ispitivač.

### **2.1.2.3. Merni instrumenti**

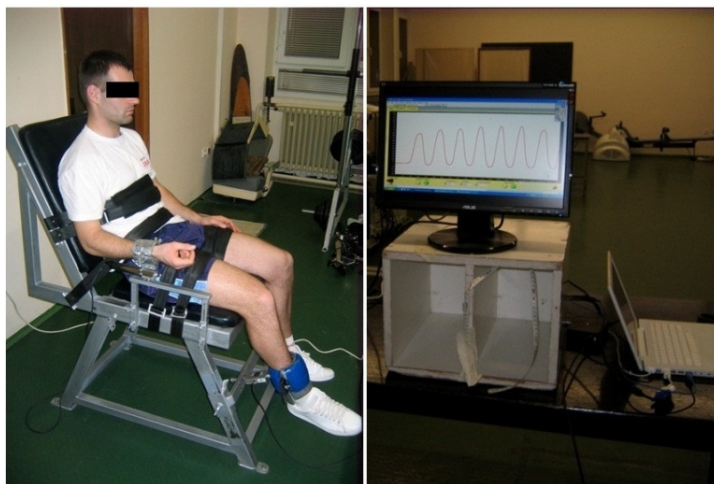
Izokinetička procena mišićne funkcije izvršena je pomoću izokinetičkog dinamometra tipa Kin-Com 125AP (Chatex, Chattanooga, TN, USA). Tokom testa, ispitanik je sedeo u stolici, a natkolenica, trup i ramena su bili čvrsto fiksirani pomoću kaiševa. Distalni deo potkolenice (neposredno iznad *malleolus lateralis*-a) je preko

manžetne bio fiksiran za polugu dinamometra, a osa rotacije poluge bila je poravnata sa centrom zgloba kolena (**Slika 2**).



**Slika 2.** Položaj ispitanika prilikom izvođenja testova na izokinetičkom dinamometru (Kin Com 125AP, Chattex Corp., Chattanooga, Tennessee, USA)

Test zasnovan na *NMK* izveden je na stolici koja je za tu svrhu posebno konstruisana (**Slika 3**).



**Slika 3.** Stolica za izvođenje testa zasnovanog na *naizmeničnim maksimalnim kontrakcijama* (preuzeto od Božić Predrag, doktorska disertacija, strana 36)

Natkolenica, trup i ramena ispitanika čvrsto su bili fiksirani pomoću kaiševa. Na distalni deo potkolenice, neposredno iznad *malleolus lateralis*-a, postavljena je manžetna koja je bila spojena krutom vezom sa kalibrisanom mernom sondom (Hottinger, tip S9, opseg  $\pm 10$  kN; linearnost bolja od 1 %, tenziona/kompresiona senzitivnost sile 2mV/N), tako da je ugao u zglobu kolena bio podešen na 60°. Merna sonda bila je povezana sa računarom za obradu signala preko AD konvertora. Ispitanik i ispitivač imali su mogućnost da na monitoru računara prate promene signala u realnom vremenu.

#### *Naizmenične maksimalne kontrakcije (NMK)*

Imajući u vidu nastojanje da se izvrši racionalizacija procedura testiranja, a zasnovano na zaključcima prethodnih istraživanja Božića i sar. (2011) odlučeno je da se test NMK izvodi pri spontano izabranom frekvenciji. Dakle, ispitanici su imali zadatak da naizmenično izvode maksimalne kontrakcije u smeru ekstenzije i fleksije u zglobu kolena (instrukcija: najjače i najbrže) u ritmu koji su sami odabrali tokom probnih pokušaja. Kao što je već napomenuto, ispitanicima je bila obezbeđena vizuelna povratna informacija u realnom vremenu. Naizmenične maksimalne kontrakcije obuhvatale su period od najmanje 5 punih ciklusa (ciklus je podrazumevao razvoj sile kontrahovanjem mišića opružača i pregibača). Merenja su ponavljena u situacijama kada sile i izvodi sila u vremenu nisu imali konzistentan oblik ili nisu odgovarali prvobitno izabranoj frekvenciji (kada se razlikuju više od 5 %).

#### *Izokinetički test jačine (IK)*

U ovom testu, ispitanici su imali zadatak da naizmenično izvode maksimalne kontrakcije u smeru ekstenzije i fleksije u zglobu kolena (instrukcija: najjače i najbrže) pri zadatoj i konstantnoj ugaonoj brzini. Test je izveden pri dve ugaone brzine (60°/s i 120°/s), prvo pri manjoj a onda pri većoj. Izokinetički testovi obuhvatali su period od 5 punih ciklusa (ciklus je podrazumevao razvoj sile kontrahovanjem mišića opružača i pregibača).

Prvo je testirana zdrava, a potom operisana noga. Pre svakog testa, ispitanik je imao probne pokušaje (dva za NMK i po jedan za IK60 i IK120), nakon čega su sledila

po 3 eksperimentalna pokušaja za svaki od testova. U dalju analizu uzeti su bolji pokušaji. Pauza između ponavljanja bila je 1 minut.

#### **2.1.2.4. Prikupljanje i obrada podataka**

U cilju prikupljanja i obrade podataka dobijenih iz testa NMK korišćena je aplikacija napravljena u LabVIEW programu (National Instruments Corporation, USA). Frekvencija uzimanja uzoraka bila je 500Hz, a dobijeni zapis (sila u vremenu) filtriran je primenom niskopropusnog Butterworth filtera četvrtog reda od 10 Hz (Bozic, Suzovic et al. 2011). Na osnovu razlika maksimalnih sila (dobijenih u smeru opružanja i pregibanja kolena) i minimalne sile dobijeni su *maksimumi sila* ( $F_{max}$ ) za opružače i pregibače u zglobu kolena. Takođe, za obe mišićne grupe dobijena je kriva brzine razvoja sile u vremenu (*BRS*), na osnovu računanja prvog izvoda dobijenih sila u vremenu. Varijable NMK dobijene su iz zapisa sile u funkciji od vremena, usrednjavanjem drugog, trećeg i četvrtog ciklusa. One su dalje preračunate u momente množenjem sile, odnosno *BRS*, sa krakom preko koga je sila ostvarena. Na taj način dobijeni su maksimalni moment sile ( $M$ ) i brzina razvoja momenta sile (*BRM*). Vizuelna povratna informacija u realnom vremenu bila je obezbeđena pomoću LabVIEW aplikacije. Varijable standardnog izokinetičkog testa jačine (IK) dobijene su direktno iz KinCom softvera koji daje zapis maksimalnog momenta sile i snage za obe mišićne grupe.

#### **2.1.2.5. Statistička analiza**

Osnovni deskriptivni pokazatelji (srednja vrednost [SV] i standardna devijacija [SD]) računati su za sve varijable.

Za procenu pouzdanosti između ponovljenih merenja neuromišićne funkcije primenom testa NMK ( $M$  i *BRM*) izračunat je intraklasni korelacioni koeficijent (ICC). Za proveru pouzdanosti ponovljenih merenja primenom testa IK ( $M$  i  $S$ ) korišćen je Pirsonov korelacioni koeficijent (Hopkins 2000). Apsolutna varijabilnost (unutar-individualna; eng. „within-individual”) procenjena je na osnovu koeficijenta varijacije – CV (Hopkins 2000). Za ispitivanje razlika između uzastopnih merenja u testu NMK korišćena je ANOVA za ponovljena merenja, dok je za ispitivanje razlika između ponovljenih pokušaja u IK testovima korišćen T test za zavisne uzorke.

Za ispitivanje razlika između mišićnih grupa, odnosno razlika između operisane i zdrave noge u zavisnim varijablama dobijenih u testu NMK korišćena je dvofaktorska analiza varijanse (ANOVA) 2 x 2 (noga [zdrava i operisana] x mišićna grupa [opružači i pregibači]). Za dodatnu procenu razlika među varijablama korišćen je test sa Bonferoni korekcijom.

Za ispitivanje razlika između mišićnih grupa, odnosno razlika između operisane i zdrave noge u zavisnim varijablama dobijenih u IK testovima, korišćena je dvofaktorska analiza varijanse (ANOVA) za ponovljena merenja 2 x 2 x 2 (noga [zdrava i operisana] x mišićna grupa [opružači i pregibači]) x ugaona brzina [60°/s i 120°/s]). Za dodatnu procenu razlika među varijablama korišćen test sa Bonferoni korekcijom.

Povezanost između varijabli dobijenih iz testova NMK i IK procenjena je na osnovu Pirsonovog koeficijenta korelacije.

Određeno je da prag značajnosti statističkih nalaza bude na nivou poverenja od  $p = 0.05$ . Svi statistički testovi su računati korišćenjem softvera SPSS 17.0 (SPSS Inc, Chicago, IL) i Office Excel 2007 (Microsoft Corporation, Redmond, WA).

### 2.2.3. Rezultati

Osnovni deskriptivni pokazatelji ( $SV \pm SD$ ) kao i podaci o pouzdanosti zavisnih varijabli testova NMK i IK između uzastopnih ponavljanja prikazani su u tabelama 1 i 2. Varijable dobijene iz NMK pokazale su visoku pouzdanost (**Tabela 1**). Koeficijenti korelacije bili su između 0.91 i 0.98. Pri tome, značajne razlike između uzastopnih ponavljanja zabeležene su jedino između *M* pregibača operisane noge, dok za ostale varijable nisu utvrđene razlike između uzastopnih merenja ( $p > 0.05$ ).

**Tabela 2** prikazuje osnovne deskriptivne pokazatelje za uzastopna merenja testom IK pri ugaonoj brzini od 60°/s i 120°/s, kao i podaci o pouzdanosti tih merenja. I pored visokih korelacija između merenja (koeficijenti korelacije bili su između 0.88 i 0.99), sistematske razlike ( $p < 0.05$ ) zabeležene su za momente sile opružača zdrave i operisane noge, kao i za snagu obe mišićne grupe zdrave noge.



Varijable merene IK testom pri ugaonoj brzini od 120°/s pokazale su visoku pouzdanost (koeficijenti korelacije su bili od 0.95 do 0.99) i pri tome nisu zabeležene sistematske razlike između uzastopnih pokušaja ( $p > 0.05$ ).

**Tabela 1.** Osnovni deskriptivni pokazatelji (prikazani kao srednja vrednost i SD) i podaci o pouzdanosti momenta sile i brzine razvoja momenta sile dobijenih primenom testa *naizmeničnih maksimalnih kontrakcija*

		<b>Mišićna</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>					
<b>Noga</b>		<b>grupa</b>	<b>SV ± SD</b>	<b>SV ± SD</b>	<b>SV ± SD</b>	<b>SV ± SD</b>	<b>F</b>	<b>CV %</b>	<b>ICC</b>	<b>IP 95%</b>
<b>M (Nm)</b>	ZDR	<i>Ext</i>	216 ± 45	217 ± 51	216 ± 51	216 ± 49	0.48	7.3	0.92	0.82-0.96
		<i>Flx</i>	64 ± 25	63 ± 24	60 ± 22	62 ± 24	0.42	14.2	0.91	0.80-0.96
	OPER	<i>Ext</i>	163 ± 47	165 ± 50	166 ± 41	165 ± 46	0.47	6.1	0.95	0.98-0.99
		<i>Flx</i>	59 ± 15	64 ± 18	59 ± 18	61 ± 17	4.09*	9.2	0.94	0.86-0.97
<b>BRM (Nm/s)</b>	ZDR	<i>Ext</i>	1545 ± 506	1544 ± 467	1518 ± 523	1537 ± 499	0.07	8.8	0.94	0.86-0.97
		<i>Flx</i>	1869 ± 743	1902 ± 723	1861 ± 802	1878 ± 757	1.47	12.3	0.92	0.82-0.96
	OPER	<i>Ext</i>	1325 ± 498	1408 ± 518	1347 ± 481	1360 ± 500	0.07	6.4	0.96	0.98-0.99
		<i>Flx</i>	1588 ± 705	1640 ± 734	1612 ± 752	1613 ± 730	1.07	7.8	0.98	0.95-0.99

SV – srednja vrednost; SD – standardna devijacija; CV – koeficijent varijacije; ICC – intraklasni koeficijent korelacije; IP 95% – interval pouzdanosti; ZDR – zdrava noga; OPER – operisana noga; *Ext* – opružać; *Flx* – pregibač.

\* - značajna razlika između ponovljenih merenja na nivou  $p < 0.05$

**Tabela 2.** Osnovni deskriptivni pokazatelji (prikazani kao srednja vrednost i standardna devijacija) i podaci o pouzdanosti momenta sile i snage dobijenih primenom izokinetičkog testa pri ugaonoj brzini od 60°/s (IK60) i 120°/s (IK120)

Varijabla	Noga	Mišićna grupa	1 SV ± SD	2 SV ± SD	SV ± SD	T test	CV %	ICC	IP 95%
M (Nm) IK60	ZDR	<i>Ext</i>	157 ± 33	150 ± 35	154 ± 34	2.30*	6.6	0.93	0.85-0.97
		<i>Flx</i>	108 ± 25	106 ± 23	107 ± 24	1.09	5.4	0.97	0.93-0.99
	OPER	<i>Ext</i>	124 ± 31	119 ± 30	122 ± 31	2.49*	4.4	0.99	0.98-1.00
		<i>Flx</i>	94 ± 23	91 ± 26	93 ± 25	1.44	7.2	0.95	0.87-0.98
S (W) IK60	ZDR	<i>Ext</i>	10 ± 21	97 ± 24	99 ± 23	1.43	9.5	0.88	0.73-0.95
		<i>Flx</i>	62 ± 17	58 ± 19	60 ± 19	2.43*	8.4	0.96	0.92-0.98
	OPER	<i>Ext</i>	73 ± 25	66 ± 21	70 ± 23	2.33*	11.9	0.93	0.85-0.97
		<i>Flx</i>	48 ± 18	46 ± 17	47 ± 17	1.23	9.9	0.96	0.92-0.98
M (Nm) IK120	ZDR	<i>Ext</i>	122 ± 28	122 ± 28	122 ± 28	0.62	2.3	0.99	0.98-1.00
		<i>Flx</i>	90 ± 24	92 ± 24	91 ± 24	-0.73	4.8	0.98	0.96-0.99
	OPER	<i>Ext</i>	101 ± 32	102 ± 30	101 ± 31	-0.31	6.1	0.98	0.96-0.99
		<i>Flx</i>	83 ± 25	84 ± 27	84 ± 26	-0.27	10.5	0.95	0.88-0.98
S (W) IK120	ZDR	<i>Ext</i>	120 ± 30	120 ± 29	120 ± 29	1.17	3.8	0.98	0.95-0.99
		<i>Flx</i>	89 ± 34	92 ± 32	90 ± 33	-0.34	12.3	0.95	0.85-0.98
	OPER	<i>Ext</i>	110 ± 37	114 ± 35	112 ± 36	-1.22	8.3	0.97	0.93-0.99
		<i>Flx</i>	84 ± 27	84 ± 25	84 ± 26	-1.08	4.3	0.98	0.96-0.99

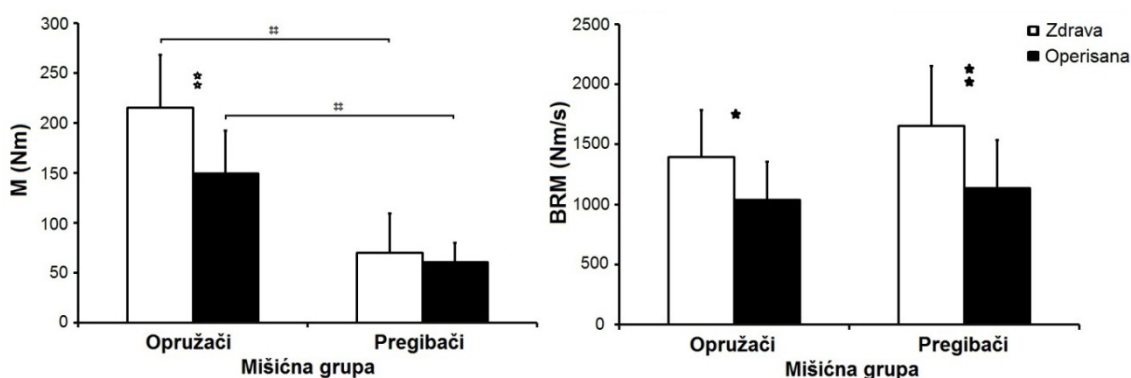
SV – srednja vrednost; SD – standardna devijacija; CV – koeficijent varijacije; ICC – intraklasni koeficijent korelacije; IP 95% – interval pouzdanosti;

ZDR – zdrava noga; OPER – operisana noga ; *Ext* – opružać; *Flx* – pregibač.

\* - razlike između ponovljenih merenja značajne na nivou  $p < 0.05$

Rezultati analize osetljivosti varijabli testova NMK i IK grafički su prikazani na slikama 3 i 4 (svi podaci su prikazani kao srednja vrednost i standardna devijacija). **Slika 4** prikazuje varijable dobijene iz testa NMK. Pri tome, na levom panelu slike prikazani su momenti sile ( $M$ ) za opružače i pregibače zdrave (prikazano belim stubićima) i operisane noge (prikazano crnim stubićima). Razlike u  $M$  opružača zdrave i operisane noge bile su značajne ( $p < 0.01$ ). Takođe, značajne razlike dobijene su i između opružača i pregibača zdrave ( $p < 0.01$ ), odnosno operisane noge ( $p < 0.01$ ).

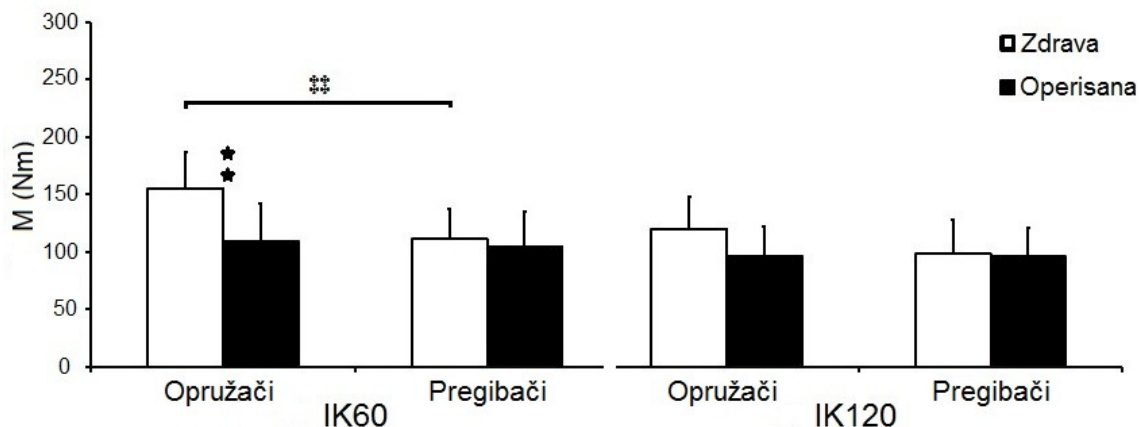
**Slika 4** (desni panel) prikazuje i vrednosti brzine razvoja momenta sile ( $BRM$ ). Dobijene su značajne razlike između opružača i pregibača i zdrave i operisane noge. Međutim, razlike u  $BRM$  između opružača i pregibača nisu bile značajne ni kod zdrave ni kod operisane noge ( $p > 0.05$ ).



**Slika 4.** Maksimalni moment sile  $M$  (Nm) i brzina razvoja momenta sile  $BRM$  (Nm/s) opružača i pregibača u zglobu kolena zdrave i operisane noge, dobijeni izvođenjem NMK. \*\* - razlike između mišića zdrave i operisane noge značajne na nivou  $p < 0.01$ ; \* - razlike između mišića zdrave i operisane noge značajne na nivou  $p < 0.05$ ; †† razlike između opružača i pregibača značajne na nivou  $p < 0.01$

Na **Slika 5** prikazane su srednje vrednosti maksimalnih momenata sile dobijenih izvođenjem standardnog izokinetičkog testa jačine pri ugaonim brzinama od 60 i 120°/s (IK60 i IK120). Iako je pri obe ugaone brzine moment sile mišića opružača zdrave noge bio veći nego kod operisane, razlike su bile značajne samo pri manjoj brzini. Između momenata sila mišića pregibača zdrave i operisane noge nisu dobijene značajne razlike,

bez obzira na brzinu pokreta. Kao što se na slici može videti, razlike između opružača i pregibača bile su značajne samo pri manjoj ugaonoj brzini, i to kod zdrave noge.



**Slika 5.** Maksimalni moment sile  $M$  (Nm) opružača i pregibača u zglobu kolena zdrave i operisane noge, dobijeni izvođenjem IK različitim ugaonim brzinama

Pokazatelji povezanosti varijabli dobijenih iz testa *naizmeničnih maksimalnih kontrakcija* i izokinetičkih testova prikazani su u **Tabela 3**. Korelacije između  $M$  dobijenih iz NMK i IK testova uglavnom su umerene, dok su korelacije između  $BRM$  i  $S$  bile umerene do visoke.

**Tabela 3.** Koeficijenti korelacije između odgovarajućih varijabli testa NMK i varijabli testa IK

		Opružači		Pregibači	
		Zdrava	Operisana	Zdrava	Operisana
<b>M - M</b>	IK60	0.72 **	0.46	0.51 *	0.62 **
	IK120	0.49	0.75 **	0.76 **	0.66 **
<b>BRM -S</b>	IK60	0.96 **	0.62 **	0.56 **	0.61 **
	IK120	0.84 **	0.87 **	0.72 **	0.57 **

\* - značajna povezanost između varijabli na nivou  $p < 0.05$ ;

\*\* - značajna povezanost između varijabli na nivou  $p < 0.01$

#### 2.2.4. Nalazi i zaključci istraživanja

Cilj ovog istraživanja bio je da se kroz ispitivanje razlika između antagonističkog para mišića, zdrave i operisane noge, kao i kroz procenu povezanosti rezultata testa NMK sa rezultatima IK testova, izvrši preliminarna evaluacija testa zasnovanog na *naizmeničnim maksimalnim kontrakcijama* kada se koristi u proceni neuromišićne funkcije nakon operacije prednjeg ukrštenog ligamenta.

Dobijeni nalazi sugerišu da su NMK (iako na prvi pogled izgledaju složenije za izvođenje u odnosu na IK, zbog specifičnosti u pogledu režima i načina izvođenja) kod svih ispitanika izvedene relativno lako već posle samo jednog probnog pokušaja. To, zajedno sa visokom pouzdanosti između ponovljenih merenja doprinosi smanjenju broja probnih, ali i eksperimentalnih pokušaja i povećanju efikasnosti merenja.

Rezultati ovog preliminarnog istraživanja sugerišu da bi varijable dobijene primenom testa NMK mogle da budu osetljive u beleženju razlika u mišićnoj funkciji između antagonističkog para mišića, odnosno između zdrave i operisane noge. Dobijeni nalazi sugerišu da bi u budućim istraživanjima NMK mogle da postanu deo standardne baterije testova za procenu neuromišićne funkcije sportista i rekonvalescenata. Još jedna prednost ovog testa je da se tokom njegovog izvođenja simulira obrazac aktivacije mišića koji je karakterističan za većinu cikličnih kretanja i time povećava očigledna validnost procene neuromišićne funkcije, što je jedan od velikih nedostataka standardnih testova za procenu jačine.

U prethodnim istraživanjima (Suzovic, Nedeljkovic et al. 2008; Bozic, Suzovic et al. 2011; Bozic, Pazin et al. 2012) navodi se da su varijable testa NMK uslovno zasnovane na silama koje su nešto niže od maksimalnih izometrijskih sila, kao i da se na osnovu tih submaksimalnih NMK sila može izvršiti visoko pouzdana predikcija maksimalne mišićne sile (Suzovic, Nedeljkovic et al. 2008; Bozic, Suzovic et al. 2011), što bi moglo da bude prednost u odnosu na standardne testove jačine (pre svega izometrijske), čime bi se mogla isključiti potreba za njihovom primenom. Međutim u ovom preliminarnom istraživanju test NMK nije poreden sa standardnim izometrijskim testom (IM) već samo sa izokinetičkim testovima (IK60 i IK120). Pri tome vrednosti momenata sile dobijene iz NMK bile su veće u odnosu na vrednosti  $M$  koji su ostvareni

u IK testovima. Razlozi za to bi mogli biti obrazac aktivacije mišića prilikom izvođenja NMK koji je, u odnosu na izokinetičke kontrakcije, približniji brzim i cikličnim aktivacijama mišića, kao i ugao u zglobu kolena u kome je primenjen test NMK (60° u fleksiji), a koji favorizuje ispoljavanje maksimalnog momenta sile mišića opružaća, ali ne i pregibača.

Rezultati preliminarnog istraživanja ukazuju da bi test zasnovan na NMK mogao da bude osetljiv u beleženju razlika u neuromišićnim karakteristikama između operisane i zdrave noge. Takođe, rezultati prethodnih istraživanja i ovog preliminarnog istraživanja sugerišu da bi test zasnovan na naizmeničnim maksimalnim kontrakcijama mogao da bude razvijen u standardni test za procenu neuromišićne funkcije nakon rekonstrukcije LCA.

Na osnovu ovih nalaza proistekle su implikacije za naredna istraživanja i primenu novog testa. Kako se pomoću NMK istovremeno vrši procena mišićne funkcije antagonističkog para mišića, sledi da je neophodno ispitati uticaj različitih uglova u zglobu kolena na ispoljavanje jačine opružaća i pregibača, odnosno određivanje ugla koji bi omogućio da obe mišićne grupe razviju momente sile koji su bliski njihovim maksimalnim vrednostima. Pošto se planira primena ovog testa u praćenju oporavka mišićne funkcije sportista nakon rekonstrukcije LCA, neophodno je ispitati i osnovne metrijske karakteristike NMK, koje se tiču njegove pouzdanosti, spoljašnje i konkurentne validnosti, kao i procenu osetljivosti longitudinalnim praćenjem postoperativnog oporavka mišićne funkcije nakon rekonstrukcije LCA.

### 3. PROBLEM, PREDMET I CILJ ISTRAŽIVANJA

*Problem* istraživanja je merenje jačine kod pacijenata koji se oporavljaju nakon rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta kolena. Formulisan je u odnosu na nedostatke izokinetičkih i izometrijskih testova koji se standardno koriste za procenu neuromišićne funkcije nakon povrede LCA, a koji podrazumevaju: dugotrajne protokole testiranja, maksimalne kontrakcije relativno dugog trajanja, pojavu zamora, malu do umerenu spoljašnju validnost, kao i nisku očiglednu validnost.

*Predmet* istraživanja je novi test za procenu neuromišićne funkcije zasnovan na *naizmeničnim maksimalnim kontrakcijama*, odnosno mogućnost njegove primene u proceni neuromišićne funkcije ispitanika sa povredom LCA.

*Cilj* istraživanja odnosi se na evaluaciju testa zasnovanog na *naizmeničnim maksimalnim kontrakcijama* (NMK) kada se koristi u proceni neuromišićne funkcije nakon rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta (LCA), koja je obuhvatila upoređivanje sa *izokinetičkim* (IK) i *izometrijskim testom* (IM) u pogledu pouzdanosti, validnosti i osetljivosti za procenu i praćenje postoperativnog oporavka.

Na osnovu opšteg cilja istraživanja planirani su i sprovedeni sledeći eksperimenti:

1. Određivanje ugla u zglobu kolena za izvođenje testa zasnovanog na *naizmeničnim maksimalnim kontrakcijama* - Eksperiment 1.
2. Pouzdanost, validnost i osetljivost testa zasnovanog na *naizmeničnim maksimalnim kontrakcijama* u praćenju oporavka nakon rekonstrukcije LCA - Eksperiment 2.
3. *Naizmenične maksimalne kontrakcije* u ispitivanju razlika u neuromišićnoj funkciji tokom oporavka nakon rekonstrukcije LCA - Eksperiment 3.



### **3.1. Određivanje ugla u zglobu kolena za izvođenje testa zasnovanog na naizmeničnim maksimalnim kontrakcijama**

U studiji „Određivanje ugla u zglobu kolena za izvođenje testa zasnovanog na naizmeničnim maksimalnim kontrakcijama” postavljeni su sledeći ciljevi i hipoteze:

Cilj 1.1: Odrediti ugao za primenu NMK koji omogućava da pregibači i opružači razviju sile bliske njihovim maksimalnim vrednostima, a koji je pri tome bezbedan i za primenu u ranoj fazi oporavka nakon rekonstrukcije LCA:

Hipoteza 1.1: Definisani ugao za izvođenje NMK nalaziće se u intervalu uglova u zglobu kolena od 30 do 60 stepeni, u kojima pregibači, odnosno opružači, ispoljavaju maksimalne sile.

Cilj 1.2:  $OPO$  dobijene kod zdravih ispitanika primenom NMK pri prethodno određenom uglu, uporediti sa eksperimentalno određenim  $OPO_{eksp}$  koji je dobijen na osnovu odnosa ove varijable i zglobnog ugla.

Hipoteza 1.2: Odnos jačine antagonističkog para mišića zdravih ispitanika ( $OPO$ ) biće u granicama eksperimentalno određenog odnosa ( $OPO_{eksp}$ ) koji odgovara uglu za primenu testa NMK.

### **3.2. Pouzdanost, validnost i osetljivost testa zasnovanog na naizmeničnim maksimalnim kontrakcijama u proceni oporavka nakon rekonstrukcije LCA**

U studiji „Pouzdanost, validnost i osetljivost testa zasnovanog na naizmeničnim maksimalnim kontrakcijama u proceni oporavka nakon rekonstrukcije LCA“ postavljeni su sledeći ciljevi i hipoteze:

Cilj 1: Ispitati pouzdanost testa zasnovanog na NMK za procenu neuromišićne funkcije nakon rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta.

Hipoteza 2.1: NMK su pouzdano sredstvo za procenu neuromišićne funkcije nakon rekonstrukcije LCA.

Cilj 2: Ispitati validnost testa zasnovanog na NMK za procenu neuromišićne funkcije nakon rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta.

Hipoteza 2.2: NMK su validno sredstvo za procenu neuromišićne funkcije nakon rekonstrukcije LCA.

Cilj 3: Ispitati osetljivost testa zasnovanog na NMK za testiranje razlika u jačini testiranih mišićnih grupa između zdrave i operisane noge.

Hipoteza 2.3: NMK će pokazati razlike u neuromišićnoj funkciji testiranih mišićnih grupa između operisane i zdrave noge.

### **3.3. *Naizmenične maksimalne kontrakcije u ispitivanju razlika u neuromišićnoj funkciji tokom oporavka nakon rekonstrukcije LCA***

U studiji „*Naizmenične maksimalne kontrakcije u ispitivanju razlika u neuromišićnoj funkciji tokom oporavka nakon rekonstrukcije LCA*” postavljeni su sledeći ciljevi i hipoteze:

Cilj 3: Ispitati primenjivost testa zasnovanog na NMK u praćenju postoperativnog oporavka nakon rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta.

Hipoteza 3.1: NMK će detektovati promene u relativnim razlikama u jačini testiranih mišićnih grupa između operisane i zdrave noge, a koje su povezane sa napredovanjem oporavka.

Hipoteza 3.2 NMK će detektovati promene u međusobnom odnosu jačine antagonističkog para mišića (*OPO*) operisane noge, a koje su povezane sa napredovanjem oporavka.

Testiranjem hipoteza postavljenih u ove tri studije biće omogućen dalji razvoj testa zasnovanog na NMK u jedan od standardnih testova za procenu neuromišićne funkcije i praćenje oporavka nakon povrede/rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta. Od posebne važnosti je upoređivanje NMK sa standardnim izokinetičkim i izometrijskim testovima. Pri tome će se utvrditi da li NMK mogu bar podjednako dobro da kvantifikuju kvalitet ispoljavanja sile tipične za svakodnevne pokrete i kretanja, a

koja je od presudnog značaja za obezbeđivanje aktivne stabilnosti zglobova i zaštitu pasivnih stabilizatora pri naglim zaustavljanjima, promenama pravca kretanja, ili pak korekciji položaja.

## **4. EKSPERIMENT 1: Određivanje ugla u zglobu kolena za primenu testa zasnovanog na *naizmeničnim maksimalnim kontrakcijama* (NMK)**

### **4.1. Uvod**

Preliminarni rezultati procene neuromišićne funkcije testom zasnovanim na *naizmeničnim maksimalnim kontrakcijama* kod sportista sa rekonstrukcijom LCA pokazali su da bi NMK mogao da bude pouzdan i osetljiv u beleženju razlika u neuromišićnim karakteristikama između operisane i zdrave noge. Dobijeni nalazi sugerišu da bi NMK mogao da postane standardni test za procenu neuromišićne funkcije nakon operacije LCA, kao alternativni izokinetičkim i standardnim izometrijskim testovima. Važna prednost ovog testa je da se tokom njegovog izvođenja simulira režim rada mišića koji je karakterističan za većinu cikličnih kretanja i time povećava očigledna validnost procene neuromišićne funkcije, a što je inače jedan od velikih nedostataka izokinetičkih i izometrijskih testova.

Ranije je pomenuto da se uparenost antagonista, odnosno balans jačine pregibača i opružača izražava preko odnosa pregibač/opružač (*OPO*). Kada se izometrijski testovi koriste u praćenju oporavka mišićne funkcije nakon povrede LCA, izbor ugla u zglobu kolena značajno može uticati na vrednosti pomenutog odnosa. Generalna preporuka je da se izometrijski testovi sporovode u onom zglobnom uglu u koji omogućava ispoljavanje maksimalnog momenta sile testiranog mišića, kako bi se smanjio varijabilitet u ispoljenoj sili, koji je povezan sa malim greškama pri određivanju i izboru ugla (Sale 1991). Međutim, izbor takvog ugla ne mora nužno biti optimalan u smislu njegove povezanosti sa dinamičkim performansama i što je važnije, uparivanja momenata sile antagonističkog para mišića, kao što je to slučaj sa pregibačima i opružačima u zglobu kolena. Promena veličine ugla u zglobu kolena utiče na promenu dužine mišićnih vlakana, čime se menja i nivo sposobnosti mišića pregibača i opružača da razviju maksimalni moment sile. Uparivanje (eng. coupling) momenata sile verovatno će se takođe menjati sa promenom dužine mišićnih vlakana, što će posledično

uticati na kapacitet mišića antagonista da stabilizuju zglob kolena (Osternig, Ferber et al. 2001).

U dosadašnjoj evaluaciji NMK, neuromišićna funkcija opružaća i pregibača procenjivana je u položaju koji odgovara uglu od 60°. Međutim, prema relaciji sila-dužina, pregibači i opružaći razvijaju maksimalne momente sile pri dužinama mišića koje odgovaraju određenim uglovima u zglobu kolena, ~30° u fleksiji za pregibače i ~60° u fleksiji za opružaće (Dvir 1995; Hakkinen, Newton et al. 1998; Osternig, Ferber et al. 2001; Knezevic and Mirkov 2011), što znači da ranije korišćeni ugao za primenu NMK favorizuje ispoljavanje maksimalne sile opružaća, ali ne i pregibača. Iz tog razloga, postoji mogućnost da bi međusobni odnos u jačini pregibača i opružaća (*OPO*) verovatno bio niži nego bi pri nekom drugom uglu, pa u tom slučaju ne bi prikazivao stvarni kapacitet ova dva mišića da stabilizuju koleno.

Kako bi se stvorili uslovi da oba mišića ispolje moment sile koji je blizak njihovim maksimalnim vrednostima, neophodno je odrediti ugao u zglobu kolena koji bi bio adekvatan za primenu testa NMK kod kliničkih populacija, kao što su sportisti sa povredom LCA. U dosadašnjim istraživanjima, vrednost *OPO* bila je u opsegu od 0.3-0.8 (Osternig, James et al. 1999; Osternig, Ferber et al. 2001; Kadija 2010), u zavisnosti od izabranog ugla u zglobu kolena prilikom procene jačine mišića. Iz tog razloga *OPO* je varijabilan, pa je neophodno biti obazriv pri odabiru ugla u kome se *OPO* računa da bi mogla da se prati njegova promena tokom rehabilitacije, uporedo sa promenama apsolutnih vrednosti maksimalnih sila opružaća i pregibača, odnosno njihovim deficitima u odnosu na odgovarajuće mišiće zdrave noge.

Imajući u vidu sve što je prethodno navedeno, cilj ovog istraživanja bio je da se ispita uticaj različitih uglova u zglobu kolena na ispoljavanje jačine opružaća i pregibača zdravih ispitanika, odnosno da se odredi ugao za primenu NMK kada se koristi u proceni oporavka nakon rekonstrukcije LCA, a pri kome bi obe mišićne grupe razvijale jednake relativne sile u odnosu na njihove maksimume. To bi dalje omogućilo „eksperimentalno“ određivanje *OPO* maksimalnih momenata merenih u tom uglu. S obzirom da je ovaj test kasnije korišćen za procenu mišićne funkcije sportista sa povredom i rekonstrukcijom LCA, drugi cilj ovog eksperimenta bio je da se ispita

validnost eksperimentalnog *OPO* odnosa (koji odgovara uglu određenom za dalju primenu NMK).

## **4.2. Metode**

Za potrebe ovog istraživanja, neuromišićna funkcija procenjena je primenom testa *naizmeničnih maksimalnih kontrakcija*, pri čemu je merena sila ostvarena pri različitim uglovima u zglobu kolena. Analiza je obuhvatila određivanje ugla u zglobu kolena za primenu testa *naizmeničnih maksimalnih kontrakcija*, kao i ispitivanje promena u funkciji antagonističkog para mišića sa promenom veličine ugla u zglobu kolena. Takođe, u ovoj studiji ispitana je validnost esperimentalno određenog odnosa jačine antagonističkog para mišića ( $OPO_{eksp}$ ) koji odgovara izabranom uglu za primenu testa NMK.

### **4.2.1. Uzorak ispitanika**

Za potrebe ispitivanja prvog cilja ovog istraživanja uzorak ispitanika činilo je 20 studenata Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja (Eksperimentalna grupa; starost  $24 \pm 4$ , masa tela  $81 \pm 8$ kg, visina tela  $182 \pm 6$  cm), bez prethodnog iskustva u izvođenju testova za procenu mišićne funkcije. Naknadno, radi realizacije drugog cilja istraživanja, testirano je 15 ispitanika (Kontrolna grupa; starost  $23 \pm 2$  godine; masa tela  $80.8 \pm 8.5$  kg; visina tela  $181.6 \pm 6.5$  cm), takođe studenata Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja, bez prethodnog iskustva u izvođenju testova za procenu neuromišićne funkcije. Svi ispitanici bili su zdravi, umereno fizički aktivni, bez neuroloških poremećaja i povreda lokomotornog aparata. Pre početka istraživanja, ispitanici su bili detaljno upoznati sa protokolom istraživanja, nakon čega su su potpisali formular kojim su potvrdili saglasnost za učešće u studiji (Prilog 1). Niko od ispitanika nije prijavio povredu ili neke zdravstvene probleme, i svi su uspešno završili učešće u istraživanju. Studija je odobrena odlukom Etičkog komiteta Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu (Prilog 2).

#### 4.2.2. Tok i postupci istraživanja

Ova studija realizovana je u dve odvojene sesije. U prvoj sesiji testirana je Eksperimentalna grupa, a u drugoj sesiji Kontrolna grupa. Sva merenja u okviru ovog istraživanja su sprovedena u Metodičko-istraživačkoj laboratoriji Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu. Svaki ispitanik testiran je u jednom danu. Prvo su izmerene visina i masa tela, a potom je izvršena procena neuromišićne funkcije primenom testa NMK.

Testiranjima je prethodio standardni protokol zagrevanja u trajanju od 10 minuta, koji je uključivao zagrevanje na stacionarnom biciklu, vežbe rastezanja u mestu i skokove. Svakom testu je prethodilo detaljno objašnjenje i po jedan probni pokušaj u cilju familijarizacije ispitanika sa testom. Sva testiranja je sproveo jedan iskusan ispitivač.

#### 4.2.3. Uzorak varijabli

Prvu grupu činile su varijable morfološkog statusa: Visina tela i Masa tela.

Drugu grupu činile su direktno merene varijable za procenu neuromišićne funkcije u izometrijskim uslovima:

- *Naizmenične maksimalne kontrakcije* (spontano izabrana frekvencija) – Maksimalni momenti sila mišića opružača i pregibača u zglobu kolena ( $M_{ext}$  i  $M_{flx}$ ) pri uglovima od 20°, 40°, 60° i 80°.

- *Naizmenične maksimalne kontrakcije* (spontano izabrana frekvencija) – Maksimalni momenti sila mišića opružača i pregibača u zglobu kolena ( $M_{ext}$  i  $M_{flx}$ ) pri prethodno određenom uglu u zglobu kolena.

Treću grupu činile su izvedene varijable za procenu neuromišićne funkcije u izometrijskim uslovima:

- *Naizmenične maksimalne kontrakcije* (spontano izabrana frekvencija) – međusobni odnos maksimalnih momenata sila mišića

pregibača i opružača u zglobu kolena dominantne noge (*OPO*) pri uglovima od 20°, 40°, 60° i 80°.

- *Naizmenične maksimalne kontrakcije* (spontano izabrana frekvencija) - eksperimentalni odnos maksimalnih momenata sila mišića pregibača i opružača u zglobu kolena (*OPO<sub>eksp</sub>*)

- *Naizmenične maksimalne kontrakcije* (spontano izabrana frekvencija) – međusobni odnos maksimalnih momenata sila mišića pregibača i opružača u zglobu kolena dominantne i nedominantne noge (*OPO<sub>dom</sub>* i *OPO<sub>ndom</sub>*) pri prethodno određenom uglu u zglobu kolena.

#### **4.2.4. Morfološki status**

Procena morfološkog statusa ispitanika izvršena je na osnovu podataka dobijenih merenjem visine i mase tela. Tokom svih merenja ispitanici su bili u šortsu.

##### *Visina tela*

Visina tela izmerena je antropometrom po Martinu, čija je tačnost merenja 0,1 cm. Tokom merenja visine ispitanik je bio u standardnom stojećem stavu na čvrstoj i ravnoj podlozi. Stopala su bila sastavljena, a pete, sedalna regija i gornji deo leđa dodirivali su antropometar. Glava se nalazila u položaju Frankfurtske ravni pri tome ne dodirujući skalu antropometra (Norton, Marfell-Jones et al. 2000).

##### *Masa tela*

Masa tela izmerena je vagom čija je tačnost merenja 0,1 kg. Vaga je bila prethodno kalibrisana.

#### **4.2.5. Procena neuromišićne funkcije**

Za izvođenje testa za procenu neuromišićne funkcije korišćen je izokinetički dinamometar tipa Kin-Com 125AP (Chatex, Chattanooga, TN, USA). Tokom testa, ispitanik je sedeo u stolici, a natkolenica, trup i ramena su bili čvrsto fiksirani pomoću kaiševa. Distalni deo potkolenice (neposredno iznad *malleolus lateralis*-a) je preko



manžetne bio fiksiran za polugu dinamometra, a osa rotacije poluge bila je poravnata sa centrom zgloba kolena.

#### *Naizmenične maksimalne kontrakcije (NMK)*

Za potrebe ispitivanja prvog cilja istraživanja, ispitanici iz Eksperimentalne grupe imali su zadatak da izvode naizmenične maksimalne kontrakcije mišića opružaća i pregibača u zglobu kolena (instrukcija: najjače i najbrže) u ritmu koji su sami izabrali. Ispitanici su tokom merenja imali vizuelnu povratnu informaciju u realnom vremenu. Dužina trajanja naizmeničnih maksimalnih kontrakcija obuhvatala je period od 5 punih ciklusa (ciklus je podrazumevao razvoj sile kontrahovanjem mišića opružaća i pregibača). Merenja su ponovljena u slučajevima kada sile i izvodi sila u vremenu nisu pokazivale konzistentan oblik ili dok nisu dobijena dva zapisa koja se nisu razlikovala više od 5 % od prvobitno odabrane frekvencije. Test je bio primenjen u četiri različita ugla u zglobu kolena (20°, 40°, 60° i 80°), prema slučajnom redosledu.

Testirana je samo dominantna noga (noga kojom ispitanik šutira loptu). Nakon probnih pokušaja, sledila su po 2 eksperimentalna pokušaja, koji su snimani za dalju analizu. U dalju analizu uzet je bolji pokušaj. Pauza između ponavljanja bila je jedan minut.

Za potrebe realizacije drugog cilja istraživanja, ispitanici (Kontrolna grupa) su imali zadatak da izvode *naizmenične maksimalne kontrakcije* mišića opružaća i pregibača u zglobu kolena, ali je u ovom slučaju neuromišićna funkcija ispitivana pri uglu u zglobu kolena koji je određen na osnovu prethodno prikupljenih podataka (45°).

Testirane su obe noge, prvo dominantna noga, a potom nedominantna. Nakon jednog probnog pokušaja, sledila su 2 eksperimentalna pokušaja, koji su snimani za dalju analizu. U dalju analizu uzet je bolji pokušaj. Pauza između ponavljanja bila je jedan minut.

#### **4.2.6. Prikupljanje i obrada podataka**

Za potrebe prikupljanja i obrade dobijenih podatak korišćena je aplikacija napravljena u LabVIEW programu (National Instruments Corp. Austin, TX, USA). Na osnovu razlika maksimalnih sila (dobijenih u smeru opružanja i pregibanja kolena) i

minimalne sile (koja se računa za prvih 200 tačaka; frekvencija zapisivanja 500 Hz) dobijeni su maksimumi sila za mišiće opružače i pregibače u zglobu kolena. Varijable NMK dobijene su usrednjavanjem drugog, trećeg i četvrtog ciklusa (**Slika 6**). Tokom merenja, ispitanicima je bila obezbeđena vizuelna povratna informacija pomoću iste LabVIEW aplikacije koja je korišćena za prikupljanje i obradu podataka. Maksimalni momenti sile ( $M$ ) dobijeni su množenjem sile, odnosno njihovih izvoda u vremenu, sa krakom preko koga je sila ostvarena.

#### ***4.2.6.1. Izračunavanje ugla za primenu NMK i određivanje eksperimentalnog odnosa jačine pregibača i opružača***

Maksimalni momenti sile bili su relativizovani u odnosu na maksimalno postignuti moment (kod svakog ispitanika, za odgovarajuću mišićnu grupu, određeno je pri kom uglu je ispoljen maksimalni moment sile kome je bila dodeljena vrednost jedan, a potom su vrednosti postignute pri ostalim uglovima podeljene sa tom maksimalnom vrednošću). Tako dobijene relativne vrednosti, usrednjene su i interpolirane polinomom drugog reda odvojeno za svaku mišićnu grupu, čime su dobijene krive (za opružače i pregibače) čiji presek je predstavljao ugao u kome su relativne jačine ove dve mišićne grupe bile jednake.

Za svakog ispitanika i za svaki ugao u zglobu bio je izračunat i  $OPO$  koji predstavlja količnik momenata sila mišića pregibača i opružača (**Jednačina 3**):

**Jednačina 3.** Izračunavanje odnosa jačine pregibača i opružača u zglobu kolena ( $OPO$ ):

$$OPO = \frac{M_{pregibač}}{M_{opružač}}$$

Kao i za momente sile, dobijene vrednosti su zatim usrednjene i interpolirane polinomom drugog reda kako bi se odredila vrednost  $OPO$  koji odgovara prethodno izračunatom uglu u kome su relativne jačine opružača i pregibača bile jednake.

#### 4.2.7. Statistička analiza

Osnovni deskriptivni pokazatelji (srednja vrednost [SV] i standardna devijacija [SD]) izračunati su za sve varijable.

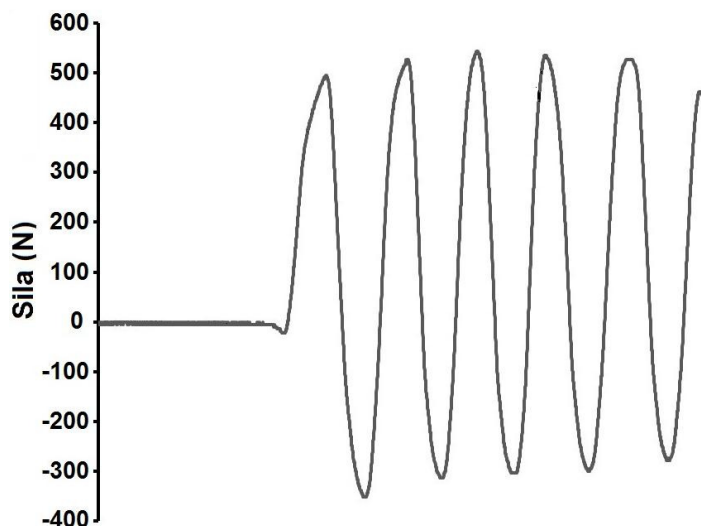
Dvofaktorska analiza varijanse (ANOVA) za ponovljena merenja (2 x 4; faktori: mišićna grupa [opružači i pregibači] x ugao u zglobu [20°, 40°, 60° i 80°]) primenjena je za ispitivanje razlika između varijabli mišićnog testa *NMK*. Naknadne analize za dodatnu procenu razlika između mišićnih grupa urađene su primenom testa sa Bonferoni korekcijom.

Za procenu razlika između eksperimentalno određenog *OPO* i *OPO* dominantne, odnosno nedominantne noge, urađen je T test za nezavisne uzorke, odvojeno za svako od poređenja. Takođe, T test za nezavisne uzorke korišćen je za procenu razlika između *OPO* dominantne i nedominantne noge.

Određeno je da prag značajnosti statističkih nalaza bude na nivou poverenja od  $p = 0.05$ . Svi statistički testovi računati su korišćenjem SPSS 17.0 softvera (SPSS Inc, Chicago, IL) i Office Excel 2007 (Microsoft Corporation, Redmond, WA).

#### 4.3. Rezultati

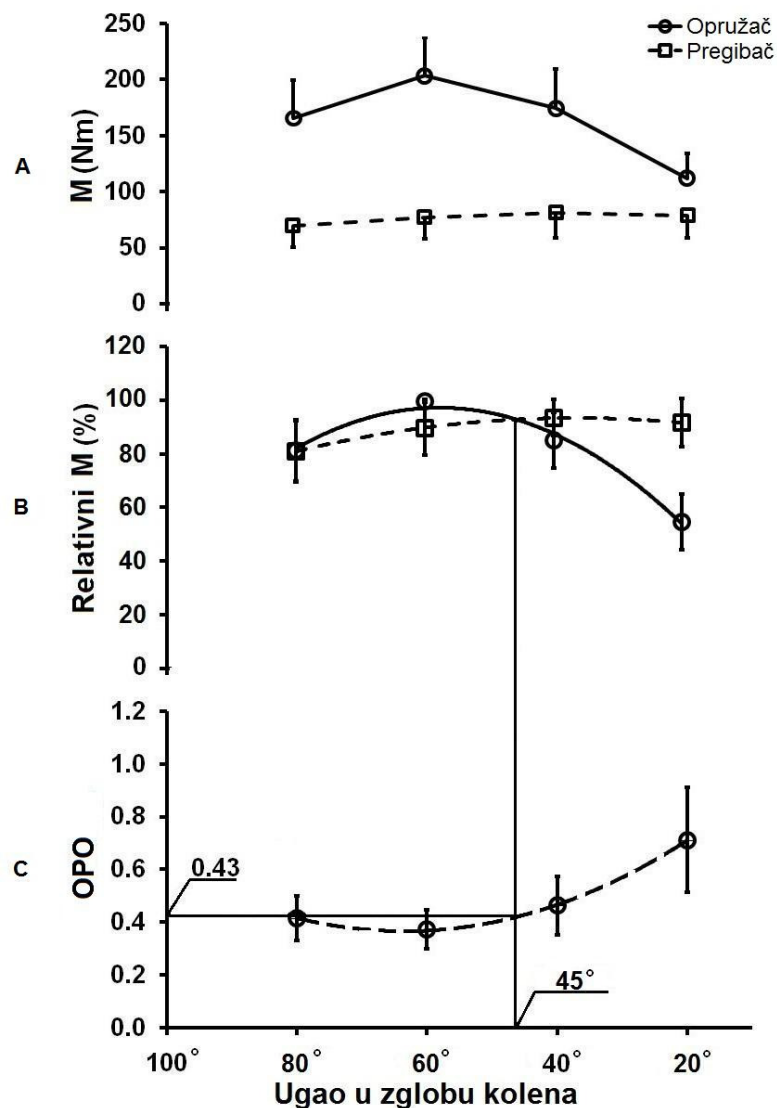
Na tipičnom zapisu sile u vremenu dobijen u testu *NMK* (**Slika 6**) može se uočiti da su tokom jednog pokušaja vrednosti mišićnih sila i opružača i pregibača bile relativno stabilne. Test *NMK* je izvođen sa uputstvom da se radi „najjače i najbrže“ naizmeničnim angažovanjem antagonističkog para mišića, samoizabranom frekvencijom, koja je u proseku iznosila 1.29 Hz (opseg 0.93-1.51Hz).



**Slika 6.** Profil sile dobijen izvođenjem testa *naizmeničnih maksimalnih kontrakcija* izvedenog samoizabranom frekvencijom, koji je zabeležen pri testiranju tipičnog ispitanika Eskperimentalne grupe. Pozitivne vrednosti odgovaraju aktivnosti opružača, a negativne aktivnosti pregibača u zglobu kolena.

**Slika 7A** prikazuje usrednjene vrednosti momenata sile opružača i pregibača, ostvarene u zadatim uglovima u zglobu kolena. Rezultati ukazuju na značajan efekat faktora mišić ( $F_{1,38} = 143.7$ ;  $p < 0.001$ ), faktora ugao u zglobu kolena ( $F_{3,114} = 59.7$ ;  $p < 0.001$ ) kao i na interakciju ova dva faktora ( $F_{3,114} = 62.8$ ;  $p < 0.001$ ). Moment sile opružača je bio viši nego kod pregibača i dobijene su značajne razlike kza sve uglove. Kada su urađena poređenja unutar mišićnih grupa, dodatni test sa Bonferroni korekcijom je pokazao da je  $M$  opružača dobijen u uglu od  $60^\circ$  bio značajno veći od momenata dobijenih u ostalim uglovima. Takođe, vrednosti momenta sile pri uglovima od  $40$  i  $80^\circ$  su bile značajno veće od  $M$  dobijenog pri uglu od  $20^\circ$ . Kod pregibača nisu uočene značajne razlike između momenata sile dobijenih pri različitim uglovima u zglobu kolena.

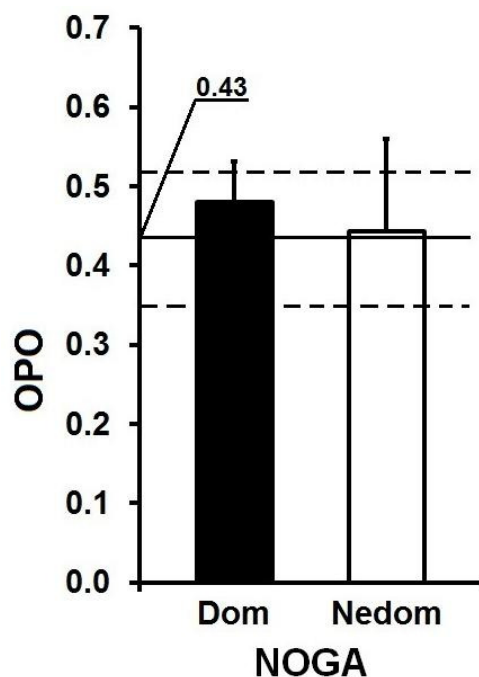
Dobijeni momenti sile opružača i pregibača, pretvoreni su u relativne vrednosti momenata sile (najvećem  $M$  zabeleženom u jednom od 4 ugla u zglobu kolena dodeljena je vrednost od 100%; **Slika 7B**). Tako dobijene relativne vrednosti usrednjene su i interpolirane polinomom drugog reda čime su dobijene krive (opružači i pregibači) koje se međusobno presecaju pri uglu od  $45^\circ$ . U ovom uglu relativne jačine ove dve mišićne grupe bile su za 7.2% niže od njihovih maksimalnih momenata sile. Dobijenom uglu od  $45^\circ$  odgovarao  $OPO$  čija je vrednost 0.43 (interval pouzdanosti 0.11; **Slika 7C**).



**Slika 7.** Određivanje ugla za primenu testa NMK i odgovarajućeg *OPO*. Slika a) apsolutne vrednosti momenata ( $M$ ) opružaća i pregibača dobijenih u različitim uglovima u zglobu kolena. Slika b) relativizovani momenti opružaća i pregibača. Slika c) *OPO* dobijeni u različitim uglovima i eksperimentalni *OPO* koji odgovara izračunatom uglu.

Za ispitivanje validnosti eksperimentalnog odnosa jačine opružaća i pregibača ( $OPO_{\text{eksp}}$ ), 15 zdravih i fizički aktivnih ispitanika (Kontrolna grupa) testirano je primenom NMK u prethodno određenom uglu (45°). Frekvencija izvođenja NMK kod dominantne noge bila je  $1.26 \pm 0.19$  Hz, a kod nedominantne noge  $1.23 \pm 0.19$  Hz, pri čemu između njih nije bilo značajnih razlika ( $T = 0.18$ ;  $p > 0.05$ ).

Kao što se može primetiti, odnos jačine antagonističkog para mišića dominantne i nedominantne noge ispitanika iz Kontrolne grupe ( $0.49 \pm 0.09$  za dominantnu nogu i  $0.44 \pm 0.12$  za nedominantnu nogu) nalazi se u granicama intervala pouzdanosti (95%)  $OPO_{eksp}$  koji odgovara prethodno određenom uglu za primenu testa NMK (Slika 8).



**Slika 8.**  $OPO$  dominantne (dom) i nedominantne (nedom) noge dobijeni primenom testa NMK pri uglu u zglobu kolena od  $45^\circ$ . Puna linija označava nivo eksperimentalnog  $OPO$ , dok isprekidane linije označavaju standardne devijacije.

Rezultati T -testa ukazuju da između  $OPO$  dobijenih testiranjem dominantne, odnosno nedominantne noge i eksperimentalnog  $OPO$  nema značajnih razlika (Tabela 4). Značajne razlike nisu uočene ni između  $OPO$  dominantne i nedominantne noge.

**Tabela 4.** Rezultati poređenja eksperimentalnog  $OPO$  i  $OPO$  dobijenih testiranjem dominantne i nedominantne noge

$OPO$	T	p	df
$OPO_{Dom} - OPO_{Eksp}$	14.69	0.15	31
$OPO_{Ndom} - OPO_{Eksp}$	0.29	0.77	32
$OPO_{Dom} - OPO_{Ndom}$	0.93	0.36	29

T- t test; p – nivo verovatnoće; df – broj stepeni slobode

## 4.4. Diskusija

Osnovni ciljevi Eksperimenta 1 bili su da se odredi ugao u zglobu kolena za primenu testa zasnovanog na naizmeničnim maksimalnim kontrakcijama, kao i eksperimentalni odnos jačine pregibača i opružača ( $OPO_{eksp}$ ) koji tom uglu odgovara. Na kraju, bilo je neophodno da se ispita validnost varijabli dobijenih pri datom uglu.

Zavisnost testova koji su zasnovani na izometrijskom režimu rada mišića od ugla u zglobu u kome se vrši procena mišićne funkcije poznata je još od ranije (Abernethy, Wilson et al. 1995; Wilson and Murphy 1996; Jaric 2002; Jaric, Radosavljevic-Jaric et al. 2002). Rezultati ove studije pokazali su da je kroz ceo opseg uglova u kojima je NMK testiran, opružač ispoljio veće momente sile u odnosu na pregibače. Zavisnost momenta sile mišića od položaja u zglobu kolena (relacija sila-dužina) bila je značajno izražena kod opružača, ali ne i kod pregibača (**Slika 7**). Najveći  $M$  opružača dobijen je pri uglu od  $60^\circ$ , što je u skladu sa nalazima prethodnih studija u kojima je ispitivana zavisnost sile ovog mišića od ugla u zglobu kolena (Sale 1991; Wilson and Murphy 1996; Abernethy, Hanrahan et al. 2005; Yoo, Jeong et al. 2010). Kod pregibača najveći  $M$  dobijen je pri uglu od  $40^\circ$ , no i vrednosti dobijene pri susednim uglovima bile su vrlo slične maksimalnim. Sa smanjenjem ugla u zglobu kolena i približavanju punoj ekstenziji, mogla se uočiti blaga ali ne i značajna tendencija povećanja vrednosti  $M$  pregibača. Ovakav nalaz ukazuje na to da moment sile značajno zavisi ne samo od ugla u zglobu, već i od toga koji se mišić testira.

Izračunati ugao za izvođenje NMK ( $45^\circ$ ), kao što je i očekivano, nalazio se u sredini intervala uglova od  $30^\circ$  do  $60^\circ$ , u kojima pregibači, odnosno opružači, ispoljavaju maksimalni momente sile, čime je ispoštovana očigledna validnost koja se odnosi na dužine tih mišića. Pored toga izračunati ugao se nalazi u opsegu uglova koji se mogu smatrati bezbednim (od  $30^\circ$  do  $90^\circ$ ) za primenu kod osoba koje se oporavljaju nakon rekonstrukcije LCA (RLCA) (Beynnon, Johnson et al. 2005; Kadija 2010; Dubljanin-Raspopovic, Kadija et al. 2011). U literaturi koja se bavi praćenjem rehabilitacije nakon RLCA sa aspekta biomehaničke analize opterećenja ovog ligamenta tokom aktivacije opružača i pregibača u različitim pokretima i položajima u zglobu kolena, navodi se da LCA trpi najveća opterećenja u uglovima koji su manji od  $30^\circ$  (Beynnon, Johnson et al.

2005). Naime, pri položajima koji odgovaraju malim i velikim fleksionim uglovima u zglobu kolena dolazi do izraženog naprezanja LCA, posebno u pokretima koji se odvijaju u otvorenom kinetičkom lancu, pri čemu se, u zavisnost od smera pokreta, javljaju velike sile prednjeg ili zadnjeg smicanja tibije u odnosu na femur. Te sile su značajno manje u uglovima koji su veći od  $40^\circ$  pa se oni smatraju bezbednim za primenu prilikom procene mišićne funkcije kod osoba sa RLCA, posebno u ranoj fazi oporavka (između 8. i 12. nedelje oporavka) (Risberg, Lewek et al. 2004; Dubljanin-Raspopovic, Kadija et al. 2011).

Ispitivanje validnosti eksperimentalno određenog odnosa jačine pregibača i opružača ( $OPO_{eksp}$ ) koji odgovara uglu za primenu testa NMK, pokazalo je da se  $OPO$  dominantne (0.48) i nedominantne noge (0.44) ispitanika Kontrolne grupe nalazio u intervalu pouzdanosti (95%)  $OPO_{eksp}$  (za detalje videti **Slika 8**). Dobijene vrednosti ova tri  $OPO$  nalazile su se u opsegu vrednosti izometrijskih  $OPO$  koje su navedene u ranijim istraživanjima (0.3-0.8) (Dvir 1995; Aalbersberg, Kingma et al. 2009; Zemach, Almoznino et al. 2009; Kadija, Knezevic et al. 2010). Veliki varijabilitet u rezultatima studija u kojima su izometrijski testovi korišćeni za procenu uravnoteženosti jačine pregibača i opružača, mogao bi biti objašnjen time da je izometrijska procena jačine vršena u različitim uglovima u zglobu kolena.

Kao potencijalni nedostatak ove studije mogao bi se navesti mali broj uglova duž opsega pokreta (četiri) koji su odabrani za određivanje odgovarajućeg ugla za primenu NMK kod LCA populacije. Ipak, ovi uglovi pokrivaju one položaje za koje je u prethodnim istraživanjima pokazano da odgovaraju dužinama mišića pri kojima oni ispoljavaju maksimalne vrednosti momenata sile ( $\sim 30^\circ$  za pregibače i  $\sim 60^\circ$  za opružače). Dalje, ostalo je nepoznato da li promena ugla u zglobu kolena utiče i na druge varijable koje se mogu dobiti iz NKM (brzina razvoja sile i relativni deficit jačine). Konkretnije rečeno, ostalo je nepoznato da li BRS, kao i moment sile, zavisi od ugla i mišića koji se testira, odnosno da li kontralateralni ekstremiteti najveće momente sile ispoljavaju pri različitim uglovima. U tom slučaju, i relativni deficit jačine varirao bi sa promenom dužine mišića. Takođe, važno pitanje koje bi trebalo istražiti primenom elektromiografskih metoda (EMG) tiče se procene nivoa aktivacije, a posebno nivoa koaktivacije pregibača i opružača pri različitim uglovima, s obzirom da se tokom NMK



u okviru istog pokušaja naizmenično aktiviraju oba mišića. Zbog takvog obrasca aktivacije, vrednost NMK sile mogla bi biti zasnovana na mišićnoj koaktivaciji agonista i antagonista u većoj meri nego što je to slučaj u standardnim izometrijskim testovima. Podsećanja radi, mehanizam koaktivacije pregibača pri kontrakciji opružača značajan je za zaštitu ligamenta, jer smanjuje opterećenje na LCA i sprečava prednju translaciju tibije u odnosu na femur.

U prethodnim istraživanjima u kojima je vršena evaluacija NMK (Bozic, Suzovic et al. 2011; Bozic, Pazin et al. 2012) nije uzeta u obzir relacija sila-dužina mišića, kao ni činjenica da odabrani ugao nije pogodan za ispoljavanje maksimalne jačine pregibača, već samo opružača, a upravo je testiranje dva antagonistička mišića u okviru jednog pokušaja jedan od glavnih argumenata za primenu ovog testa. Na osnovu rezultata dobijenih u prvoj sesiji ovog eksperimenta, za dalje izvođenje NMK određen je ugao od  $45^\circ$ , koji je pored toga i bezbedan za primenu NMK kod osoba koje se oporavljaju nakon povrede ili rekonstrukcije LCA. U ovom zglobnom uglu vrednosti momenata sile pregibača i opružača su za isti procenat niže (7.2%) od njihovih maksimalnih vrednosti. Testiranjem Kontrolne grupe, dokazana je je validnost eksperimentalnog  $OPO_{eksp}$  koji datom uglu odgovara, na osnovu čega se zaključuje da bi se test NMK primenjen u izračunatom uglu nadalje mogao koristiti u praćenju oporavka mišićne funkcije nakon povreda ili rekonstrukcije LCA.

## **5. EKSPERIMENT 2: Pouzdanost, validnost i osetljivost testa zasnovanog na *naizmeničnim maksimalnim kontrakcijama* u proceni oporavka nakon rekonstrukcije LCA**

### **5.1. Uvod**

Ruptura prednjeg ukrštenog ligamenta (lat. *ligamentum cruciatum anterior*, LCA) jedna je od najučestalijih povreda povezanih sa fizičkim aktivnostima (Kvist, Karlberg et al. 2001). Brojna istraživanja (Kannus 1988; Hiemstra, Webber et al. 2004; Lautamies, Harilainen et al. 2008; Hartigan, Zeni et al. 2012) ukazala su na izraženu povezanost između jačine opružaća u zglobu kolena i pozitivnog ishoda u pogledu indeksa oporavka nakon rekonstrukcije LCA. Promene u mišićnoj funkciji tokom rehabilitacije najčešće se prate primenom standardnih izokinetičkih protokola testiranja (IK) (Ostenberg, Roos et al. 1998; Keays, Bullock-Saxton et al. 2001; Kvist, Karlberg et al. 2001).

Iako se IK protokoli mogu smatrati za standardni metod za procenu neuromišićne funkcije nakon rekonstrukcije LCA, izometrijski testovi se takođe primenjuju, naročito u situacijama kada se iz određenih razloga izokinetički dinamometar ne može koristiti. Stoga, novi test zasnovan na izometrijskim *naizmeničnim maksimalnim kontrakcijama* (NMK) nedavno je predložen kao alternativan standardnom izokinetičkom i izometrijskom testu za procenu jačine (Suzovic, Nedeljkovic et al. 2008; Bozic, Suzovic et al. 2011; Bozic, Pazin et al. 2012). Test NMK zasnovan je na izometrijskim kontrakcijama koje se izvode naizmenično, angažovanjem antagonističkog para mišića (npr. opružaća i pregibača). Kao što je ranije navedeno, osnovni razlog za izbor ovog testa je da potencijalno ima sličan obrazac aktivacije mišića kao kod brzih i cikličnih pokreti, za razliku od dugotrajnih kontrakcija kojima se razvija maksimalna sila a koje su karakteristične za standardne izometrijske i izokinetičke testove (Suzovic, Nedeljkovic et al. 2008). U poređenju sa standardnim izometrijskim testom (IM), NMK može imati nekoliko metodoloških

prednosti, kao što su kratka procedura testiranja antagonističkog para mišića u samo jednom pokušaju, pri čemu mišiće i vezivna tkiva izlaže relativno nižim i kratkotrajnim naprezanjima i ne dovodi do pojave zamora (Bozic, Suzovic et al. 2011).

Osnovni cilj primene testova jačine (IK i IM) je procena maksimalnog momenta sile mišića povredene/zdrave noge nakon povrede ili rekonstrukcije LCA (Dvir 1995; Shelbourne and Gray 1997; Keays, Bullock-Saxton et al. 2001), koji se dostiže nakon dugotrajnih mišićnih kontrakcija, trajanja 3-5 s. Ova varijabla dalje se koristi za procenu razlike u jačini između operisane i zdrave noge, kao i za procenu uravnoteženosti u jačini između pregibača i opružača (Moisala, Jarvela et al. 2007; Myer, Paterno et al. 2008; Kadija, Knezevic et al. 2010; Knezevic and Mirkov 2011). Ranije je pomenuto da se razlika u jačini između operisane i zdrave noge izražava kao relativni deficit jačine (*RDJ* – za detalje videti stranu 12) koji predstavlja procentualnu razliku u jačini između nogu. Pored toga, stepen uravnoteženosti u jačini između pregibača i opružača procenjuje se preko tzv. *OPO* (za detalje videti stranu 12) koji predstavlja odnos u jačini između dva antagonistička mišića koji su važni za stabilizaciju zgloba kolena (Coombs and Garbutt 2002; Holcomb, Rubley et al. 2007; Moisala, Jarvela et al. 2007).

Test zasnovan na NMK do sada je evaluiran na zdravim, fizički aktivnim ispitanicima. Dobijeni rezultati ukazuju na visoku pouzdanost, umerenu do visoku konkurentsku i spoljašnju validnost, kao i osetljivost koja omogućava beleženje razlika između pojedinaca sa različitim trenažnim stažom i tipom aktivnosti (Suzovic, Nedeljkovic et al. 2008; Bozic, Suzovic et al. 2011). Takođe, urađena je i preliminarna evaluacija NMK na manjoj grupi sportista u toku njihovog oporavka nakon rekonstrukcije LCA (Preliminarno istraživanje; za detalje pogledati stranu 20). Rezultati preliminarnog istraživanja ukazuju da test može da ima dobre merne karakteristike kada se koristi u proceni mišićne funkcije u toku oporavka nakon rekonstrukcije LCA (RLCA). Međutim, neophodna je dalja evaluacija NMK s obzirom da su za primenu kod pojedinaca sa RLCA bila potrebna određena metodološka prilagođavanja vezana za određivanje adekvatnog ugla za izvođenje NMK (Eksperiment 1).

Da bi test mogao da se koristi u praćenju promena u neuromišićnoj funkciji sportista nakon rekonstrukcije LCA; neophodno je ispitati osnovne metrijske karakteristike NMK. Iz tog razloga, glavni cilj Eksperimenta 1 bio je da se ispituju

pouzdanost, kokurentska i spoljašnja validnost NMK. S obzirom na metodološke prednosti ovog testa u odnosu na standardni izometrijski i izokinetičke testove, poslednji cilj ove studije bio je da se ispita osetljivost varijabli NMK za beleženje neuravnoteženosti i deficita u mišićnoj funkciji kao posledica rekonstrukcije LCA. Značaj istraživanja ogleda se u ispitivanju mogućnosti NMK da bude alternativni test standardnim testovima za praćenje oporavka kod kliničkih populacija.

## **5.2. Metode**

U ovom istraživanju, neuromišićna funkcija procenjena je primenom tri testa: *naizmeničnih maksimalnih kontrakcija, standardnog izokinetičkog testa i standardnog izometrijskog testa*, pri čemu je meren maksimalni moment sile (*M*). Analiza je obuhvatila ispitivanje povezanosti i sistematskih razlika između podataka dobijenih u uzastopnim ponavljanjima, kao i ispitivanje povezanosti između varijabli tri testa mišićne funkcije (konkurentska validnost). Spoljašnja validnost ovih testova ispitana je u odnosu na test *skok udalj jednom nogom*. Takođe, u ovom istraživanju ispitana je i osetljivost NMK za beleženje razlika u neuromišićnoj funkciji između zdrave i operisane noge, odnosno između antagonističkog para mišića.

### **5.2.1. Uzorak ispitanika**

Uzorak je činilo 15 ispitanika (starost  $22 \pm 4$  godine; masa tela  $84.0 \pm 11.1$  kg; visina tela  $180.3 \pm 4.0$  cm) kod kojih je neuromišićna funkcija procenjena 4 meseca nakon rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta kolena. U istraživanje su bili uključeni ispitanici muškog pola koji su pre povrede bili fizički aktivni (aktivni sportisti). Nakon operacije, svi ispitanici bili su podvgnuti istom rehabilitacionom protokolu u okviru obavezne fizikalne terapije koja je sprovedena u Institutu za ortopedsku hirurgiju i traumatologiju Kliničkog centra Srbije. Kriterijumi za uključivanje ispitanika u istraživanje bili su: ruptura prednjeg ukrštenog ligamenta, bez pratećih konkurentnih povreda ili neuroloških poremećaja koji bi mogli uticati na rezultate testiranja. Pored toga, ispitanici su bili uključeni u studiju samo ukoliko nakon završetka programa fizikalne terapije nisu osećali bol, nisu imali otok u predelu kolena, i ako su dobili dozvolu ortopedskog hirurga i fizijatra da mogu da započnu sa trenažnim procesom u okviru njihove sportske grane. Pre testiranja svakom od ispitanika saopšteni

su kompletni protokoli testiranja i mogući rizici za nastajanje povreda, nakon čega su potpisali formular kojim su potvrdili saglasnost za učešće u studiji (Prilog 1). Niko od ispitanika nije prijavio povredu ili zdravstvene probleme, i svi su uspešno završili učešće u istraživanju. Studija je bila odobrena odlukom Etičkog komiteta Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu (Prilog 2).

### 5.2.2. Tok i postupci istraživanja

Merenja u okviru ovog istraživanja sprovedena su u Metodičko-istraživačkoj laboratoriji Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu. Svaki ispitanik testiran je u dva odvojena dana, u isto vreme u toku dana. Prvog dana merena je visina i masa tela, i izvedena su prva dva testa za procenu neuromišićne funkcije, a prema slučajnom izboru (NMK i IM ili IK60 i IK180). Drugog dana izvedena su preostala dva testa za procenu neuromišićne funkcije (NMK i IM ili IK60 i IK180) i funkcionalni test za procenu stabilnosti zgloba kolena skok udalj jednom nogom (SDJN).

Između testiranja napravljena je pauza u trajanju od dva do tri dana. Testiranjima je prethodilo detaljno upoznavanje ispitanika sa protokolima testiranja i standardni protokol zagrevanja u trajanju od 10 minuta koje je podrazumevalo zagrevanje na stacionarnom biciklu, vežbe rastezanja u mestu i skokove. U cilju familijarizacije ispitanika sa testovima, svakom testu prethodio je po jedan probni pokušaj. Sva merenja je realizovao jedan iskusan ispitivač.

### 5.2.3. Uzorak varijabli

Prvu grupu činile su varijable morfološkog statusa: Visina tela i Masa tela.

Drugu grupu činile su direktno merene varijable za procenu neuromišićne funkcije u izometrijskim i izokinetičkim uslovima i varijable za procenu stabilnosti zgloba kolena:

- *Naizmenične maksimalne kontrakcije* – Maksimalni momenti sile mišića opružača i pregibača u zglobu kolena ( $M_{ext}$  i  $M_{flx}$ )

- Izometrijski test jačine – Maksimalni momenti sile mišića opružaća i pregibača u zglobu kolena ( $M_{ext}$  i  $M_{flx}$ )

- Izokinetički test jačine – Maksimalni momenti sile mišića opružaća i pregibača u zglobu kolena ( $M_{ext}$  i  $M_{flx}$ ) pri ugaonim brzinama od  $60^\circ/s$ , i  $180^\circ/s$ .

- Skok udalj jednom nogom – Prosečna dužina skoka zdravom, odnosno operisanom nogom ( $SDJN_{zdr}$  i  $SDJN_{op}$ ).

Treću grupu činile su izvedene varijable za procenu neuromišićne funkcije u izometrijskim, odnosno izokinetičkim uslovima:

- *Naizmenične maksimalne kontrakcije* – Međusobni odnos maksimalnih momenata sila mišića pregibača i opružaća u zglobu kolena zdrave i operisane noge ( $OPO_{zdr}$  i  $OPO_{op}$ ).

- Izometrijski test jačine – Međusobni odnos maksimalnih momenata sila mišića pregibača i opružaća u zglobu kolena zdrave i operisane noge ( $OPO_{zdr}$  i  $OPO_{op}$ ).

- Izokinetički test jačine – Međusobni odnos maksimalnih momenata sila mišića pregibača i opružaća u zglobu kolena zdrave i operisane noge ( $OPO_{zdr}$  i  $OPO_{op}$ ) pri ugaonim brzinama od  $60^\circ/s$ , i  $180^\circ/s$ .

- *Naizmenične maksimalne kontrakcije* – Relativni deficit jačine mišića opružaća, odnosno pregibača, između operisane i zdrave noge ( $RDJ_{ext}$  i  $RDJ_{flx}$ ).

- Izometrijski test jačine – Relativni deficit jačine mišića opružaća, odnosno pregibača, između operisane i zdrave noge ( $RDJ_{ext}$  i  $RDJ_{flx}$ ).

- Izokinetički test jačine – Relativni deficit jačine mišića opružaća, odnosno pregibača, između operisane i zdrave noge ( $RDJ_{ext}$  i  $RDJ_{flx}$ ) pri ugaonim brzinama od  $60^\circ/s$ , i  $180^\circ/s$ .

#### 5.2.4. Morfološki status

Procena morfološkog statusa ispitanika izvršena je na osnovu podataka dobijenih merenjem visine i mase tela. Tokom svih merenja ispitanici su bili u šortsu.

##### *Visina tela*

Visina je merena na isti način kao što je opisano u metodama Eksperimenta 1 (za više detalja pogledati stranu 42).

##### *Masa tela*

Masa tela je merena na isti način kao što je opisano u metodama Eksperimenta 1 (za više detalja pogledati stranu 42).

#### 5.2.5. Procena neuromišićne funkcije

Za izvođenje testova za procenu neuromišićne funkcije korišćen je izokinetički dinamometar tipa Kin-Com 125AP (Chatex, Chattanooga, TN, USA). Tokom testa, ispitanik je sedeo u stolici, a natkolenica, trup i ramena bili su čvrsto fiksirani pomoću kaiševa. Distalni deo potkolenice (neposredno iznad *malleolus lateralis*-a) je preko manžetne bio fiksiran za polugu dinamometra, a osa rotacije poluge bila je poravnata sa centrom zgloba kolena.

##### *Naizmenične maksimalne kontrakcije (NMK)*

U ovom testu ispitanici su imali zadatak da naizmenično izvode maksimalne kontrakcije mišića opružača i pregibača u zglobu kolena (instrukcija: najjače i najbrže) u ritmu koji su sami izabrali (samoizabrana frekvencija). Za razliku od testa opisanog u Eksperimentu 1, u ovom je test NMK bio primenjen pri uglu u zglobu kolena od 45°, a koji je određen na osnovu rezultata dobijenih u Eksperimentu 1. Kao što je već napomenuto u Preliminarnom istraživanju, ispitanicima je bila obezbeđena vizuelna povratna informacija u realnom vremenu. Dužina trajanja *naizmeničnih maksimalnih kontrakcija* obuhvatala je period od najmanje 5 punih ciklusa (ciklus je podrazumeva razvoj sile kontrahovanjem mišića opružača i pregibača). Merenja su ponovljena u slučajevima kada sile i izvodi sila u vremenu nisu pokazivale konzistentan oblik ili dok

nisu dobijena dva zapisa koja se nisu razlikovala više od 5 % od prvobitno odabrane frekvencije.

#### *Izometrijski test jačine (IM)*

U izometrijskom testu, ispitanici su imali zadatak da na manžetnu dinamometra ostvare maksimalnu silu što je moguće brže (instrukcija: najjače i najbrže) i da je održavaju (ili razvijaju) u periodu od 3-4 s (Wilson and Murphy 1996). Tokom trajanja testa ispitanici su, na monitoru koji je bio postavljen ispred njih, pratili razvijanje sile u realnom vremenu (u obliku grafika sila-vreme). Takođe, sve vreme tokom trajanja testa bili su verbalno motivisani od strane merioca da što bolje ostvare zadatak. Test je izveden pri uglu u zglobu kolena od 45°, odvojeno za opružaće i pregibače.

#### *Izokinetički test jačine (IK)*

U ovom testu, ispitanici su imali zadatak da naizmenično izvode maksimalne kontrakcije mišića opružaća i pregibača u zglobu kolena (instrukcija: najjače i najbrže) pri zadatoj i konstantnoj ugaonoj brzini. Tokom trajanja testa ispitanici su, na monitoru koji je bio postavljen ispred njih, pratili razvijanje sile u realnom vremenu (u obliku grafika sila-vreme). Takođe, sve vreme tokom trajanja testa bili su verbalno motivisani od strane merioca da što bolje ostvare zadatak. Dužina trajanja naizmeničnih izokinetičkih kontrakcija je obuhvatala period od 5 punih ciklusa (ciklus je podrazumevao razvoj sile kontrahovanjem mišića opružaća i pregibača). Test je izvođen pri dve ugaone brzine i to prvo pri 60°/s a onda pri 180°/s.

U svim testovima prvo je testirana zdrava noga, a potom operisana (Moisala, Jarvela et al. 2007; Lautamies, Harilainen et al. 2008). Svakom testu prethodio je po jedan probni pokušaj, nakon čega su izvođena najmanje po dva eksperimentalna pokušaja. Pauza između ponavljanja bila je jedan minut. U dalju analizu uzet je bolji pokušaj.



### 5.2.6. Procena stabilnosti zgloba kolena

#### *Skok udalj jednom nogom (SDJN)*

U ovom testu ispitanici su imali zadatak da izvedu skok udalj iz uspravnog stava na jednoj nozi, dok je druga noga bila savijena u zglobu kolena (ugao od približno 45°). Skok je izvođen uz zamah rukama. Od ispitanika je zahtevano da odskoče i doskoče na istu nogu, što je moguće dalje, uz uslov da mogu da održe ravnotežu i da se zadrže na doskočnoj nozi do očitavanja rezultata od strane merioca. Dužina skoka je merena pomoću centimetarske trake.

Ispitanici su prvo izvodili skokove sa zdravom, a potom sa operisanom nogom. Test SDJN je ponovljen najmanje po tri puta za svaku nogu, a prethodio mu jedan probni pokušaj. U dalju analizu uzeta je srednja vrednost svih pokušaja.

### 5.2.7. Prikupljanje i obrada podataka

Za prikupljanje i obradu podataka dobijenih iz testa NMK i IM korišćen je isti LabVIEW program kao i u prethodnom eksperimentu (pogledati stranu 43).

Za potrebe prikupljanja i obrade podatka dobijenih iz IK takođe je korišćena aplikacija napravljena u LabVIEW programu. Maksimalni moment sile ( $M$ ), za obe mišićne grupe, dobijen je usrednjavanjem drugog, trećeg i četvrtog ciklusa. Tokom merenja, LabVIEW program je korišćen za davanje vizuelne povratne informacije.

Na osnovu direktno merenih varijabli dobijenih pomoću LabVIEW aplikacije izračunate su izvedene varijable. U metodama Eksperimenta 1 (za više detalja pogledati stranu 44) opisan je način izračunavanja međusobnog odnosa jačine pregibača i ekstezora ( $OPO$ ).

Relativni deficit jačine ( $RDJ$ ) između operisane i zdrave noge računat je posebno za opružaće i pregibače, na sledeći način (**Jednačina 4**):

**Jednačina 4.** Izračunavanje relativnog deficita jačine (*RDJ*)

$$RDJ = \frac{M_{zdrava} - M_{operisana}}{M_{zdrava}} \times 100.$$

### 5.2.8. Statistička analiza

Osnovni deskriptivni pokazatelji (srednja vrednost i standardna devijacija ) izračunati su za sve varijable.

Za procenu pouzdanosti momenata sile dobijenih u uzastopnim merenjima neuromišićne funkcije testom NMK izračunata je promena srednjih vrednosti i intraklasni koeficijent korelacije (ICC) za dva uzastopna ponavljanja (Hopkins 2000). Apsolutna varijabilnost (unutar-individualna; eng. „within-individual”) procenjena je na osnovu koeficijenta varijacije – CV (Hopkins 2000). Zavisni T-test korišćen je za procenu sistematskih razlika između dva pokušaja.

Za procenu konkurentne validnosti testa NMK u odnosu na IK i IM izračunat je Pirsonov koeficijent korelacije (r) između odgovarajućih varijabli. Pirsonov koeficijent korelacije (r) takođe je računat za procenu spoljašnje validnosti testova neuromišićne funkcije u odnosu na test SDJN. Meng-ov test (Meng, Rosenthal et al. 1992) korišćen je za procenu razlika između korelisanih koeficijenata korelacije dobijenih unutar testova mišićne funkcije, kao i između testova mišićne funkcije sa testom SDJN.

Za ispitivanje razlika između *OPO* dobijenih iz različitih testova, korišćena je jednofaktorska ANOVA za ponovljena merenja 2 x 4 (faktori noga [zdrava i operisana] x test [NMK, IM; IK60 i IK180]). U slučajevima u kojima je zabeležen značajan efekat faktora ili njihova interakcija, naknadno je urađen test sa Bonferoni korekcijom.

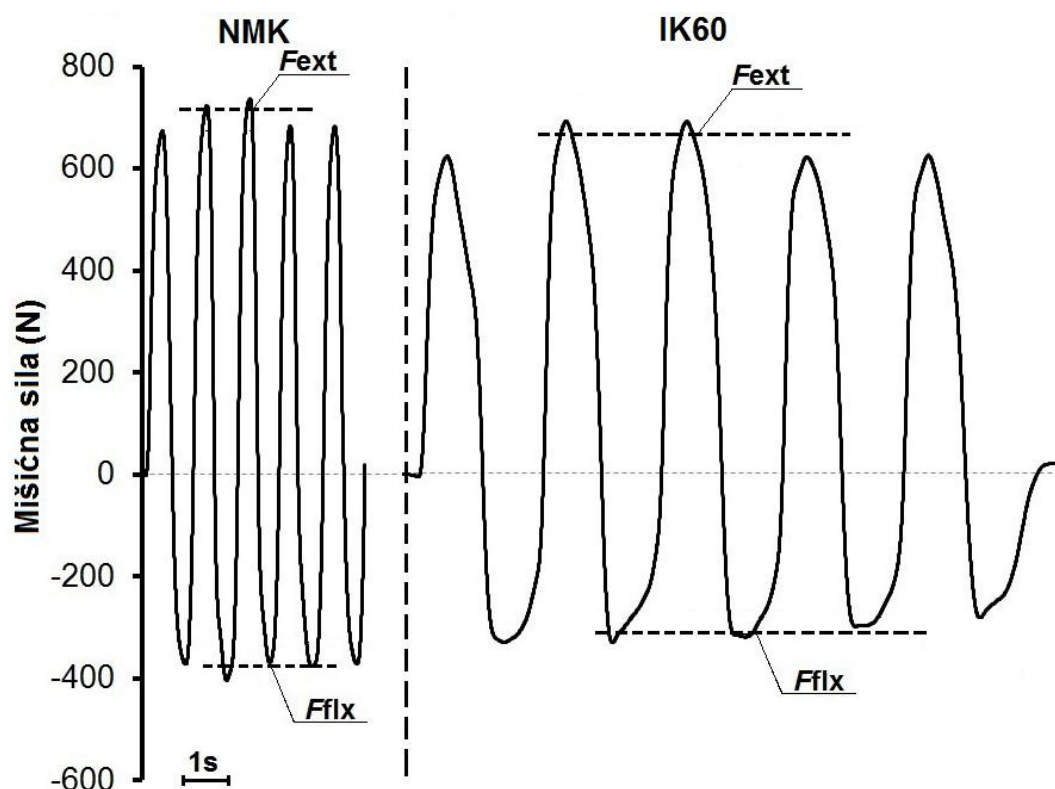
Za ispitivanje razlika između *RDJ* dobijenih iz različitih testova, korišćena je jednofaktorska ANOVA za ponovljena merenja 2 x 4 (faktori mišić [opružač i pregibač] x test [NMK, IM; IK60 i IK180]). U slučajevima u kojima je zabeležen značajan efekat faktora ili njihova interakcija, naknadno je urađen test sa Bonferoni korekcijom.

Prema Cohen-u (1988), na osnovu veličine efekta ( $f$  za ANOVA-u,  $d$  za post hoc test), razlike su smatrane malim za  $d = 0.2$  ili  $f = 0.1$ , umerenim za  $d = 0.5$  ili  $f = 0.25$  i velikim za  $d = 0.8$  ili  $f = 0.4$ .

Određeno je da prag značajnosti statističkih nalaza bude na nivou poverenja od  $p = 0.05$ . Svi statistički testovi računati su korišćenjem SPSS 20.0 softvera (SPSS Inc, Chicago, IL) i Office Excel 2010 (Microsoft Corporation, Redmond, WA).

### 5.3. Rezultati

Tipične krive relacije sila-vreme dobijene u testovima NMK i IK60 pokazuju da su tokom jednog pokušaja vrednosti mišićnih sila i opružaća i pregibača bile relativno stabilne (Slika 9).



**Slika 9.** Profili sila opružaća ( $F_{ext}$ ) i pregibača ( $F_{flx}$ ), koji su zabeleženi tokom testiranja tipičnog predstavnika eksperimentalne grupe

S obzirom da su ispitanici imali zadatak da NMK izvode „najjače i najbrže“ što mogu, frekvencija izvođenja testa posmatrana je kao samoizabrana. Frekvencija izvođenja NMK kod zdrave noge bila je  $1.25 \pm 0.26$  Hz, a kod operisane noge  $1.21 \pm 0.22$  Hz. Između frekvencija ostvarenih izvođenjem NMK zdravom, odnosno operisanom nogom, nisu zabeležene značajne razlike ( $T = 0.18$ ;  $p > 0.05$ ).

Osnovni deskriptivni pokazatelji (srednja vrednost i standardna devijacija) momenata sile dobijenih iz NMK, IM, IK60 i IK180 prikazani su u **Tabela 5**.

**Tabela 5.** Deskriptivni pokazatelji maksimalnih momenata sile dobijenih primenom testova za procenu neuromišićne funkcije (podaci prikazani kao SV  $\pm$  SD)

Test	Zdrava noga		Operisana noga	
	Opružači	Pregibači	Opružači	Pregibači
<b>NMK</b>	204 $\pm$ 24	101 $\pm$ 15	114 $\pm$ 18	87 $\pm$ 16
<b>IM</b>	198 $\pm$ 38	130 $\pm$ 34	96 $\pm$ 21	80 $\pm$ 24
<b>IK60</b>	184 $\pm$ 26	106 $\pm$ 12	103 $\pm$ 19	90 $\pm$ 12
<b>IK180</b>	134 $\pm$ 20	86 $\pm$ 9	89 $\pm$ 12	79 $\pm$ 10

Usrednjene vrednosti rezultata ostvarenih u testu za proveru stabilnosti kolena (skok udalj jednom nogom; SDJN) iznosile su  $176 \pm 23$  cm za zdravu nogu i  $144 \pm 29$  cm za operisanu nogu.

**Tabela 6** prikazuje pokazatelje pouzdanosti momenata sile dobijenih primenom izometrijskih i izokinetičkih testova. Dobijeni koeficijenti ukazuju na veoma visoku relativnu pouzdanost  $M$  dobijenih iz primenjenih testova (mediana ICC = 0.97), dok je koeficijenta varijacije, kao mera ponovljivosti (apsolutne pouzdanosti) merenja, bio u opsegu od 2.9 % to 10.3 %. Rezultati T-testa koji je korišćen za ispitivanje sistematskih razlika između uzastopnih pokušaja, u svim slučajevima je, izuzev za  $M$  pregibača zdrave noge iz NMK, pokazali su da između ponovljenih merenja nema značajnih razlika ( $T$  vrednost bila je u opsegu od -1.98 to 1.88;  $p > 0.05$ ).

**Tabela 6.** Pouzdanost momenata sile  $M$  (Nm) opružača i pregibača zdrave i operisane noge dobijenih izvođenjem izometrijskih izokinetičkih testova

Test	Noga	Mišić	Pokušaj 1 SV ± SD	Pokušaj 2 SV ± SD	Promena SV (%)	T-test	CV%	ICC	IP 95%
NMK	Zdr	<i>Ext</i>	192.0 ± 44.9	195.4 ± 48.5	1.8	-1.55	3.3	0.99	0.97-0.99
		<i>Flx</i>	91.3 ± 25.7	92.1 ± 29.7	0.9	-0.37	5.7	0.96	0.90-0.98
	Oper	<i>Ext</i>	112.7 ± 40.1	119.4 ± 41.9	5.9	-1.98	9.2	0.95	0.88-0.98
		<i>Flx</i>	71.4 ± 22.3	77.3 ± 28.7	8.3	-1.74	10.3	0.89	0.75-0.96
IM	Zdr	<i>Ext</i>	186.5 ± 43.2	190.3 ± 44.5	0.2	-1.25	4.3	0.97	0.94-0.99
		<i>Flx</i>	93.9 ± 23.1	93.0 ± 20.1	2.0	1.88*	7.3	0.92	0.82-0.97
	Oper	<i>Ext</i>	119.0 ± 39.6	121.4 ± 35.9	1.6	-0.89	6.6	0.97	0.92-0.99
		<i>Flx</i>	81.6 ± 29.5	82.6 ± 28.4	1.2	-0.46	5.8	0.98	0.95-0.99
IK60	Zdr	<i>Ext</i>	172.8 ± 35.7	175.5 ± 37.8	1.6	-0.80	4.7	0.97	0.92-0.98
		<i>Flx</i>	100.1 ± 25.5	101.2 ± 21.1	0.1	-0.10	5.1	0.95	0.87-0.98
	Oper	<i>Ext</i>	103.5 ± 40.1	109.1 ± 34.4	5.4	-1.87	8.3	0.95	0.86-0.98
		<i>Flx</i>	94.8 ± 31.0	94.4 ± 29.3	-0.4	0.34	3.4	0.99	0.95-1.00
IK180	Zdr	<i>Ext</i>	128.4 ± 27.0	125.7 ± 25.2	-2.1	1.70	2.9	0.97	0.95-0.99
		<i>Flx</i>	83.9 ± 19.5	82.4 ± 16.8	-1.8	0.92	4.2	0.97	0.92-0.99
	Oper	<i>Ext</i>	88.0 ± 23.1	89.6 ± 24.6	1.8	-1.57	2.9	0.99	0.98-1.00
		<i>Flx</i>	76.9 ± 20.1	77.6 ± 21.7	0.9	-0.66	3.3	0.99	0.97-1.00

CV - koeficijent varijacije; ICC - intra-klasni koeficijent korelacije; IP - interval pouzdanosti; Zdr - zdrava noga; Oper - operisana noga; *Ext* – opružač; *Flx* – pregibač.

\* razlike između pokušaja statistički značajne na nivou  $p < 0.05$

Konkurentna validnost novog testa NMK ispitana je u odnosu na standardne IM i IK testove. Generalno, koeficijenti korelacije između momenta sile dobijenih iz NMK i IK, odnosno između  $M$  dobijenih iz IM i IK, ukazuju na umerenu do visoku konkurentnu validnost oba izometrijska testa (**Tabela 7**). Dobijeni koeficijenti korelacije između izometrijskih i izokinetičkih momenata sile upoređeni su primenom Meng-ovog testa za ispitivanje razlika između korelisanih koeficijenata korelacija. Značajne razlike dobijene su jedino u slučaju pregibača operisane noge ( $Z$  vrednost bila je u opsegu od -5.367 do 1.486;  $p < 0.01$ ). U svim ostalim slučajevima razlike između koeficijenata korelacija nisu bile značajne ( $Z$  vrednost bila je u opsegu od -1.409 do 1.486;  $p > 0.5$ ).

**Tabela 7** Pokazatelji konkurentne validnosti izražene preko koeficijenata korelacije između momenata sile ( $M$ ) dobijenih iz NMK, IM i IK testova.

Momenti sile ( $M$ )	Zdrava noga		Operisana noga	
	<i>Ext</i>	<i>Flx</i>	<i>Ext</i>	<i>Flx</i>
<b>NMK vs. IK60</b>	0.84**	0.91**	0.83**	0.75**
<b>NMK vs. IK180</b>	0.75**	0.85**	0.73**	0.65*
<b>IM vs. IK60</b>	0.77**	0.91**	0.83**	0.96**
<b>IM vs. IK180</b>	0.71*	0.94**	0.73**	0.90**

*Ext* – opružać; *Flx* - pregibač

\* Koeficijenti korelacije značajni na nivou  $p < 0.05$  ; \*\* Koeficijenti korelacije značajni na nivou  $p < 0.01$

Spoljašnja validnost momenata sile dobijenih iz NMK, IM i IK procenjena je na osnovu njihove povezanosti za testom za procenu stabilnosti kolena, skok udalj jednom nogom (SDJN). Između varijabli izometrijskih i izokinetičkih testova i rezultata ostvarenog u testu za procenu stabilnosti SDJN, dobijene su generalno umerene i značajne korelacije (**Tabela 8**). Korelacije između momenta sile i dužine skoka jednom nogom uglavnom su bile umerene i značajne, uz izuzetak  $M$  pregibača operisane noge dobijenog iz IK180, gde povezanost između ispitivanih varijabli nije bila značajna. Kada su dobijeni koeficijenti korelacije izometrijskih i izokinetičkih momenata sile sa dužinom skoka u SDJN upoređeni Meng-ovim testom za ispitivanje razlika između

koreliranih koeficijenta korelacija, nisu dobijene značajne razlike ( $Z$  vrednost bila je u opsegu od -0.307 do 0.169;  $p > 0.1$ ).

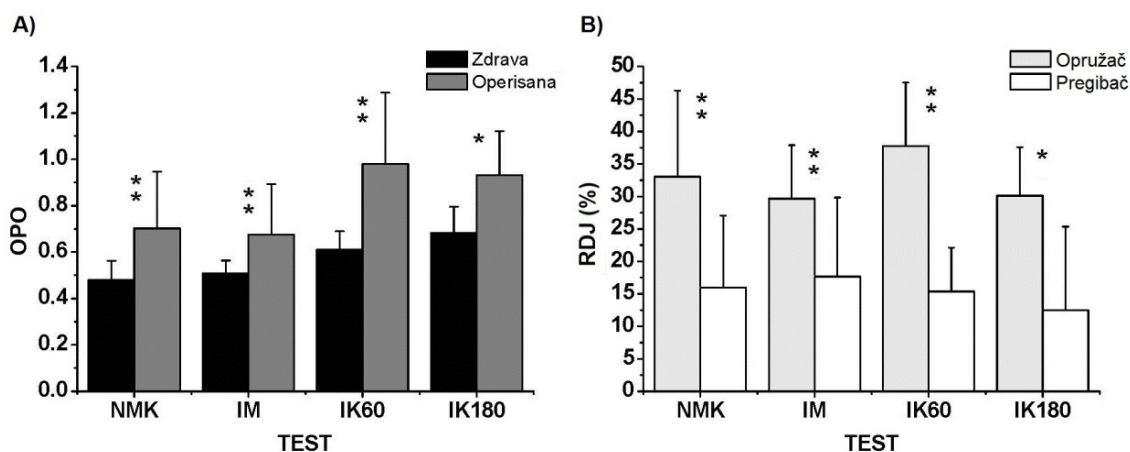
**Tabela 8.** Spoljašnja validnost izražena preko koeficijenta korelacije između SJDN i momenata sile dobijenih iz testova za procenu neuromišićne funkcije

	Zdrava noga		Operisana noga	
	<i>Ext</i>	<i>Flx</i>	<i>Ext</i>	<i>Flx</i>
<b>SDJN - NMK</b>	0.64*	0.72*	0.80**	0.69*
<b>SDJN - IM</b>	0.62*	0.74**	0.81**	0.65*
<b>SDJN - IK60</b>	0.69*	0.72*	0.81**	0.69*
<b>SDJN - IK180</b>	0.77**	0.74**	0.73*	0.52

*Ext* – opružać; *Flx* – pregibač.

\* Koeficijenti korelacije značajni na nivou  $p < 0.05$  ; \*\* Koeficijenti korelacije značajni na nivou  $p < 0.01$

Osetljivost testova jačine procenjena je poređenjem odnosa jačine pregibača i opružaća (*OPO*) zdrave i operisane noge, odnosno poređenjem relativnih deficita jačine opružaća i pregibača. **Slika 10A** prikazuje *OPO* koji su izračunati na osnovu momenata sile dobijenih iz testova NMK, IM i IK. Kada su ovi odnosi međusobno upoređeni, dobijen je značajan efekat faktora noga ( $F_{1,24} = 28.018$ ;  $p < 0.001$ ;  $\eta^2 = 0.539$ ), što znači da je *OPO* bio značajno veći kod operisane noge nego kod zdrave, pre svega zbog slabog opružaća. Faktor test ( $F_{3,78} = 37.045$ ;  $p < 0.001$ ;  $\eta^2 = 0.607$ ), kao i interakcija faktora noga x test ( $F_{3,78} = 37.045$ ;  $p < 0.05$ ;  $\eta^2 = 0.116$ ) takođe su bili značajni. Što se tiče faktora test, *OPO* dobijeni u NMK i IM bili su značajno niži u odnosu na oba izokinetička testa ( $p < 0.001$ ;  $d > 1.0$ ). Razlike između NMK i IM ( $p > 0.05$ ;  $d < 0.3$ ), odnosno između IK60 i IK180 nisu bile značajne ( $p > 0.05$ ;  $d < 0.1$ ). U sva četiri testa dobijene su značajne razlike između *OPO* zdrave i operisane noge ( $p < 0.05$  i  $p < 0.001$ ;  $d > 1.4$ ). Konačno, ni kod zdrave ni kod operisane noge nije bilo razlika između *OPO* dobijenih u NMK i IM ( $p > 0.05$ ;  $d < 0.2$ ), odnosno između IK60 i IK180 ( $p > 0.05$ ;  $d < 0.2$ ), ali su kod obe noge *OPO* koji su dobijeni iz izometrijskih testova bili značajno niži od onih koji su dobijeni iz izokinetičkih testova ( $p < 0.01$ ;  $d > 1.4$ ).



**Slika 10.** *OPOi* i *RDJ* momenata sile dobijeni primenom naizmeničnih maksimalnih kontrakcija (NMK), izometrijskog testa (IM), i izokinetičkih testova (IK60 i IK180).

\* razlike između zdrave i operisane noge, odnosno između opružrača i pregibača značajne na nivou  $p < 0.05$ ;

\*\* razlike između zdrave i operisane noge, odnosno između opružrača i pregibača značajne na nivou  $p < 0.01$ .

Što se tiče relativnog deficita jačine (**Slika 10B**), dobijen je značajan efekat faktora mišić ( $F_{1,22} = 26.598$ ;  $p < 0.01$ ;  $\eta^2 = 0.547$ ) jer je *RDJ* opružrača veći nego *RDJ* pregibača. Faktor test ( $F_{3,66} = 2.025$ ;  $p > 0.05$ ;  $\eta^2 = 0.084$ ), kao i interakcija faktora mišić x test ( $F_{3,66} = 1.939$ ;  $p > 0.05$ ;  $\eta^2 = 0.081$ ) nisu bili značajni. Dakle, nezavisno od primenjenog testa, veći *RDJ* je zabeležen kod opružrača nego kod pregibača.

## 5.4. Diskusija

Cilj ove studije bio je da se ispita pouzdanost, validnost i transverzalna osetljivost testa zasnovanog na naizmeničnim maksimalnim kontrakcijama kao testa za procenu mišićne funkcije sportista koji se oporavljaju nakon rekonstrukcije LCA, i da se uporedi sa standardnim izometrijskim i standardnim izokinetičkim testovima. Generalni nalaz je da su karakteristike NMK koje se tiču pouzdanost i osetljivosti slične osnovnim karakteristikama IM i IK, dok je konkurentska i spoljašnja validnost NMK uporedive sa pokazateljima validnosti IM i IK testova.

U ovoj studiji, vrednosti momenata sile koji su dobijeni iz NMK bile su veoma slične vrednostima maksimalnih momenata sile ostvarenim u IM testu, i za nijansu više nego kod IK testova. Ovakav nalaz je nešto drugačiji od nalaza Božića i sar. (2011) koji navode da su vrednosti NMK sila uslovno niže od maksimalne IM sile, mada te razike



nisu bile veće od 10%. Ispoljavanje nešto većih momenata sile prilikom izvođenja NMK moglo bi se objasniti kao posledica obrasca aktivacije mišića koji je zasnovan na brzim i naizmeničnim akcijama opružača i pregibača. Naime, u takvom obrascu, aktivacija agonista nije potpuna, a praćena je nepotpunom relaksacijom antagonista, što ukazuje da bi vrednosti NMK momenata sile mogle biti rezultat koaktivacije antagonističkog para mišića, odnosno NMK momenti mogli bi biti rezultat „sabiranja“ aktivacije mišića agonista sa relaksacijom mišića antagonista (Bozic, Suzovic et al. 2011; Bozic, Pazin et al. 2012). Iako bi ovu moguću razliku u šemi aktivacije mišića, a posebno između dva izometrijska testa, trebalo dodatno ispitati, ipak bi sličnost obrasca aktivacije mišića u NMK sa cikličnim aktivnostima mogla govoriti u prilog očigledne validnosti ovog testa.

Kada je u pitanju pouzdanost ispitivanih testova, dobijeni rezultati ukazuju na visoku povezanost momenata sile dobijenih u uzastopnim pokušajima, uz zabeležene niske varijacije, kao i da generalno nema sistematskih razlika između uzastopnih pokušaja. Nešto veći CV momenata sile operisane noge koji su dobijeni primenom NMK testa mogu delimično biti posledica različitog napretka u oporavku između ispitanika. Dobijeni pokazatelji pouzdanosti  $M$  generalno su slični onima koji su navedeni u ranijim istraživanjima u kojima je vršena evaluacija NMK kod zdravih, fizički aktivnih ispitanika (Bozic, Suzovic et al. 2011; Bozic, Pazin et al. 2012), ili čak viši od onih koji su dobijeni u ranijim evaluacijama izokinetičkih testova (Harding, Black et al. 1988; Montgomery, Douglass et al. 1989; Impellizzeri, Bizzini et al. 2008). Nalazi ove studije ukazuju da se NMK može rutinski primenjivati u testiranju mišićne funkcije već nakon nekoliko probnih pokušaja, kao i da može da zabeleži relativne razlike ili efekte koji su manji od 15 %.

Validnost mera dobijenih iz izokinetičkih testova podržana je nalazima prethodnih studija (Dvir 1995; Pua, Bryant et al. 2008), koje govore u prilog činjenici da se IK testovi često koriste za procenu neuromišićne funkcije. Na osnovu toga, povezanost između NMK i IK mogla bi biti interpretirana kao indeks konkurentne validnosti testa NMK. S obzirom da je ta povezanost između NMK i IK posebno izražena kod opružača operisane noge, dobijeni rezultati ukazuju da bi NMK mogao biti validno sredstvo u proceni neuromišićne funkcije pojedinaca koji se oporavljaju nakon

povrede ili rekonstrukcije LCA. Takođe, dobijeni nalazi u skladu su sa rezultatima prethodnih studija u kojima je konkurentna validnost NMK ispitivana u odnosu na IM, ali kod zdravih i fizički aktivnih ispitanika (Bozic, Suzovic et al. 2011; Bozic, Pazin et al. 2012).

Spoljašnja validnost izometrijskih (NMK i IM) i izokinetičkih (IK60 i IK180) testova procenjena je u odnosu na test skok udalj jednom nogom. Ovaj test koristi se kao „zlatni standard“ u proceni funkcionalnih sposobnosti nakon rekonstrukcije LCA (Neeter, Gustavsson et al. 2006; Engelen-van Melick, van Cingel et al. 2012) i osnovna namena mu je provera stabilnosti zglobova kolena u toku oporavka. U završnoj fazi oporavka, kada je deficit u jačini između nogu sveden na minimum, na osnovu rezultata SDJN procenjuje se eksplozivna snaga nogu. Rezultati ove studije pokazali su da test NMK ima adekvatnu spoljašnju validnost, odnosno da su koeficijenti korelacije između NMK i skokova, uporedivi i veoma slični koeficijentima korelacije dobijenim između ostalih testova i SDJN. S obzirom na prepostavljenu sličnost zadatka na kome se zasniva NMK sa cikličnim aktivnostima, dobijeni nalaz mogao bi da govori u prilog većoj sličnosti varijabli NMK sa funkcionalnim zadacima, nego što je to slučaj sa varijablama IM testa.

Nešto veće korelacije koje su zabeležene između M opružača operisane noge i SDJN mogle bi biti posledica toga što su tokom izvođenja skoka operisanom nogom ispitanici koristili kompenzatorne mehanizme kojima su dodatno angažovali ostale mišiće nogu (opružače kuka, pregibače i opružače kolena i mišiće oko skočnog zgloba). Ovi nalazi potvrđeni su brojnim studijama čiji nalazi, zasnovani na rezultatima kinematičke i kinetičke analize, ukazuju na to da sportisti sa povredom LCA pri doskoku koriste kompenzatorne mehanizme kako bi stabilizovali koleno, dodatno angažujući plantarne pregibače (Fitzgerald, Axe et al. 2000). Pored toga, uočeno je da pri doskoku ne koriste fleksiju u kolenu kao mehanizam za amortizaciju kretanja, već to rade na račun veće ekstenzije, što indirektno ukazuje na izraženu slabost opružača u ekscentričnom režimu rada. Naime, tom prilikom razvija se veći moment sile opružača i posledično javljaju veće sile prednjeg smicanja tibije u odnosu na femur, čime koleno izlažu riziku od nove povrede (Rudolph, Axe et al. 2001). Pretpostavka je da mišići opružači i pregibači mogu da kompenzuju postojeću labavost i nestabilnost kolena

prilikom doskoka, što bi moglo objasniti veću povezanost rezultata testova jačine i skoka udalj.

U ovoj studiji prikazani su i osnovni pokazatelji koji se se odnose na osetljivost testa NMK u beleženju neuravnoteženosti u jačini antagonističkog para mišića, odnosno razlika između odgovarajućih mišića zdrave i operisane noge. Dobijeni nalazi ukazuju na to da su i *OPO* i *RDJ* koji su računati na osnovu momenta sile dobijenog u NMK dovoljno osetljivi da zabeleže zabeleže neuravnoteženosti i razlike u jačini nakon rekonstrukcije LCA, a koji su slični onima dobijenim primenom izokinetičkih ili izometrijskih testova. Ovo je u saglasnosti sa nalazima ranijih istraživanja (St Clair Gibson, Lambert et al. 2000; Goradia, Grana et al. 2006; Ageberg, Thomee et al. 2008; Pua, Bryant et al. 2008; Kadija, Knezevic et al. 2010; Angelozzi, Madama et al. 2012), u kojima se navodi da neuravnoteženost u jačini između pregibača i opružača (*OPO*), odnosno između zdrave i operisane noge (*RDJ*) uglavnom potiču od narušene funkcije opružača operisane noge (za detalje pogledati **Slika 10B**) koja je u najvećoj meri posledica uzimanja grafta sa ligamenta patele za rekonstrukciju LCA (Keays, Bullock-Saxton et al. 2001; Anderson, Lamb et al. 2002; Kobayashi, Higuchi et al. 2004; Ageberg, Thomee et al. 2008; Pua, Bryant et al. 2008).

Iako su ovoj studiji dobijeni ohrabrujući nalazi u vezi sa primenom *naizmeničnih maksimalnih kontrakcija* u proceni nivoa oporavka nakon RLCA, potrebno je ukazati i na neke potencijalne nedostatke. Na prvom mestu, zbog transverzalnog dizajna studije nije bilo moguće kontrolisati napredak u rehabilitaciji, što je moglo imati uticaj na dobijene rezultate. Često se u literaturi navodi da je krajnji cilj rehabilitacije povratak mišićne funkcije operisane noge na isti nivo kao kod zdrave noge. Međutim, do slabljenja mišićne funkcije može doći i kod zdrave noge, pa se rezultati testova mogu pogrešno tumačiti (Neeter, Gustavsson et al. 2006). Etiologija opisanih promena nakon rekonstrukcije LCA još uvek nije u potpunosti objašnjena. Naime, mirovanje, nepotpuna rehabilitacija i ukršteni efekat neuralne inhibicije (eng. cross-over inhibition) usled prekida aferentnih informacija iz mehanoreceptora povređenog kolena moraju biti uzeti u obzir (Reinking, Bockrath-Pugliese et al. 1996; Neeter, Gustavsson et al. 2006). Zbog toga, neophodan je oprez prilikom korišćenja zdrave noge kao kontrolne i kada god je to moguće, mišićnu funkciju bi trebalo proceniti i preoperativno, a zatim pratiti

postoperativne promene u pravilnim intervalima (3, 6, 9 i 12 meseci nakon operacije). Na taj način, omogućilo bi se pouzdanije praćenje promena unutar operisane, odnosno zdrave noge, i adekvatnije tumačenje rezultata testova.

I pored sličnosti u pouzdanosti i osetljivosti između korišćenih testova, NMK ipak može imati neke važne karakteristike koje se mogu smatrati potencijalnim prednostima u odnosu na IK i IM: Na prvom mestu, iako se u NMK, zbog njegove izometrijske prirode, ne može „koristiti“ ciklus izduženja-skraćenja, naizmenično razvijanje sila antagonističkog para može dovesti do aktivacije niza neuralnih mreža i mehanizama za koje se veruje da doprinose pobuđenju (ekscitaciji) mišića tokom izvođenja cikličnih pokreta (tj. centralni generator obrazaca (central pattern generator), ili recipročna inhibicija (Latash 2008)). Dakle, moglo bi se pretpostaviti da potencijalna sličnost obrazaca sile karakterističnih za NMK sa brojnim funkcionalnim motoričkim zadacima govori u prilog očigledne validnosti NMK, barem u odnosu na brze povratne i ciklične pokrete. Takođe, iako bi se moglo tvrditi da NMK nema veliku sličnost (jer se izvodi i u otvorenom kinetičkom lancu) sa brojnim funkcionalnim zadacima koji se izvode u zatvorenom kinetičkom lancu, ovaj test ipak može biti od značaja jer omogućava određivanje veličine deficita jačine izolovanih mišića. Kao drugo, NMK bi mogao biti zasnovan na kraćoj proceduri testiranja dva antagonistička mišića u odnosu na IM i IK, i mogao bi zahtevati svega jedan probni pokušaj. Treće, iako su vrednosti momenata sile bili uporedivi između korišćenih testova mišićne funkcije, oni koji su dobijeni u NMK imaju kraće trajanje (za detalje videti **Slika 9**). Ovo bi moglo rešiti problem mišićnog i mentalnog zamora, koji je povezan sa protokolima izokinetičkih merenja zasnovanim na primeni više ugaonih brzina (Zemach, Almoznino et al. 2009), što se u literaturi inače navodi kao jedno od ograničenja IK (posebno kada se koriste manje ugaone brzine) (Dvir 1995; Zemach, Almoznino et al. 2009), ali i smanjiti celokupno opterećenje na mišiće, tetive i ligamente. Konačno, treba imati na umu da, i pored toga što su svi testovi koji su ovoj studiji korišćeni za procenu mišićne funkcije sprovedeni na izokinetičkom dinamometru, NMK se može izvoditi na mernoj opremi koja je mnogo jednostavnija i jeftinija, a podrazumeva upotrebu jednoosnih senzora za merenje sile (Suzovic, Nedeljkovic et al. 2008; Bozic, Suzovic et al. 2011; Bozic, Pazin et al. 2012).

U zaključku, (transverzalna) evaluacija primene NMK u proceni mišićne funkcije sportista koji se oporavljaju nakon RLCA pokazala je da ovaj novi test ima visoku pouzdanost, kao i adekvatnu osjetljivost za registrovanje neuravnoteženosti u jačini kako između antagonističkog para mišića, tako i između zdrave i operisane noge. Iako je NMK po svojim osnovnim mernim karakteristikama uporediv sa IM i IK, novi test bi mogao da ima neke važne metodološke prednosti. Među njima su kraća procedura testiranja dva antagonistička mišića, izlaganje manjem zamoru, kao i mogućnost korišćenja opreme koja je jednostavnija i jeftinija od izokinetičkog dinamometra. Dobijeni nalazi ukazuju na to da NMK ima svojstva na osnovu kojih bi mogao biti razvijen u instrument za procenu mišićne funkcije nakon RLCA, kao i to da bi mogao biti alternativan IM i IKT, posebno u situacijama kada nije moguće koristiti izokinetički dinamometar.

## **6. EKSPERIMENT 3: *Naizmenične maksimalne kontrakcije* u ispitivanju razlika u neuromišićnoj funkciji tokom oporavka nakon rekonstrukcije LCA**

### **6.1. Uvod**

Kako što je već više puta naglašeno, praćenje oporavka mišićne funkcije pregibača i opružača u zglobu kolena tokom rehabilitacije najčešće se vrši primenom standardnih izokinetičkih protokola testiranja (IK) (Ostenberg, Roos et al. 1998; Keays, Bullock-Saxton et al. 2001; Kvist, Karlberg et al. 2001). IK testovi mogu sprovoditi pri različitim ugaonim brzinama, ali se u praksi mišićna funkcija uglavnom procenjuje pri dve ugaone brzine: (60 °/s) i (180 °/s) (Kannus 1988; Dvir 1995; Knezevic, Mirkov et al. 2012). Iako se izokinetički testovi mogu smatrati standardnim metodom za procenu neuromišićne funkcije nakon rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta (RLCA), izometrijski testovi takođe mogu biti veoma korisni, posebno u situacijama kada nije moguće koristiti izokinetički dinamometar. I dok se IK testovi rutinski sprovode na izokinetičkim dinamometrima (Pua, Bryant et al. 2008), izometrijski testovi (IM) mogu se izvoditi na izokinetičkom dinamometru, ali i na posebnim konstrukcijama na koje je pričvršćen merač sile (Wilson and Murphy 1996; Suzovic, Nedeljkovic et al. 2008). Kako bi se prevazišli neki od nedostataka standardnog izometrijskog i izokinetičkog testa (niska spoljašnja validnost, obrazac neuralne aktivacije koji bi mogao biti drugačiji od obrasca aktivacije koji je karakterističan za brze i ciklične pokrete, ili relativno duga i zamoru podložna procedura (Enoka and Fuglevand 2001; Abernethy, Hanrahan et al. 2005; Pua, Bryant et al. 2008), nedavno je evaluiran test zasnovan na izometrijskim *naizmeničnim maksimalnim kontrakcijama* (NMK) (Bozic, Suzovic et al. 2011; Bozic, Pazin et al. 2012; Knezevic, Mirkov et al. 2012).

Nezavisno od vrste primenjenog testa, pored direktno merenih varijabli (obično je to moment sile [ $M$ ]), u praćenju oporavka i efekata rehabilitacije, kao i u cilju identifikacije faktora rizika od nove povrede LCA, vrlo često se koriste i izvedene varijable (Neeter, Gustavsson et al. 2006; Impellizzeri, Bizzini et al. 2008; Eitzen,

Eitzen et al. 2010). Kao što je ranije već navedeno, dve izvedene varijable posebno su značajne za tu svrhu: prva je odnos jačine pregibača i opružača (*OPO*), koji predstavlja meru uravnoteženosti jačine antagonističkih mišića, a druga je relativni deficit jačine (*RDJ*) koji ukazuje na razliku u jačini između zdrave i operisane noge (za detalje videti stranu 12). Pored praćenja procesa oporavka, ove izvedene varijable koriste se i kao važni kriterijumi prilikom donošenja odluke o spremnosti sportiste da se uključi u sistem sportskog treninga i takmičenja (Kannus 1988; Dvir 1995; Hiemstra, Webber et al. 2004; Neeter, Gustavsson et al. 2006).

I direktno merene (*M*) i izvedene varijable (*OPO* i *RDJ*) moraju biti pouzdane i validne kako bi se koristile u praćenju efekata rehabilitacije, ili kao skrining test mišićne funkcije. U ranijim istraživanjima u kojima je ispitivana pouzdanost izokinetičkih i izometrijskih testova, navodi se da momenti sile mišića opružača i pregibača u zglobovima kolena imaju visoku relativnu i apsolutnu pouzdanost (Abernethy, Wilson et al. 1995; Wilson, Lyttle et al. 1995; Sole, Hamren et al. 2007; Impellizzeri, Bizzini et al. 2008; Maffiuletti, Bizzini et al. 2010). Međutim, samo u nekoliko studija ispitivana je pouzdanost izvedenih mera, i u njima se navodi da *OPO* i *RDJ* imaju nisku do umerenu pouzdanost (Sole, Hamren et al. 2007; Impellizzeri, Bizzini et al. 2008). Imajući u vidu da se direktno merene (*M*) i izvedene varijable (*OPO* i *RDJ*) regularno koriste u praćenju oporavka mišićne funkcije, očigledno je da nema dovoljno podataka o njihovoj longitudinalnoj konstrukt validnosti. Ispitivanje ovakvog tipa validnosti zasnovano je na konstruktivnoj validnosti da nakon operacije, i kasnije tokom procesa oporavka, dolazi do određenih promena u mišićnoj funkciji povređene noge dok u mišićnoj funkciji zdrave noge nema nikakvih promena ili one nisu značajne (Reid, Birmingham et al. 2007). Dakle, da bi se omogućila pouzdana i validna procena oporavka pacijenata nakon RLCA, ali i da bi se direktno merene i izvedene varijable mogle koristiti u budućim istraživanjima na kliničkim populacijama, očigledno je da postoji potreba da se ispita longitudinalna konstrukt validnost varijabli dobijenih iz testova za procenu neuromišićne funkcije.

Kako bi pomenuti nedostaci bili prevaziđeni, osmišljena je studija sa glavnim ciljem da se ispita longitudinalna konstrukt validnost IK, IM i NMK testova kada se koriste u praćenju oporavka mišićne funkcije nakon rekonstrukcije LCA. Drugi cilj bio je da se ispita konkurentna validnost testa NMK u odnosu na IK test, i da se uporedi sa

istim tipom validnosti IM testa. Pored momenta sile mišića pregibača i opružača, evaluirane su i izvedene mere, odnosno *OPO* i *RDJ*: Očekuje se da rezultati ove studije daju važne informacije o validnosti korišćenih testova, kao i da motivišu dalji razvoj NMK u test koji bi mogao da bude alternativni test standardnim izokinetičkim i izometrijskom testu kada se koriste u proceni neuromišićne funkcije kod pacijenata sa povredom ili rekonstrukcijom LCA, a potencijalno i kod drugih kliničkih populacija.

## **6.2. Metode**

Treća studija bila je realizovana kao longitudinalno istraživanje u kome je neuromišićna funkcija sportista merena tokom različitih stadijuma oporavka nakon rekonstrukcije LCA. Neuromišićna funkcija bila je procenjena na osnovu maksimalnog momenta sile (*M*) mišića opružača i pregibača, dobijenih korišćenjem *naizmeničnih maksimalnih kontrakcija, izokinetičkih testova i izometrijskog testa*. Analiza je obuhvatala upoređivanje rezultata primenjenih testova za utvrđivanje razlika u mišićnoj funkciji između različitih stadijuma oporavka. Studija je bila odobrena odlukom Etičkog komiteta Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja, Univerziteta u Beogradu (Prilog 2).

### **6.2.1. Uzorak ispitanika**

Prvobitno, u studiju su bila uključena 23 ispitanika, koji su u periodu između septembra 2010. i marta 2012. godine bili pacijenti Instituta za ortopedsku hirurgiju i traumatologiju, Kliničkog Centra Srbije u Beogradu. Ispitanici su u studiju bili uključeni na osnovu sledećih kriterijuma: ruptura prednjeg ukrštenog ligamenta, bez pratećih konkurentnih povreda ili neuroloških poremećaja koji bi mogli uticati na rezultate testiranja. Pored toga, ispitanici su bili uključeni samo ukoliko nisu osećali bol i nisu imali otok u predelu kolena. Nakon operacije, koju je kod svih obavio isti hirurg, ispitanici su bili podvgnuti istom rehabilitacionom protokolu u okviru obavezne fizikalne terapije koja je sprovedena na Institutu za ortopedsku hirurgiju i traumatologiju Kliničkog centra Srbije. Tri ispitanika isključena su iz eksperimenta usled nemogućnosti da se obavežu na učešće u postoperativnim merenjima. Konačno, odabrani uzorak činilo je 20 ispitanika muškog pola (starost  $22 \pm 4$  godine; masa tela  $84.0 \pm 11.1$  kg; visina tela  $180.3 \pm 4.0$  cm). Svi ispitanici su pre povrede LCA bili aktivni sportisti (12 fudbalera, 5 rukometaša, 3 džudista). Procena neuromišićne



funkcije bila je urađena u tri odvojene sesije: preoperativno (sesija 1; S1), 4 meseca (sesija 2; S2) i 6 meseci (sesija 3; S3) nakon rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta kolena. Pre testiranja, ispitanici su bili detaljno upoznati sa protokolima *naizmeničnih maksimalnih kontrakcija*, *standardnog izokinetičkog testa* i *izometrijskog testa*, kao i mogućim rizicima za nastajanje povreda. Svi ispitanici su potpisali formular kojim su potvrdili saglasnost za učešće u studiji (Prilog 1). Niko od odabranih 20 ispitanika nije prijavio povredu ili neke zdravstvene probleme, i svi su uspešno završili učešće u istraživanju.

### **6.2.2. Tok i postupci istraživanja**

Merenja u okviru ovog istraživanja sprovedena su u Metodičko-istraživačkoj laboratoriji Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu. Eksperiment 3 sastojao se iz tri sesije, i u svakoj od sesija merenja za svakog ispitanika bila su sprovedena u dva odvojena dana. Svaki ispitanik bio je testiran u isto vreme tokom dana. Prvog dana izmerene su visina i masa tela, i prema slučajnom izboru sprovedena prva dva od planirana četiri testa za procenu neuromišićne funkcije (NMK i IM, ili IK60 i IK180). Drugog dana sprovedena su preostala dva testa za procenu neuromišićne funkcije (IK60 i IK180, ili NMK i IM).

Između testiranja bilo je 2 do 3 dana pauze. Testiranjima je prethodio standardni desetominutni protokol zagrevanja koji je uključivao zagrevanje na stacionarnom biciklu, vežbe rastezanja u mestu i skokove. U cilju familijarizacije ispitanika sa testovima, svakom testu prethodilo je detaljno objašnjenje i po jedan probni pokušaj. Sva testiranja realizovao je jedan iskusen ispitivač.

### **6.2.3. Uzorak varijabli**

Prvu grupu činile su varijable morfološkog statusa: Visina tela i Masa tela.

Drugu grupu činile su direktno merene varijable za procenu neuromišićne funkcije u izometrijskim, odnosno izokinetičkim uslovima:

- *Naizmenične maksimalne kontrakcije* – Maksimalni momenti sile mišića opružača i pregibača u zglobu kolena ( $M_{ext}$  i  $M_{flx}$ ),

- Izometrijski test jačine – Maksimalni momenti sile mišića opružaća i pregibača u zglobu kolena ( $M_{ext}$  i  $M_{flx}$ ),

- Izokinetički test jačine – Maksimalni momenti sile mišića opružaća i pregibača u zglobu kolena ( $M_{ext}$  i  $M_{flx}$ ) pri ugaonim brzinama od  $60^\circ/s$ , i  $180^\circ/s$ .

Treću grupu činile su izvedene varijable za procenu neuromišićne funkcije u izometrijskim, odnosno izokinetičkim uslovima:

- *Naižmjenične maksimalne kontrakcije* – Međusobni odnos maksimalnih momenata sile mišića pregibača i opružaća u zglobu kolena zdrave i operisane noge ( $OPO_{zdr}$  i  $OPO_{oper}$ ).

- Izometrijski test jačine – Međusobni odnos maksimalnih momenata sile mišića pregibača i opružaća u zglobu kolena zdrave i operisane noge ( $OPO_{zdr}$  i  $OPO_{oper}$ ).

- Izokinetički test jačine – Međusobni odnos maksimalnih momenata sile mišića pregibača i opružaća u zglobu kolena zdrave i operisane noge ( $OPO_{zdr}$  i  $OPO_{oper}$ ) pri ugaonim brzinama od  $60^\circ/s$  i  $180^\circ/s$ .

- *Naižmjenične maksimalne kontrakcije* – Relativni deficit jačine mišića opružaća, odnosno pregibača između operisane i zdrave noge ( $RDJ_{ext}$  i  $RDJ_{flx}$ ).

- Izometrijski test jačine – Relativni deficit jačine mišića opružaća, odnosno pregibača između operisane i zdrave noge ( $RDJ_{ext}$  i  $RDJ_{flx}$ ).

- Izokinetički test jačine – Relativni deficit jačine mišića opružaća, odnosno pregibača između operisane i zdrave noge ( $RDJ_{ext}$  i  $RDJ_{flx}$ ) pri ugaonim brzinama od  $60^\circ/s$ , i  $180^\circ/s$ .

#### **6.2.4. Morfološki status**

Procena morfološkog statusa ispitanika izvršena je na osnovu podataka dobijenih merenjem visine i mase tela. Tokom svih merenja ispitanici su bili u šortsu.

Visina i Masa tela izmerene su na isti način kao što je opisano u metodama Eksperimenta 1 (za više detalja pogledati stranu 42).

#### **6.2.5. Procena neuromišićne funkcije**

Testovi za procenu neuromišićne funkcije sprovedeni su na izokinetičkom dinamometru i primenom opreme koja je opisana i prethodnim eksperimentima. Takođe, ispitanici su bili pripremljeni po istom protokolu zagrevanja i familijarizacije sa testovima.

##### *Naizmenične maksimalne kontrakcije (NMK)*

Test NMK detaljno je opisan u metodama Eksperimenta 2 (za više detalja pogledati stranu 57). Test je bio primenjen u uglu u zglobu kolena od 45°.

##### *Izometrijski test jačine (IM)*

Protokol testa detaljno je opisan u metodama Eksperimenta 2 (za više detalja pogledati stranu 57).

##### *Izokinetički test jačine (IK)*

Protokol testa detaljno je opisan u metodama Eksperimenta 2 (za više detalja pogledati stranu 57).

U svim testovima prvo je testirana zdrava, a zatim operisana noga. Svakom testu prethodio je po jedan probni pokušaj, nakon čega su sledila najmanje dva eksperimentalna pokušaja. U dalju analizu bili su uzeti bolji pokušaji. Pauza između ponavljanja bila je jedan minut.

### 6.2.6. Prikupljanje i obrada podataka

U cilju prikupljanja i obrade podataka dobijenih iz testa NMK i IM, odnosno IK testa, korišćene su iste aplikacije napravljene u LabVIEW programu koje su opisane u Eksperimentu 2 (za više detalja pogledati stranu 59).

Za potrebe ove studije, *RDJ* je računat kao indeks simetrije operisane noge u odnosu na zdravu nogu, izraženo u procentima:

$$RDJ = \frac{M_{operisana}}{M_{zdrava}} \times 100$$

### 6.2.7. Statistička analiza

Osnovni deskriptivni pokazatelji (srednja vrednost [SV] i standardna devijacija [SD]) izračunati su za sve varijable.

Za ispitivanje longitudinalne konstrukt validnosti *M*, *OPO* i *RDJ*, srednje vrednosti pojedinačnih sesija međusobno su upoređene pomoću analize varijanse (ANOVA) za ponovljena merenja (faktor sesija: preoperativno [S1], 4 meseca [S2] i 6 meseci [S3] postoperativno). U slučajevima u kojima je zabeležen značajan efekat sesije, naknadno je urađen test sa Bonferoni korekcijom za otkrivanje sistematskih razlika između uzastopnih sesija. Za procenu ponovljivosti individualnih rezultata između uzastopnih sesija, korišćen je koeficijent varijacije - CV (Hopkins 2000), koji je klasifikovan kao dobar ukoliko je bio manji od 15% (Ross, Irrgang et al. 2002). Intra-klasni koeficijent korelacije ( $ICC_{3,1}$ ), korišćen je kao mera homogenosti rezultata pojedinaca u ponovljenim merenjima (sesijama) (Hopkins 2000). ICC je klasifikovan kao visok ( $\geq 0.8$ ), umeren ( $0.6 < ICC < 0.8$ ), ili nizak ( $< 0.6$ ). Promena srednje vrednosti korišćena je za procenu osetljivosti varijabli testova neuromišićne funkcije u beleženju razlika između različitih stadijuma oporavka (uzastopnih sesija).

Procena povezanosti između primenjenih testova neuromišićne funkcije bila je urađena pomoću Pirsonovog koeficijenta korelacije ( $r$ ). Konkurentna validnost NMK i IM (prediktorska, odnosno nezavisna varijabla) u odnosu na IK (zajednička zavisna

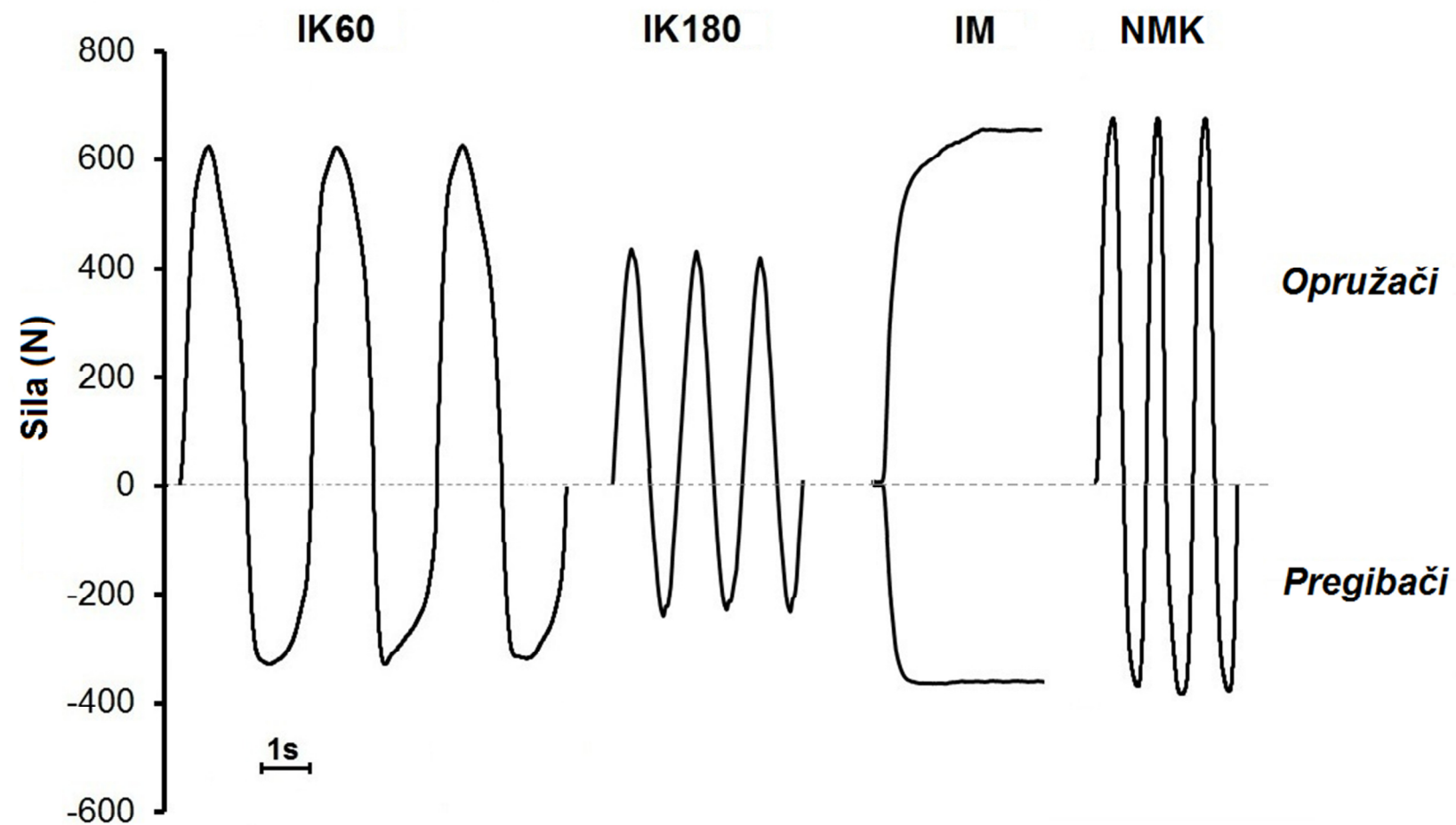
varijabla) bila je procenjena pomoću Meng-ovog testa za korelisane koeficijente korelacija (Meng, Rosenthal et al. 1992).

Određeno je da prag značajnosti statističkih nalaza bude na nivou poverenja od  $p = 0.05$ . Svi statistički testovi računati su korišćenjem SPSS 20.0 softvera (SPSS Inc, Chicago, IL) i Office Excel 2010 (Microsoft Corporation, Redmond, WA).

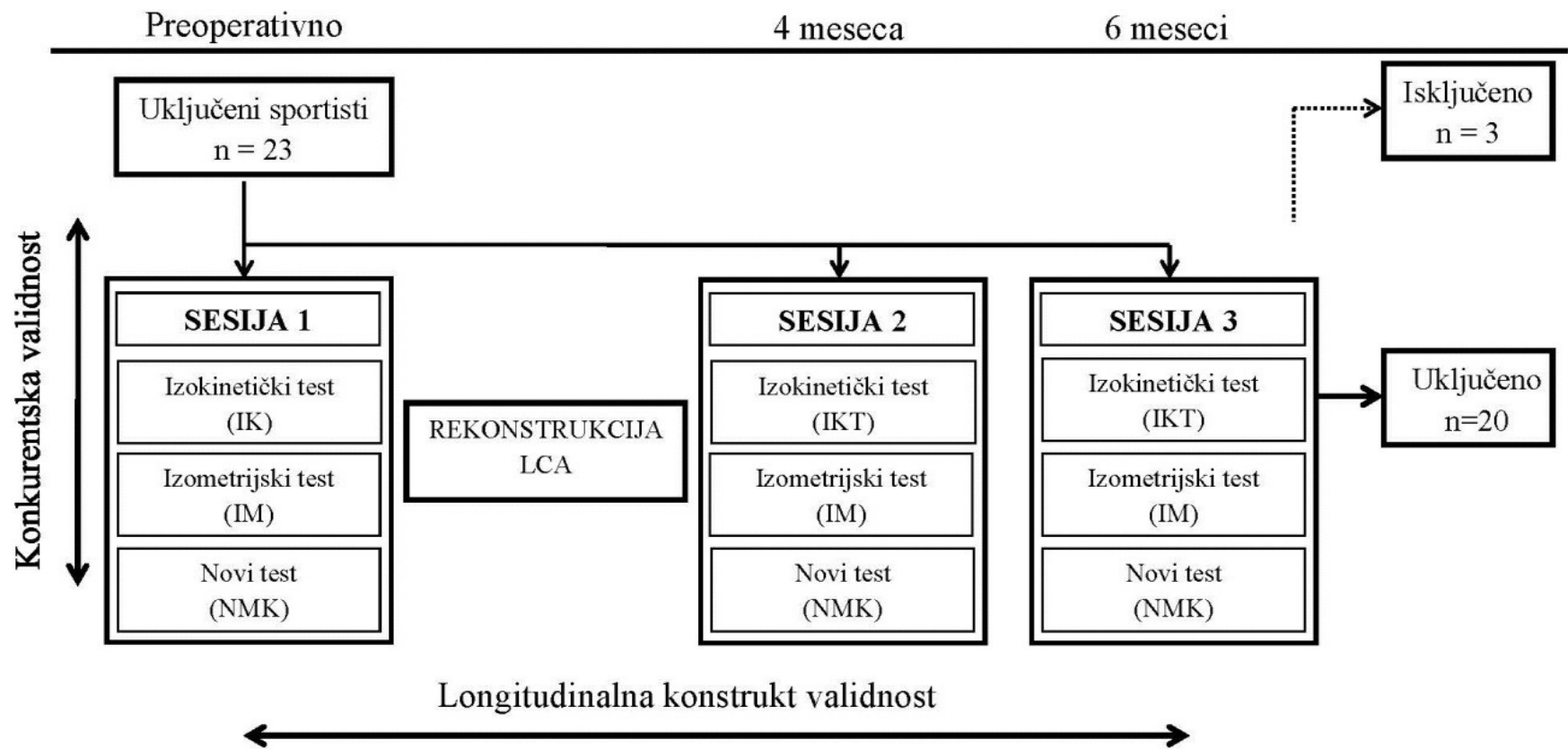
### **6.3. Rezultati**

**Slika 12** predstavlja šematski prikaz dizajna Eksperimenta 3.

Tipični profili sile dobijeni u IK, IM i NMK testovima su prikazani na **Slika 1**. Kao što je očekivano, maksimalne sile ispoljene u koncentričnim izokinetičkim kontrakcijama izvedenim pri manjoj (IK60), a posebno većoj ugaonoj brzini (IK180) bile su niže od maksimalnih sila ispoljenih u testovima zasnovanim na izometrijskim kontrakcijama (IM i NMK).



**Slika 11.** Ilustracija profila sile dobijenih iz testova za procenu neuromišićne funkcije. Na slici su prikazana srednja tri ciklusa iz profila sile dobijenih iz izokinetičkih testova (IK60 I IK120) i novog testa zasnovanog na *naizmeničnim maksimalnim kontrakcijama* (NMK), kao i maksimalna vrednost sile iz IM testa. Sile pregibača prikazane su kao negativne vrednosti.



Slika 12. Šematski prikaz dizajna Eksperimenta 3

## Longitudinalna konstrukt validnost

Pokazatelji longitudinalne konstrukt validnosti momenata sile izmerenih u preoperativnoj i dve postoperativne sesije ukazuju da ni u jednom testu nisu dobijene značajne razlike između sesija u *M* opružača i pregibača zdrave noge (**Tabela 9**). Međutim, kod operisane noge, u svim testovima bio je zabeležen značajan efekat sesije za *M* opružača. Srednje vrednosti *M* dobijene u drugoj sesiji (S2; 4 meseca posle operacije) bile su značajno niže od vrednosti *M* koje su dobijene u prvoj (S1; preoperativno), odnosno u trećoj sesiji (S3; 6 meseci postoperativno). U testu zasnovanom na NMK zabeležene su izuzetno velike relativne razlike između uzastopnih sesija (izražene preko promene u srednjoj vrednosti). Efekat sesije na vrednost *M* pregibača operisane noge bio je značajan samo u NMK testu, usled nižih vrednosti momenta sile zabeleženih u S2 u poređenju sa S3. Koeficijent varijacije, kao mera ponovljivosti rezultata, je kod zdrave noge (svi CV bili su manji od 13.5%) bio niži nego kod operisane (11.7-22.1%). ICC je uglavnom bio umeren do visok za obe mišićne grupe zdrave noge, dok je kod opružača operisane noge bio nizak (za IM i NMK) i visok (za IK).

**Tabela 10** prikazuje pokazatelje longitudinalne konstrukt validnosti *OPO* i *RDJ*. Razlike između uzastopnih sesija bile su uglavnom značajne kod obe varijable, usled narušene mišićne funkcije opružača operisane noge. Kod odnosa jačine pregibača i opružača, CV zdrave noge (10.4-15.5%) bio je nešto niži nego kod operisane noge (14.1-25.2%). ICC je uglavnom bio nizak, sa izuzetkom *OPO* zdrave noge koji su dobijeni iz IM i NMK, za koje je dobijen umeren ICC. Što se tiče relativnog deficita jačine, ANOVA je kod svih testova pokazala značajan efekat sesije za *RDJ* opružača, ali ne i *RDJ* pregibača. CV je uglavnom bio visok za *RDJ* obe mišićne grupe, dok je ICC u proseku bio nizak do umeren.



**Tabela 9.** Deskriptivni pokazatelji longitudinalne konstrukt validnosti momenata sile dobijenih primenom izokinetičkih (IK60 I IK180) i izometrijskih testova (IM I NMK)

	<i>M</i> (S1)	<i>M</i> (S2)	<i>M</i> (S3)		Promena SV	Promena SV	CV %	ICC <sub>3,1</sub>	95% IP
	SV ± SD	SV ± SD	SV ± SD	<i>F</i>	S2-S1 %	S3-S2 %			
<i>Opružać zdrava noga</i>									
IK60	170 ± 36	176 ± 38	179 ± 40	2.3	3.5	1.7	7.4	0.91	0.83-0.96
IK180	125 ± 24	126 ± 26	129 ± 32	0.3	0.8	2.4	8.7	0.87	0.77-0.94
IM	212 ± 53	213 ± 55	225 ± 50	2.1	0.5	5.6	12.2	0.80	0.65-0.89
NMK	197 ± 47	202 ± 44	211 ± 45	1.7	2.5	4.5	9.0	0.83	0.70-0.91
<i>Pregibač zdrava noga</i>									
IK60	104 ± 21	107 ± 21	111 ± 21	1.1	2.9	3.7	9.6	0.80	0.65-0.90
IK180	89 ± 22	85 ± 17	84 ± 14	4.0*	-4.5	-1.2	10.9	0.77	0.59-0.88
IM	107 ± 25	105 ± 26	110 ± 22	0.8	-1.9	4.8	13.5	0.74	0.54-0.86
NMK	104 ± 21	107 ± 21	111 ± 21	3.7*	2.9	3.7	12.6	0.81	0.67-0.90
<i>Opružać operisana noga</i>									
IK60	130 ± 38	101 ± 35 <sup>†</sup>	122 ± 37 <sup>‡</sup>	8.1**	-22.3	20.8	18.1	0.80	0.64-0.89
IK180	102 ± 23	84 ± 22 <sup>†</sup>	99 ± 31 <sup>‡</sup>	6.6**	-17.6	17.9	14.0	0.80	0.64-0.89
IM	180 ± 41	142 ± 48 <sup>‡</sup>	165 ± 40 <sup>‡</sup>	8.9**	-21.1	16.2	20.9	0.60	0.36-0.77
NMK	166 ± 44	125 ± 45 <sup>†</sup>	150 ± 40 <sup>‡</sup>	6.6**	-24.7	20.0	22.1	0.58	0.33-0.76
<i>Pregibač operisana noga</i>									
IK60	96 ± 32	92 ± 24	99 ± 24	1.3	-4.2	7.6	17.2	0.74	0.55-0.86
IK180	79 ± 19	76 ± 17	79 ± 16	1.7	-3.8	3.9	11.7	0.77	0.60-0.88
IM	104 ± 21	107 ± 21	111 ± 21	2.4	2.9	3.7	16.8	0.70	0.50-0.84
NMK	78 ± 19	77 ± 26	86 ± 20 <sup>†</sup>	3.9*	-1.3	11.7	13.2	0.83	0.69-0.91

*M* - moment sile (Nm); S1 - preoperativno merenje; S2 - merenje na 4 meseca postoperativno; S3 - merenje na 6 meseci postoperativno; *F* vrednost - ANOVA za ponovljena merenja; CV - koeficijent varijacije; ICC - intraklasni koeficijent korelacije; IP - interval pouzdanosti;

\* značajan efekat sesije na nivou  $p < 0.05$ ; \*\* značajan efekat sesije na nivou  $p < 0.01$ ; <sup>†</sup> značajno različito od prethodne sesije na nivou  $p < 0.05$ ; <sup>‡</sup> značajno različito od prethodne sesije na nivou  $p < 0.01$ .

**Tabela 10.** Deskriptivni pokazatelji longitudinalne konstrukt validnosti *OPO* i *RDJ* dobijenih primenom izokinetičkih i izometrijskih testova

	S1	S2	S3		Promena SV	Promena SV	CV %	ICC <sub>3,1</sub>	95% IP
	SV ± SD	SV ± SD	SV ± SD	F	S2-S1 %	S3-S2 %			
<b><i>OPO</i></b>									
Zdrava noga									
IK60	0.62 ± 0.09	0.62 ± 0.09	0.64 ± 0.13	0.16	0.0	3.2	15.5	0.42	0.13-0.65
IK180	0.71 ± 0.09	0.69 ± 0.11	0.65 ± 0.08	0.80	-2.8	-5.8	11.1	0.40	0.12-0.64
IM	0.51 ± 0.11	0.50 ± 0.07	0.50 ± 0.07	0.78	-2.0	0.0	10.4	0.69	0.49-0.83
NMK	0.46 ± 0.11	0.46 ± 0.08	0.48 ± 0.07	0.65	0.0	4.3	11.1	0.73	0.55-0.86
Operisana noga									
IK60	0.73 ± 0.11	0.98 ± 0.32	0.86 ± 0.27 <sup>†</sup>	5.52 <sup>*</sup>	34.2	-12.2	17.7	0.62	0.38-0.79
IK180	0.78 ± 0.10	0.93 ± 0.19	0.85 ± 0.23	3.43 <sup>*</sup>	19.2	-8.6	14.1	0.57	0.31-0.76
IM	0.52 ± 0.11	0.62 ± 0.21	0.59 ± 0.16	3.78 <sup>*</sup>	19.2	-4.8	22.1	0.56	0.26-0.72
NMK	0.49 ± 0.15	0.63 ± 0.21 <sup>†</sup>	0.53 ± 0.13	5.74 <sup>**</sup>	28.6	-15.9	25.2	0.44	0.16-0.67
<b><i>RDJ</i></b>									
Opružrač									
IK60	76.2 ± 19.6	57.4 ± 13.4 <sup>†</sup>	77.1 ± 16.9 <sup>‡</sup>	6.17 <sup>*</sup>	-24.7	34.3	15.0	0.62	0.38-0.79
IK180	80.8 ± 14.2	67.2 ± 13.3 <sup>†</sup>	77.1 ± 16.8 <sup>‡</sup>	7.34 <sup>**</sup>	-16.8	14.7	19.0	0.67	0.45-0.82
IM	84.8 ± 12.2	66.3 ± 13.1 <sup>‡</sup>	74.2 ± 12.6 <sup>‡</sup>	15.50 <sup>**</sup>	-21.8	11.9	12.1	0.68	0.46-0.83
NMK	84.4 ± 19.2	62.6 ± 17.8 <sup>†</sup>	70.4 ± 14.9	8.35 <sup>**</sup>	-25.8	12.5	19.8	0.57	0.31-0.76
Pregibač									
IK60	85.8 ± 21.7	85.2 ± 14.1	89.1 ± 14.4	0.57	-0.7	4.6	17.5	0.45	0.16-0.68
IK180	89.2 ± 17.0	89.5 ± 14.4	94.0 ± 11.4	1.56	0.3	5.0	9.9	0.66	0.44-0.82
IM	85.4 ± 16.4	77.6 ± 14.9	85.1 ± 14.6	1.15	-9.2	9.8	17.6	0.31	0.00-0.59
NMK	88.8 ± 17.5	82.4 ± 16.2	87.7 ± 15.1	1.15	-7.2	6.4	13.5	0.61	0.37-0.79

S1 - mereno preoperativno; S2 - mereno 4 meseca postoperativno; S3 - mereno 6 meseci postoperativno; F vrednost - ANOVA sa ponovljenim merenjima; CV - koeficijent varijacije; ICC - intra-klasni koeficijent korelacije; IP - interval pouzdanosti;

\* značajan efekat sesije na nivou  $p < 0.05$ ; \*\* značajan efekat sesije na nivou  $< 0.01$ ; <sup>†</sup> značajno različito od prethodne sesije na nivou  $p < 0.05$ ; <sup>‡</sup> značajno različito od prethodne sesije na nivou  $p < 0.01$ .

## Konkurentska validnost

Procena konkurentske validnosti izometrijskih testova (IM i NMK) u odnosu na izokinetičke testove (IK60 i IK180), izvršena je na osnovu koeficijena korelacija između odgovarajućih varijabli. Koeficijenti korelacije momenata sile uglavnom su bili umereni do visoki, kako između IM i IK, tako i između NMK i IK (**Tabela 11**). Za ispitivanje razlika između koeficijenata korelacije dobijenih između IM i IK, i između NMK i IK korišćen je Meng-ov test, pri čemu nisu dobijene značajne razlike ( $p > 0.05$ ).

Kada je reč o konkurentske validnosti odnosa jačine pregibača i opružača (*OPO*), koeficijenti korelacije između IM i IK, odnosno između NMK i IK, su u proseku bili niski kod zdrave noge ( $p > 0.05$ ), a umereni i uglavnom značajni kod operisane noge (**Tabela 12**). Meng-ov test je pokazao da nema značajnih razlika između koeficijenata korelacija koji su dobijenih između IM i IK i onih koji su dobijeni između NMK i IK. Jedini izuzetak se odnosi na koeficijente korelacije za *OPO* operisane noge, koji su dobijeni u preoperativnoj sesiji (S1). Što se tiče konkurentske validnosti relativnog deficita jačine, oba izometrijska testa imala su umerene i značajne korelacije sa IK, i kod pregibača i kod opružača. Kao i kod *OPO*, Meng-ov test je pokazao da su razlike između odgovarajućih koeficijenata korelacije između IM i IK u odnosu na korelacije između NMK i IK bile značajne samo za *RDJ* pregibača dobijene u preoperativnoj sesiji (S1), dok u svim ostalim slučajevima nije bilo značajnih razlika (**Tabela 12**).

**Tabela 11.** Konkurentna validnost izražena preko Pirsonovog koeficijenta korelacije između momenata sila momenata sile dobijenih iz izometrijskih testova (IM i NMK) u odnosu na izokinetičke testove (IK60 i IK180)

	Preoperativno				4 meseca				6 meseci			
	IK60**	Z	IK180	Z	IK60	Z	IK180	Z	IK60	Z	IK180	Z
<b>Opružać zdrava noga</b>												
IM	0.69		0.63	-0.93	0.87		0.78	0.00	0.74		0.85	-1.43
NMK	0.66	0.40	0.70		0.84	0.53	0.78		0.84	-1.42	0.92	
<b>Pregibač zdrava noga</b>												
IM	0.67		0.76	0.94	0.81		0.80	-0.39	0.73		0.79	-0.29
NMK	0.69	-0.15	0.64		0.77	0.49	0.83		0.71	0.24	0.81	
<b>Opružać operisana noga</b>												
IM	0.66		0.71	0.86	0.83		0.76	-0.33	0.80		0.71	-0.75
NMK	0.62	0.54	0.65		0.87	-0.83	0.78		0.88	-1.32	0.77	
<b>Pregibač operisana noga</b>												
IM	0.58		0.54	-0.21	0.86		0.78	1.00	0.72		0.80	-0.36
NMK	0.63	-0.37	0.57		0.74	1.57	0.69		0.77	-0.50	0.83	

Z vrednost - Meng test za ispitivanje razlika između korelisanih koeficijenata korelacije.

\* Svi koeficijenti korelacije > 0.41 značajni na nivou ( $p < .05$ ); \*\* Svi koeficijenti korelacije > 0.60 značajni na nivou ( $p < .01$ ).

**Tabela 12.** Konkurentna validnost momenata sila izražena preko Pirsonovog koeficijenta korelacije između *OPO* i *RDJ* dobijenih u izometrijskim testovima (IM i NMK) u odnosu na izokinetičke testove (IK60 i IK180)

	Preoperativno				4 meseca				6 meseci			
	IKT60*	Z†	IKT180	Z	IKT60	Z	IKT180	Z	IKT60	Z	IKT180	Z
<b><i>OPO</i></b>												
Zdrava noga												
IM	-0.09	-1.58	0.56	-0.61	0.37	0.53	0.36	0.20	0.31	0.12	0.18	-0.64
NMK	0.26		0.66		0.26		0.32		0.28		0.34	
Operisana												
IM	-0.06	-2.08	0.45	0.46	0.73	0.27	0.68	0.49	0.72	0.00	0.70	-0.77
NMK	0.34		0.37		0.70		0.62		0.72		0.79	
<b><i>RDJ</i></b>												
Opružać												
IM	0.78	1.30	0.74	0.73	0.81	-0.45	0.73	0.46	0.66	-0.90	0.64	0.61
NMK	0.66		0.67		0.84		0.69		0.75		0.57	
Pregibač												
IM	-0.05	-2.89	0.32	-0.37	0.76	1.29	0.66	0.30	0.39	-0.30	0.64	-0.97
NMK	0.66		0.41		0.56		0.61		0.43		0.74	

Z vrednost - Meng test za ispitivanje razlika između korelisanih koeficijenata korelacije; IM - izometrijski test; NMK - naizmenične maksimalne kontrakcije.

\* Svi koeficijenti korelacije > 0.41 značajni na nivou ( $p < 0.05$ ); \*\* Svi koeficijenti korelacije > 0.60 značajni na nivou ( $p < 0.01$ ); † Z vrednost > 2.00 ukazuje na značajne razlike između odgovarajućih koeficijenata korelacije ( $p < 0.05$ ).

## 6.4. Diskusija

Glavni cilj Eksperimenta 3 bio je da se kroz proveru longitudinalne konstrukt validnosti ispita osetljivost mera jačine dobijenih iz rutinski korišćenih izokinetičkih testova (IK60 i IK180), izometrijskog testa (IM) i novog testa zasnovanog na *naizmeničnim maksimalnim kontrakcijama* (NMK) pomoću kojih je mišićna funkcija procenjena preoperativno, i postoperativno tokom procesa rehabilitacije nakon rekonstrukcije LCA. Dobijeni nalazi ukazuju da oba testa zasnovana na izometrijskim kontrakcijama mogu imati sličan nivo longitudinalne konstruktivne validnosti i osetljivosti kao i rutinski korišćeni izokinetički test. Pored toga, ispitana je i konkurentna validnost izometrijskih testova (IM i NMK) u odnosu na izokinetičke testove (IK60 i IK180). Dobijeni rezultati generalno ukazuju da bi novi test NMK mogao imati sličnu konkurentnu validnost kao i standardni IM test.

### Longitudinalna konstrukt validnost

Zabeležene promene u mišićnoj funkciji koje su povezane sa primenjenim terapijskim procedurama (operacija, a potom i rehabilitacija) generalno su u skladu sa postavljenim konstruktom o promenama. U prilog tome govore značajni efekti ponovljenih merenja, zajedno sa većim koeficijentom varijacije i nižim intraklasnim koeficijentom korelacija direktno merenih i izvedenih varijabli dobijenih kod operisane noge. Iz toga sledi da bi rezultati dobijeni u ovoj studiji mogli predstavljati dokaz longitudinalne konstrukt validnosti, odnosno osetljivosti evaluiranih testova mišićne funkcije. Kao što je pretpostavljeno, značajne promene zabeležene su u  $M$  i odgovarajućem  $RDJ$  opružača operisane noge, dobijenim primenom izokinetičkih, i standardnog izometrijskog testa (IM) tokom 6 meseci praćenja mišićne funkcije. Međutim, u mišićnoj funkciji pregibača operisane noge, kao i oba mišića zdrave noge, nisu zabeležene značajne promene tokom vremena, što je konstruktom o promenama i pretpostavljeno. S obzirom da je ovom studijom evaluiran i novi test za procenu mišićne funkcije zasnovan na *naizmeničnim maksimalnim kontrakcijama*, posebno značajan nalaz mogao bi biti to da su pomoću NMK zabeležene promene koje su bile iste ili čak izraženije nego kod IM ili IK. Pri tome, promene nisu zabeležene samo u vrednostima momenata sile opružača operisane noge i odgovarajućem  $RDJ$ , već i u  $M$  pregibača, kao

i u *OPO* operisane noge. Naime, *M* i *RDJ* opružača u drugoj sesiji (4 meseca nakon RLCA) bio je niži nego u prvoj (mereno preoperativno) i trećoj sesiji (mereno 6 meseci nakon RLCA). Niže vrednosti *M* i *RDJ* zabeležene u drugoj sesiji mogle bi da budu posledica hirurškog zahvata. Iako su razlike između sesija u odnosu pregibača i opružača (*OPO*) bile značajne samo kada su korišćeni testovi IK60 i NMK, ukupne relativne promene u srednjoj vrednosti bile su dovoljno velike da ukažu na to da *OPO* može da zabeleži pretpostavljene promene u odnosu jačine antagonističkog para mišića, koje se dešavaju tokom procesa rehabilitacije.

U okviru analize longitudinalne validnosti, prikazani su i podaci o CV i ICC direktno merenih i izvedenih mera jačine koje su dobijene primenom izokinetičkih i izometrijskih testova. Ovi nalazi pokazuju da su (za razliku od *M* opružača i *OPO* operisane noge), vrednosti *M* opružača i *OPO* zdrave noge bile relativno stabilne u sve tri sesije. Međutim, i pored toga što odgovarajući CV i ICC ukazuju da na visoke varijabilitete (unutar-ispitanika [eng. within-individual], i između sesija [eng. between-session]) izvedenih varijabli operisane noge, ove mere bi ipak mogle biti pogodne za detekciju izraženih razlika u mišićnoj funkciji, kao što su one koje su povezane sa primenom rehabilitacionih procedura.

Pregledom postojeće literature nisu pronađene studije u kojima je vršena procena longitudinalne konstrukt validnosti izokinetičkih i izometrijskih mera mišićne funkcije osoba sa povredom i rekonstrukcijom LCA. Ipak, treba imati u vidu da su dobijeni rezultati koji ukazuju na značno slabljenje mišićne funkcije opružača nakon rekonstrukcije LCA (procenjene pomoću IK i IM i NMK testova), u saglasnosti sa ranijim istraživanjima u kojima su korišćeni izokinetički i izometrijski testovi (Neeter, Gustavsson et al. 2006; Moisala, Jarvela et al. 2007; Lautamies, Harilainen et al. 2008; Eitzen, Eitzen et al. 2010; Kadija, Knezevic et al. 2010; Knezevic, Mirkov et al. 2012).

Iako se izokinetički testovi najčešće koriste u proceni mišićne funkcije nakon RLCA (za detalje pogledati prethodni tekst), u literaturi se ne mogu naći podaci koji se tiču evaluacije izometrijskih testova kada se primenjuju u proceni oporavka pacijenata nakon RLCA. Zbog toga, značajno moglo bi biti to što su rezultati ovde korišćenih izometrijskih testova (IM i NMK) generalno bili slični nalazima prethodnih studija u kojima je ispitivana pouzdanost (CV i ICC) izokinetičkih mera jačine zdravih ispitanika,

ali i ispitanika sa RLCA. Naime, prema navodima prethodnih istraživanja, momenti sile dobijeni iz različitih izokinetičkih testova mogli bi biti pouzdaniji i stabilniji od izvedenih varijabli (*OPO* i *RDJ*) (Sole, Hamren et al. 2007; Impellizzeri, Bizzini et al. 2008; Staehli, Glatthorn et al. 2010). Međutim, ti rezultati dobijeni su u studijama koje su imale transverzalni dizajn, dakle u okviru samo jedne sesije, testiranjem zdravih i fizički aktivnih ispitanika. Pouzdanost *M* i *RDJ* opružaća u zglobu kolena ispitanika sa RLCA ispitivali su Ros i sar. (2002) međutim, izokinetička testiranja su sprovedena između 12-og i 72-og meseca posle operacije. U jednoj od prvih studija u kojoj je *OPO* korišćen kao mera odnosa jačine antagonističkog para mišića kod RLCA populacije (Kannus 1988), i iako pouzdanost nije direktno ispitivana, autor je naveo da čak i kod zdrave noge *OPO* ima veliki varijabilitet između ispitanika (opseg 31-80%).

Rezultati dobijeni u ovom Eksperimentu, a koji se tiču većeg varijabiliteta i manje pouzdanosti izvedenih varijabli (*OPO* i *RDJ*) u odnosu na direktno merene (*M*), mogli bi biti objašnjeni time da su uzorak ispitanika činili sportisti iz različitih sportskih grana (fudbaleri, rukometaši, džudisti), kao i to da nisu svi jednakim tempom napredovali kroz oporavak, iako su bili podvrgnuti istom programu rehabilitacije nakon RLCA. S obzirom da je na osnovu rezultata prethodnih istraživanja bilo očekivano da korišćeni izokinetički dinamometar tipa KinCom ima izuzetno visoku pouzdanost (Kannus 1988; Pua, Bryant et al. 2008), kao i to da je jedan iskusan ispitivač realizovao sva merenja, moglo bi se zaključiti da razlike u mišićnoj funkciji između sesija, generalno potiču od primenjenih terapijskih procedura (tj. operacije LCA, praćene rehabilitacijom).

Nalazi dobijeni u okviru Eksperimenta 3 ukazuju da su pokazatelji longitudinalne konstrukt validnosti IM i NMK uporedivi sa rutinski korišćenim IK testovima, što bi moglo biti važno u situacijama gde nije moguće koristiti izokinetički dinamometar. U tim slučajevima, za procenu mišićne funkcije nakon povrede ili rekonstrukcije LCA, ali i kod drugih kliničkih populacija mogu se koristiti ili standardni IM test ili novi NMK test. I pored toga što su merne karakteristike NMK uporedive sa karakteristikama IM testa, prilikom izbora testa treba imati u vidu da *naizmenične maksimalne kontrakcije* mogu imati niz važnih metodoloških prednosti u odnosu na IM. To se pre svega odnosi na kratku i jednostavnu proceduru testiranja antagonističkog



para mišića u samo jednom pokušaju, pri čemu se mišići i vezivno tkivo izlažu kratkotrajnim opterećenjima koja ne dovode do značajnijeg zamora, samo su neke od prednosti NMK u poređenju sa IM testom (Suzovic, Nedeljkovic et al. 2008; Bozic, Suzovic et al. 2011; Bozic, Pazin et al. 2012; Knezevic, Mirkov et al. 2012).

#### Konkurentska validnost

Zaključci dobijeni na osnovu izokinetičkih i izometrijskih mera podržani su nalazima prethodnih istraživanja, na osnovu kojih se može zaključiti da su IK testovi izuzetno značajno sredstvo za procenu mišićne funkcije (Kannus 1988; Dvir 1995; Wilson, Lyttle et al. 1995; Sole, Hamren et al. 2007). Na osnovu toga, povezanost između mera jačine dobijenih iz NMK i onih koje su dobijene iz rutinski korišćenih IK testova, mogla bi se interpretirati kao indeks konkurentske validnosti naizmeničnih maksimalnih kontrakcija. Pokazatelji konkurentske validnosti NMK uporedivi su sa pokazateljima validnosti standardnog izometrijskog testa (IM).

Rezultati analize konkurentske validnosti ukazuju na generalno umerenu do visoku validnost momenata sile dobijenih iz NMK i IM, dok je validnost *OPO* i *RDJ* bila nešto niža. Nivo povezanosti između odgovarajućih izokinetičkih i izometrijskih M, koji je dobijen u ovoj studiji u skladu je sa nalazima prethodnih istraživanja (Knapik, Bauman et al. 1991; Lord, Aitkens et al. 1992). Sličan nivo konkurentske validnosti NMK u odnosu na IM dobijen je i prilikom evaluacije ovog testa na mladim i fizički aktivnim ispitanicima (Bozic, Pazin et al. 2012). Kada je reč o *RDJ*, rezultati ove studije slični su nalazima Reinkinga i saradnika (1996) koji su umerenu povezanost između izokinetičkog i izometrijskog *RDJ* objasnili kao posledicu varijabilnosti u relativnom deficitu između dva testa. Istraživanja u kojima je izvršena procena izokinetičkog i izometrijskog *OPO* su brojna (Kannus 1988; Hole, Smit et al. 2000; Mattacola, Perrin et al. 2002; Holcomb, Rubley et al. 2007; Lautamies, Harilainen et al. 2008; Kadija, Knezevic et al. 2010; Zebis, Andersen et al. 2011), međutim u tim studijama nije ispitivana i povezanost između ta dva testa, za koju su u ovom eksperimentu dobijene niske do umerene korelacije. Pored longitudinalne konstrukt validnosti (videti prethodne pasuse), dobijeni pokazatelji konkurentske validnosti ukazuju da bi se NMK, zajedno sa IM testom, mogao rutinski primenjivati u proceni mišićne funkcije nakon povrede LCA, a potencijalno i kod drugih kliničkih populacija.

Potencijalni nedostaci ove studije mogli bi poticati od relativno manjeg uzorka ispitanika, koji bi se mogao smatrati nehomogenim s obzirom da su ga činili sportisti iz različith sportskih grana. Pored toga, možda bi rezultati bili nešto drugačiji da je uzorak ispitanika bio drugačiji (sportistkinje, ili pak rekreativci), ili da je korišćen neki drugi program rehabilitacije nakon rekonstrukcije LCA. Treba imati u vidu da su u studiju bili uključeni samo ispitanici kod kojih je RLCA urađena korišćenjem grafta sa ligamenta patele, dok oni kod kojih je korišćena druga tehnika zamene pokidanog ligamenta (graft sa tetive mišića zadnje lože buta) nisu bili uključeni u studiju, što je takođe moglo uticati na dobijene rezultate. Nedostatak studije moglo bi biti i to da je nakon povrede i RLCA mišićna funkcija sportista procenjivana isključivo na osnovu varijabli dobijenih iz sile, ali ne i iz brzine razvoja sile. Naime, prema navodima nekoliko nedavnih istraživanja (Maffiuletti, Bizzini et al. 2010; Zebis, Andersen et al. 2011; Angelozzi, Madama et al. 2012), postoje indicije da bi mere zasnovane na brzini razvoja sile (značajne za brze i eksplozivne akcije kao što su skokovi, šutevi, udarci i sl.) mogle biti važne dodatne mere za praćenje oporavka nakon RLCA. U budućim istraživanjima trebalo bi ispitati prethodno pomenute nedostatke. Takođe, neophodno je ispitati spoljašnju validnost NMK u odnosu na funkcionalne testove koji su specifični za praćenje oporavka nakon RLCA (testovi za procenu rotatorne stabilnosti kolena, artrometriju i druge), kao i evaluaciju NMK u praćenju drugih kliničkih populacija.

Ova studija je jedna od prvih u kojoj je procena osetljivosti direktno merenih (M) i izvedenih varijabli (*OPO* i *RDJ*) dobijenih iz rutinski korišćenih izokinetičkih i izometrijskih (IM) testova ispitana kroz koncept longitudinalne konstrukt validnosti. Pored karakteristika standardnih testova, ispitane su i merne karakteristike novog testa zasnovanog na *naizmeničnim maksimalnim kontrakcijama* (NMK). Generalno, prikazani rezultati ukazuju na zadovoljavajuću longitudinalnu konstrukt validnost momenata sile dobijenih primenom testova za procenu mišićne funkcije (IK, IM i NMK). Iako su pokazatelji ovog tipa validnosti bili nešto niži za *OPO* i *RDJ*, ipak se može smatrati da ove dve izvedene varijable imaju dovoljnu osetljivost da zabeleže promene u mišićnoj funkciji pregibača i opružača koje su povezane sa rekonstrukcijom LCA i postoperativnim rehabilitacionim procedurama. Od posebnog značaja mogli bi biti nalazi koji se odnose na pokazatelje longitudinalne konstrukt validnosti novog NMK testa, koji su bili slični onima kod IM i IK, kao i umerena do visoka konkurentska

validnost NMK u odnosu na rutinski primenjivani IK test, koja je uporediva sa istim tipom validnost IM testa. Uzimajući u obzir metodološke prednosti NMK u odnosu na IM, nalazi ove studije ukazuju da bi se test zasnovan na *naizmeničnim maksimalnim kontrakcijama* mogao primenjivati kao alternativan IK i IM testovima.

## 7. ZAKLJUČAK

Cilj ovog istraživanja odnosio se na ispitivanje primenljivosti novog testa zasnovanog na naizmeničnim maksimalnim kontrakcijama (NMK) za procenu neuromišićne funkcije nakon povrede i rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta, koja je obuhvatila upoređivanje sa izokinetičkim (IK) i izometrijskim testom (IM) u pogledu pouzdanosti, validnosti i osetljivosti za procenu i praćenje postoperativnog oporavka. Na osnovu nalaza sprovedenih istraživanja može se zaključiti da su metrijske karakteristike novog testa slične i uporedive sa karakteristikama testova koji se standardno koriste u proceni oporavka nakon RLCA. Međutim i pored toga, novi test ipak ima čitav niz metodoloških prednosti na osnovu kojih bi mogao biti alternativan u praćenju napretka tokom rehabilitacije.

Pokazano je da se izabrani ugao za primenu NMK kod sportista sa povredom LCA nalazi u opsegu uglova u kojima antagonistički par mišića ispoljava svoje maksimalne momente sile. Još važnije, taj ugao nalazi se u opsegu uglova koji se smatraju bezbednim za procenu jačine u ranoj fazi oporavka, jer pri fleksionim uglovima koji su veći od 40° kontrakcija opružača ne dovodi do izražene prednje translacije tibije koja bi mogla opteretiti rekonstruisani ligament. Pored toga pokazano je da se primenom NMK pri izračunatom uglu dobijaju validne mere jačine.

Dobijeni nalazi koji se tiču pouzdanosti, validnosti i osetljivosti NMK kada je primenjen za procenu neuromišićne funkcije nakon rekonstrukcije LCA, potvrđuju prethodno postavljene pretpostavke. Rezultati Eksperimenta 2 pokazali su da se pomoću NMK jačina može proceniti na podjednako pouzdan i validan način kao i kada se koriste standardni izometrijski i izokinetički testovi. Pored toga, NMK ima adekvatnu osetljivost za registrovanje deficita u jačini između zdave i operisane noge, odnosno neuravnoteženosti u jačini antagonističkog para mišića.

S obzirom da pojedini autori naglašavaju potrebu praćenja oporavka mišićne funkcije tokom procesa rehabilitacije, bilo je neophodno ispitati i longitudinalnu konstrukt validnost direktno merenih i izvedenih mera jačine (Eksperiment 3). Generalno, dobijeni rezultati ukazuju na zadovoljavajuću longitudinalnu konstrukt

validnost direktno merenih i izvedenih varijabli dobijenih primenom testova za procenu mišićne funkcije (IK, IM i NMK). Od posebnog značaja mogli bi biti nalazi koji se odnose na pokazatelje longitudinalne konstrukt validnosti novog NMK testa, koji su bili slični onima kod IM i IK, kao i umerena do visoka konkurentska validnost NMK u odnosu na rutinski primenjivani IK test, koja je uporediva sa istim tipom validnost IM testa.

Iako procena veličine deficita jačine nije bila primarni cilj istraživanja u okviru Eksperimenta 3, ipak, razlike koje su uočene u jačini između operisane i zdrave noge, veće su od onih koje su očekivane 6 meseci nakon operacije. Naime, sportistima se obično već 6 meseci nakon rekonstrukcije ligamenta dozvoljava povratak takmičenju [13]. Kao što je ranije navedeno, poželjno je da u tom periodu jačina operisane noge iznosi 85 do 90 % od jačine zdrave noge, kako bi se uklonila sva ograničenja u vezi dozvoljenih oblika kretanja i nesmetanog povratka sportskom takmičenju (Li, Maffulli et al. 1996; Neeter, Gustavsson et al. 2006; Micheo, Hernandez et al. 2010). Međutim, nalazi dobijeni u ovo istraživanju potvrdili su nalaze brojnih studija u kojima su zabeleženi deficiti koji su bili veći od preporučenog kriterijuma, zabeleženi i do godinu dana nakon operacije (Anderson, Lamb et al. 2002; Mattacola, Perrin et al. 2002; Nyland, Caborn et al. 2003; Neeter, Gustavsson et al. 2006; Risberg, Holm et al. 2007). Dakle, nalazi ove studije potvrđuje potrebu za kontinuiranim, longitudinalnim praćenjem oporavka neuromišićne funkcije, uz uključivanje preoperativne procene kada god je to moguće. Time bi se omogućilo da preoperativne mere služe kao kriterijum za praćenje promena kod operisane noge, umesto uobičajene prakse da zdrava noga bude kriterijum oporavka. Takav pristup opravdan je činjenicom da nakon operacije može doći ili do značajnog slabljenja mišićne funkcije čak i kod zdrave noge [37, 50], ili pak do njenog jačanja usled izraženog oslanjanja na zdravu nogu kako bi se pošteđela operisana, što može značajno uticati na to da postoperativne mere (pre svega *OPO* i *RDJ*) ne daju pravi uvid u veličinu deficita jačine kod operisane noge.

S obzirom da je rekonstrukcija LCA neizostavno praćena izraženim deficitima u jačini mišića operisane noge, jasno je zašto su testovi za procenu mišićne funkcije sastavni deo procedura koje se koriste u praćenju oporavka. Tim testovima se na bezbedan i kontrolisan način procenjuje funkcija izolovanog mišića što je posebno

važno u ranoj fazi rehabilitacije kada nije moguće koristiti druge, funkcionalne testove (skokovi itd.). Nezavisno od toga koji test se koristi za procenu funkcije mišića, on mora biti takav da daje pouzdane mere koje će biti povezane sa funkcionalnim sposobnostima povređene/operisane noge i na osnovu kojih se može steći uvid u veličinu deficita. Treba imati na umu da na varijable (posebno *OPO*) koje se dobijaju iz testova utiču brojni faktori; izabrani metod procene jačine, ugaona brzina ugaonog zglobu. Iz tog razloga, preporuka bi bila da se prilikom donošenja odluke o spremnosti sportiste za povratak takmičenju u obzir uzmu i direktno merene i izvedene varijable, jer se *OPO* i *RDJ* moraju tumačiti sa određenim oprezom. Pored toga, pojedini autori preporučuju da se u procenu oporavka uključe i dodatne mere, kao one koje su zasnovane na brzini razvoja sile, međutim to zahteva dodatna istraživanja.

Značaj ovog istraživanja ogleda se u rešavanju bitnih metodoloških problema vezanih za procenu neuromišićne funkcije nakon rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta. Problemi koji postoje u standardnoj proceni neuromišićne funkcije, doveli su do potrebe razvoja novih testova i njihove evaluacije za primenu u praćenju oporavka nakon sportskih povreda.

Nalazi koji su dobijeni sprovedenim istraživanjima trebalo bi da vode daljoj primeni testa zasnovanog na *naizmeničnim maksimalnim kontrakcijama* (NMK) kao jednog od standardnih testova za procenu oporavka neuromišićne funkcije sportista nakon povrede LCA, ali i drugih kategorija ispitanika. Klinički značaj testa ogleda se u mogućem doprinosu ovog testa u procesu donošenja odluke da li i kada sportisti mogu bezbedno da se vrate napornoj fizičkoj aktivnosti posle povrede ili rekonstrukcije LCA. Posebno je značajno što evaluirani test može biti važan korak u prevazilaženju nedostataka i ograničenja standardnih izometrijskih i izokinetičkih testova za procenu neuromišićne funkcije. Test NMK je u poređenju sa standardnim izokinetičkim i izometrijskim testom jačine, podjednako osetljiv za registrovanje i kvantifikaciju deficita i neuravnoteženosti u mišićnoj funkciji opružača i pregibača u zglobu kolena. Pri tome, novi test omogućava testiranje neuromišićne funkcije u uslovima u kojima se mišići i kompromitovano vezivno tkivo izlažu kratkotrajnim silama, kroz manji broj ponavljanja, i uz potencijalno bolju ocenu kvaliteta ispoljavanja sile povezane sa brojnim aktivnostima kao što su kratke diskretne i ciklične mišićne akcije, posturalne

korekcije i pokreti za prevenciju povreda. Pored toga, ovaj test je zasnovan na jednostavnoj proceduri testiranja i korišćenju relativno jednostavne i jeftine opreme, iako se može izvoditi na standardnim izokinetičkim uređajima.

### **7.1. Pravci u budućim istraživanjima**

Kao što je ranije navedeno, u budućim istraživanjima bi, između ostalog, trebalo bi ispitati osetljivost varijabli testa NMK za razlikovanje različitih kategorija ispitanika (npr. zdravi nasuprot neuroloških pacijenata, različitih uzrasnih grupa, ili različitog nivoa treniranosti). Od posebnog značaja bila bi mogućnost procene osetljivosti testa na uticaj različitih intervencija (npr. rehabilitacionih procedura) na neuromišićnu funkciju. S obzirom na značajnu ulogu aktivacije mišića zadnje lože buta u rasterećivanju i zaštiti prednjeg ukrštenog ligamenta, dodatnim elektromiografskim ispitivanjima mogla bi da se proceni i utvrditi uloga antagonističke koaktivacije pri izvođenju *naizmeničnih maksimalnih kontrakcija*. Na kraju, neophodno je da se odrede jasniji kriterijumi za *OPO* i *RDJ* koji bi bili mnogo pouzdaniji nego oni koji se trenutno koriste u praksi, koji bi zajedno sa merama funkcionalnih testova bili pouzdani kriterijumi za povratak sportisa uobičajenim sportskim aktivnostima.

## 8. LITERATURA

- Aagaard, P., E. B. Simonsen, et al. (2002). "Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training." J Appl Physiol **93**(4): 1318-1326.
- Aagaard, P., E. B. Simonsen, et al. (1998). "A new concept for isokinetic hamstring: quadriceps muscle strength ratio." Am J Sports Med **26**(2): 231-237.
- Aalbersberg, S., I. Kingma, et al. (2009). "Hamstrings co-activation in ACL-deficient subjects during isometric whole-leg extensions." Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc **17**(8): 946-955.
- Abernethy, B., S. Hanrahan, et al. (2005). "The biophysical foundations of human movement." Human Kinetics(2nd edition).
- Abernethy, P., G. Wilson, et al. (1995). "Strength and power assessment. Issues, controversies and challenges." Sports Med **19**(6): 401-417.
- Ageberg, E., H. P. Roos, et al. (2009). "Knee extension and flexion muscle power after anterior cruciate ligament reconstruction with patellar tendon graft or hamstring tendons graft: a cross-sectional comparison 3 years post surgery." Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc **17**(2): 162-169.
- Ageberg, E., R. Thomee, et al. (2008). "Muscle strength and functional performance in patients with anterior cruciate ligament injury treated with training and surgical reconstruction or training only: a two to five-year followup." Arthritis Rheum **59**(12): 1773-1779.
- Agre, J. C., D. C. Casal, et al. (1988). "Professional ice hockey players: physiologic, anthropometric, and musculoskeletal characteristics." Arch Phys Med Rehabil **69**(3 Pt 1): 188-192.
- Ahmad, C. S., A. M. Clark, et al. (2006). "Effect of gender and maturity on quadriceps-to-hamstring strength ratio and anterior cruciate ligament laxity." Am J Sports Med **34**(3): 370-374.
- Andersen, L. L. and P. Aagaard (2006). "Influence of maximal muscle strength and intrinsic muscle contractile properties on contractile rate of force development." Eur J Appl Physiol **96**(1): 46-52.



- Anderson, J. L., S. E. Lamb, et al. (2002). "Changes in muscle torque following anterior cruciate ligament reconstruction: a comparison between hamstrings and patella tendon graft procedures on 45 patients." Acta Orthop Scand **73**(5): 546-552.
- Angelozzi, M., M. Madama, et al. (2012). "Rate of Force Development as an Adjunctive Outcome Measure for Return-to-Sport Decisions After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction." J Orthop Sports Phys Ther **42**(9): 772-780.
- Ashley, C. D. and L. W. Weiss (1994). "Vertical jump performance and selected physiological characteristics of women." J Strength Cond Res **8**(1).
- Augustsson, J. and R. Thomee (2000). "Ability of closed and open kinetic chain tests of muscular strength to assess functional performance." Scand J Med Sci Sports **10**(3): 164-168.
- Bemben, M. G. and R. E. Murphy (2001). "Age related neural adaptation following short term resistance training in women." J Sports Med Phys Fitness **41**(3): 291-299.
- Beynon, B. D., R. J. Johnson, et al. (2005). "Treatment of anterior cruciate ligament injuries, part I." Am J Sports Med **33**(10): 1579-1602.
- Boden, B. P., L. Y. Griffin, et al. (2000). "Etiology and Prevention of Noncontact ACL Injury." Phys Sportsmed **28**(4): 53-60.
- Bošković, M. S. (2003). "Anatomija čoveka." Naučna KMD, Beograd.
- Bozic, P., D. Suzovic, et al. (2011). "Alternating consecutive maximum contractions as a test of muscle function." J Strength Cond Res **25**(6): 1605-1615.
- Bozic, P. R., N. Pazin, et al. (2012). "Evaluation of alternating consecutive maximum contractions as an alternative test of neuromuscular function." Eur J Appl Physiol **112**(4): 1445-1456.
- Cohen, J. (1988). "Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences." 567(520-527).
- Coombs, R. and G. Garbutt (2002). "Developments in the use of the Hamstring/Quadriceps ratio for the assessment of muscle balance." J Sports Sci & Med **1**: 56-62.
- De Carlo, M. S., K. D. Shelbourne, et al. (1992). "Traditional versus Accelerated Rehabilitation following ACL Reconstruction: A One-Year Follow-Up." J Orthop Sports Phys Ther **15**(6): 309-316.

- Dubljanin-Raspopovic, E., M. Kadija, et al. (2011). "[Importance of open and closed kinetic chain exercises after anterior cruciate ligament reconstruction]." Vojnosanit Pregl **68**(2): 170-174.
- Dvir, Z. (1995). Isokinetics : muscle testing, interpretation, and clinical applications Edinburgh, Churchill Livingstone.
- Eitzen, I., T. J. Eitzen, et al. (2010). "Anterior cruciate ligament-deficient potential copers and noncopers reveal different isokinetic quadriceps strength profiles in the early stage after injury." Am J Sports Med **38**(3): 586-593.
- Eitzen, I., I. Holm, et al. (2009). "Preoperative quadriceps strength is a significant predictor of knee function two years after anterior cruciate ligament reconstruction." Br J Sports Med **43**(5): 371-376.
- Engelen-van Melick, N., R. E. van Cingel, et al. (2012). "Assessment of functional performance after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review of measurement procedures." Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.
- Enoka, R. M. and A. J. Fuglevand (2001). "Motor unit physiology: some unresolved issues." Muscle Nerve **24**(1): 4-17.
- Fabbriciani, C., G. Milano, et al. (2005). "Anterior cruciate ligament reconstruction with doubled semitendinosus and gracilis tendon graft in rugby players." Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc **13**(1): 2-7.
- Fitzgerald, G. K., M. J. Axe, et al. (2000). "A decision-making scheme for returning patients to high-level activity with nonoperative treatment after anterior cruciate ligament rupture." Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc **8**(2): 76-82.
- Gobbi, A., B. Tuy, et al. (2003). "Quadrupled bone-semitendinosus anterior cruciate ligament reconstruction: a clinical investigation in a group of athletes." Arthroscopy **19**(7): 691-699.
- Goradia, V. K., W. A. Grana, et al. (2006). "Factors associated with decreased muscle strength after anterior cruciate ligament reconstruction with hamstring tendon grafts." Arthroscopy **22**(1): 80.
- Hakkinen, K., R. U. Newton, et al. (1998). "Changes in muscle morphology, electromyographic activity, and force production characteristics during progressive strength training in young and older men." J Gerontol A Biol Sci Med Sci **53**(6): B415-423.

- Harding, B., T. Black, et al. (1988). "Reliability of a reciprocal test protocol performed on the kinetic communicator: an isokinetic test of knee extensor and flexor strength." J Orthop Sports Phys Ther **10**(6): 218-223.
- Hartigan, E. H., J. Zeni, Jr., et al. (2012). "Preoperative predictors for noncopers to pass return to sports criteria after ACL reconstruction." J Appl Biomech **28**(4): 366-373.
- Hiemstra, L. A., S. Webber, et al. (2004). "Hamstring and quadriceps strength balance in normal and hamstring anterior cruciate ligament-reconstructed subjects." Clin J Sport Med **14**(5): 274-280.
- Hiemstra, L. A., S. Webber, et al. (2007). "Contralateral limb strength deficits after anterior cruciate ligament reconstruction using a hamstring tendon graft." Clin Biomech (Bristol, Avon) **22**(5): 543-550.
- Holcomb, W. R., M. D. Rubley, et al. (2007). "Effect of hamstring-emphasized resistance training on hamstring:quadriceps strength ratios." J Strength Cond Res **21**(1): 41-47.
- Hole, C. D., G. H. Smit, et al. (2000). "Dynamic control and conventional strength ratios of the quadriceps and hamstrings in subjects with anterior cruciate ligament deficiency." Ergonomics **43**(10): 1603-1609.
- Hopkins, W. G. (2000). "Measures of reliability in sports medicine and science." Sports Med **30**(1): 1-15.
- Impellizzeri, F. M., M. Bizzini, et al. (2008). "Reliability of isokinetic strength imbalance ratios measured using the Cybex NORM dynamometer." Clin Physiol Funct Imaging **28**(2): 113-119.
- Jaric, S. (2002). "Muscle strength testing: use of normalisation for body size." Sports Med **32**(10): 615-631.
- Jaric, S., S. Radosavljevic-Jaric, et al. (2002). "Muscle force and muscle torque in humans require different methods when adjusting for differences in body size." Eur J Appl Physiol **87**(3): 304-307.
- Kadija, M. (2010). "Komparativna analiza anatomske i transtibijalne artroskopske tehnike za rekonstrukciju antremedijalnog snopa prednjeg ukrštenog ligamenta." Doktorska disertacija. Medicinski fakultet, Univerzitet u Beogradu.

- Kadija, M., O. Knezevic, et al. (2010). "Effect of isokinetic dynamometer velocity on muscle strength deficit in elite athletes after ACL reconstruction." Med Sport **63**(1-2): 495-507.
- Kannus, P. (1988). "Peak torque and total work relationship in the thigh muscles after anterior cruciate ligament injury." J Orthop Sports Phys Ther **10**(3): 97-101.
- Kannus, P. (1988). "Ratio of hamstring to quadriceps femoris muscles' strength in the anterior cruciate ligament insufficient knee. Relationship to long-term recovery." Phys Ther **68**(6): 961-965.
- Keays, S. L., J. Bullock-Saxton, et al. (2001). "Muscle strength and function before and after anterior cruciate ligament reconstruction using semitendinosus and gracilis." Knee **8**(3): 229-234.
- Knapik, J. J., C. L. Bauman, et al. (1991). "Preseason strength and flexibility imbalances associated with athletic injuries in female collegiate athletes." Am J Sports Med **19**(1): 76-81.
- Knezevic, O. and D. Mirkov (2011). "Strength and power of knee extensor muscle." Physical Culture **65**(2): 5-15.
- Knezevic, O., N. Pazin, et al. (2010). Prediction of optimal isometric Hamstring to Quadriceps ratio. 7th International Conference on Strength Training, Bratislava, Slovakia, Faculty of Physical Education and Sport, Bratislava.
- Knezevic, O. M., D. M. Mirkov, et al. (2012). "Alternating consecutive maximum contraction as a test of muscle function in athletes following ACL reconstruction." J Hum Kinet **35**: 5-13.
- Kobayashi, A., H. Higuchi, et al. (2004). "Muscle performance after anterior cruciate ligament reconstruction." Int Orthop **28**(1): 48-51.
- Kong, P. W. and S. F. Burns (2010). "Bilateral difference in hamstrings to quadriceps ratio in healthy males and females." Phys Ther Sport **11**(1): 12-17.
- Kvist, J., C. Karlberg, et al. (2001). "Anterior tibial translation during different isokinetic quadriceps torque in anterior cruciate ligament deficient and nonimpaired individuals." J Orthop Sports Phys Ther **31**(1): 4-15.
- Latash, M. L. (2008). Neurophysiological basis of movement. Champaign, Human Kinetics.

- Lautamies, R., A. Harilainen, et al. (2008). "Isokinetic quadriceps and hamstring muscle strength and knee function 5 years after anterior cruciate ligament reconstruction: comparison between bone-patellar tendon-bone and hamstring tendon autografts." Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc **16**(11): 1009-1016.
- Lee, S., S. C. Seong, et al. (2004). "Outcome of anterior cruciate ligament reconstruction using quadriceps tendon autograft." Arthroscopy **20**(8): 795-802.
- Li, R. C., N. Maffulli, et al. (1996). "Isokinetic strength of the quadriceps and hamstrings and functional ability of anterior cruciate deficient knees in recreational athletes." Br J Sports Med **30**(2): 161-164.
- Lord, J. P., S. G. Aitkens, et al. (1992). "Isometric and isokinetic measurement of hamstring and quadriceps strength." Arch Phys Med Rehabil **73**(4): 324-330.
- Lund-Hanssen, H., J. Gannon, et al. (1996). "Isokinetic muscle performance in healthy female handball players and players with a unilateral anterior cruciate ligament reconstruction." Scand J Med Sci Sports **6**(3): 172-175.
- Mae, T., K. Shino, et al. (2006). "Force sharing between two grafts in the anatomical two-bundle anterior cruciate ligament reconstruction." Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc **14**(6): 505-509.
- Maffiuletti, N. A., M. Bizzini, et al. (2010). "Asymmetry in quadriceps rate of force development as a functional outcome measure in TKA." Clin Orthop Relat Res **468**(1): 191-198.
- Mattacola, C. G., D. H. Perrin, et al. (2002). "Strength, Functional Outcome, and Postural Stability After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction." J Athl Train **37**(3): 262-268.
- Meng, X. L., R. Rosenthal, et al. (1992). "Comparing correlated correlation coefficients." Psychological Bulletin **III**(1): 172-175.
- Meyers, M. C., J. C. Sterling, et al. (2002). "Efficacy of stairclimber versus cycle ergometry in postoperative anterior cruciate ligament rehabilitation." Clin J Sport Med **12**(2): 85-94.
- Micheo, W., L. Hernandez, et al. (2010). "Evaluation, management, rehabilitation, and prevention of anterior cruciate ligament injury: current concepts." PM R **2**(10): 935-944.

- Milankov, M., R. Semnic, et al. (2008). "Reconstruction of patellar tendon rupture after anterior cruciate ligament reconstruction: a case report." Knee **15**(5): 419-422.
- Mirkov, D. M., A. Nedeljkovic, et al. (2004). "Muscle strength testing: evaluation of tests of explosive force production." Eur J Appl Physiol **91**(2-3): 147-154.
- Mittlmeier, T., A. Weiler, et al. (1999). "novel Award Second Prize Paper. Functional monitoring during rehabilitation following anterior cruciate ligament reconstruction." Clin Biomech (Bristol, Avon) **14**(8): 576-584.
- Moisala, A. S., T. Jarvela, et al. (2007). "Muscle strength evaluations after ACL reconstruction." Int J Sports Med **28**(10): 868-872.
- Montgomery, L. C., L. W. Douglass, et al. (1989). "Reliability of an isokinetic test of muscle strength and endurance." J Orthop Sports Phys Ther **10**(8): 315-322.
- Morrissey, M. C., D. M. Hooper, et al. (2004). "Relationship of leg muscle strength and knee function in the early period after anterior cruciate ligament reconstruction." Scand J Med Sci Sports **14**(6): 360-366.
- Murphy, A. J. and G. J. Wilson (1996). "The assessment of human dynamic muscular function: a comparison of isoinertial and isokinetic tests." J Sports Med Phys Fitness **36**(3): 169-177.
- Myer, G. D., K. R. Ford, et al. (2009). "The relationship of hamstrings and quadriceps strength to anterior cruciate ligament injury in female athletes." Clin J Sport Med **19**(1): 3-8.
- Myer, G. D., K. R. Ford, et al. (2006). "The effects of plyometric vs. dynamic stabilization and balance training on power, balance, and landing force in female athletes." J Strength Cond Res **20**(2): 345-353.
- Myer, G. D., M. V. Paterno, et al. (2008). "Neuromuscular training techniques to target deficits before return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction." J Strength Cond Res **22**(3): 987-1014.
- Neeter, C., A. Gustavsson, et al. (2006). "Development of a strength test battery for evaluating leg muscle power after anterior cruciate ligament injury and reconstruction." Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc **14**(6): 571-580.
- Ninković, S., D. Savić, et al. (2005). "Poređenje kliničkih rezultata rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta korišćenjem dvaju različitih postupaka." Acta Chirurgica Iugoslavica **52**(2): 89-94.

- Norton, K., M., Marfell-Jones, et al. (2000). Anthropometric Assessment Protocols, Australian Sports Commission, Human Kinetics, USA.
- Nyland, J., D. N. Caborn, et al. (2003). "Two-year outcomes following ACL reconstruction with allograft tibialis anterior tendons: a retrospective study." Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc **11**(4): 212-218.
- Ostenberg, A., E. Roos, et al. (1998). "Isokinetic knee extensor strength and functional performance in healthy female soccer players." Scand J Med Sci Sports **8**(5 Pt 1): 257-264.
- Osternig, L. R., R. Ferber, et al. (2000). "Human hip and knee torque accommodations to anterior cruciate ligament dysfunction." Eur J Appl Physiol **83**(1): 71-76.
- Osternig, L. R., R. Ferber, et al. (2001). "Effects of position and speed on joint torques and knee shear after ACL injury." Med Sci Sports Exerc **33**(7): 1073-1080.
- Osternig, L. R., C. R. James, et al. (1999). "Effects of movement speed and joint position on knee flexor torque in healthy and post-surgical subjects." Eur J Appl Physiol Occup Physiol **80**(2): 100-106.
- Pezzullo, D. J. and P. Fadale (2010). "Current controversies in rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction." Sports Med Arthrosc **18**(1): 43-47.
- Pigozzi, F., V. Di Salvo, et al. (2004). "Isokinetic evaluation of anterior cruciate ligament reconstruction: quadriceps tendon versus patellar tendon." J Sports Med Phys Fitness **44**(3): 288-293.
- Pua, Y. H., A. L. Bryant, et al. (2008). "Isokinetic dynamometry in anterior cruciate ligament injury and reconstruction." Ann Acad Med Singapore **37**(4): 330-340.
- Reid, A., T. B. Birmingham, et al. (2007). "Hop testing provides a reliable and valid outcome measure during rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction." Phys Ther **87**(3): 337-349.
- Reinking, M. F., K. Bockrath-Pugliese, et al. (1996). "Assessment of quadriceps muscle performance by hand-held, isometric, and isokinetic dynamometry in patients with knee dysfunction." J Orthop Sports Phys Ther **24**(3): 154-159.
- Risberg, M. A., I. Holm, et al. (2007). "Neuromuscular training versus strength training during first 6 months after anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized clinical trial." Phys Ther **87**(6): 737-750.

- Risberg, M. A., M. Lewek, et al. (2004). "A systematic review of evidence for anterior cruciate ligament rehabilitation: how much and what type?" Phys Ther **5**: 125-145.
- Ross, M. D., J. J. Irrgang, et al. (2002). "The relationship between participation restrictions and selected clinical measures following anterior cruciate ligament reconstruction." Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc **10**(1): 10-19.
- Rudolph, K. S., M. J. Axe, et al. (2001). "Dynamic stability in the anterior cruciate ligament deficient knee." Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc **9**(2): 62-71.
- Sahaly, R., H. Vandewalle, et al. (2001). "Maximal voluntary force and rate of force development in humans--importance of instruction." Eur J Appl Physiol **85**(3-4): 345-350.
- Sale, D. G. (1991). "Testing strength and power. In J. D. MacDougall, H. A. Wonge, and H. J. Green, editors. *Physiological Testing of the High-performance Athlete.*" Human Kinetics Publishers, Champaign, IL.: 21-106.
- Seger, J. Y., S. H. Westing, et al. (1988). "A new dynamometer measuring concentric and eccentric muscle strength in accelerated, decelerated, or isokinetic movements. Validity and reproducibility." Eur J Appl Physiol Occup Physiol **57**(5): 526-530.
- Shelbourne, K. D. and T. Gray (1997). "Anterior cruciate ligament reconstruction with autogenous patellar tendon graft followed by accelerated rehabilitation. A two-to nine-year followup." Am J Sports Med **25**(6): 786-795.
- Snow, C. J. and K. Blacklin (1992). "Reliability of knee flexor peak torque measurements from a standardized test protocol on a Kin/Com dynamometer." Arch Phys Med Rehabil **73**(1): 15-21.
- Sole, G., J. Hamren, et al. (2007). "Test-retest reliability of isokinetic knee extension and flexion." Arch Phys Med Rehabil **88**(5): 626-631.
- St Clair Gibson, A., M. I. Lambert, et al. (2000). "Quadriceps and hamstrings peak torque ratio changes in persons with chronic anterior cruciate ligament deficiency." J Orthop Sports Phys Ther **30**(7): 418-427.
- Stahli, S., J. F. Glatthorn, et al. (2010). "Test-retest reliability of quadriceps muscle function outcomes in patients with knee osteoarthritis." J Electromyogr Kinesiol **20**(6): 1058-1065.



- Suzovic, D., A. Nedeljkovic, et al. (2008). "Evaluation of Consecutive Maximum Contractions as a Test of Neuromuscular Function." J Hum Kinet **20**: 51-67.
- Thomee, R., C. Neeter, et al. (2012). "Variability in leg muscle power and hop performance after anterior cruciate ligament reconstruction." Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc **20**(6): 1143-1151.
- Wilson, G. J., A. D. Lyttle, et al. (1995). "Assessing Dynamic Performance: A Comparison of Rate of Force Development Tests." J Strength Cond Res **9**(3): 176-181.
- Wilson, G. J. and A. J. Murphy (1996). "The use of isometric tests of muscular function in athletic assessment." Sports Med **22**(1): 19-37.
- Yoo, Y. S., W. S. Jeong, et al. (2010). "Changes in ACL length at different knee flexion angles: an in vivo biomechanical study." Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc **18**(3): 292-297.
- Zebis, M. K., L. L. Andersen, et al. (2011). "Rapid hamstring/quadriceps force capacity in male vs. female elite soccer players." J Strength Cond Res **25**(7): 1989-1993.
- Zebis, M. K., J. Bencke, et al. (2011). "Acute fatigue impairs neuromuscular activity of anterior cruciate ligament-agonist muscles in female team handball players." Scand J Med Sci Sports **21**(6): 833-840.
- Zemach, L., Y. Almoznino, et al. (2009). "Quadriceps insufficiency in patients with knee compromise: How many velocities should an isokinetic test protocol consist of?" Isokinet Exerc Sci **17**: 129-133.
- Zijl, J. A., A. E. Kleipool, et al. (2000). "Comparison of tibial tunnel enlargement after anterior cruciate ligament reconstruction using patellar tendon autograft or allograft." Am J Sports Med **28**(4): 547-551.

## Prilog 1: Kopija formulara za saglasnost ispitanika za učešće u eksperimentu u saglasnosti sa Helsinškom deklaracijom

### FORMULAR ZA SAGLASNOST SA EKSPERIMENTALNOM PROCEDUROM Istraživački projekt: Evaluacija testova za procenu neuromišićne funkcije nakon operacije prednjeg ukrštenog ligamenta

Istrazivači: Van. prof. dr Dragan Mirkov  
Olivera Knežević  
Dr Marko Kadija  
Dr Darko Milovanović

IME ISPITANIKA: \_\_\_\_\_

#### 1. NAMENA I OPIS ISTRAŽIVANJA

Pozvani ste da učestvujete u istraživačkom projektu Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja, Univerziteta u Beogradu. Cilj projekta je procena metoda za ispitivanje neuromišićne funkcije, i u okviru njega se realizuje eksperiment sa ciljem evaluacije novog testa za procenu neuromišićne funkcije nakon povrede prednjeg ukrštenog ligamenta (LCA). Povreda ovog ligamenta je jedna od najučestalijih sportskih povreda. S obzirom da je kod sportista potrebno obezbediti što raniji povratak punom obimu treninga i takmičenju, jasan je značaj praćenja i procene neuromišićne funkcije tokom oporavka od povrede LCA.

Vi ćete biti jedan od najmanje 20 fizički aktivnih učesnika sa nedavnom rekonstrukcijom LCA. Neuromišićna funkcija mišića nogu će biti ispitana primenom niza testova. Dinamometrijskim merenjima ćemo procenjivati jačinu mišića opružača i pregibača u zglobu kolena, dok ćemo primenom testa skok na jednoj nozi procenjivati stabilnost zgloba kolena. Prilikom dinamometrijskih testiranja sedaćete na stolici sa meračem sile pri čemu će vam segmenti tela biti fiksirani pojasevima. Takođe, uzećemo i podatke koje se odnose na vaš datum rođenja, visinu, masu, broj telefona.

Vaše učešće u ovom projektu će biti obuhvaćeno jednim eksperimentom:

- 1) Merenja će biti obavljena preoperativno, 4 i 6 meseci nakon operacije, uz prethodni kontrolni pregled i saglasnost ordinirajućeg hirurga.
- 2) Eksperiment će se realizovati u dva dana, sa pauzom između testova od najmanje 48h. U ovom eksperimentu ćemo procenjivati odnos jačine pregibača i opružača u zglobu kolena primenom testa Naizmeničnih Maksimalnih Kontrakcija (NMK), a dobijene rezultate ćemo uporediti sa onim dobijenim primenom izokinetičke dinamometrije pri 3 različite ugaone brzine. Stabilnost zgloba kolena biće procenjivana primenom funkcionalnog testa skok udalj na jednoj nozi, odnosno skok uvis na jednoj nozi.

#### 2. USLOVI UČEŠĆA U EKSPERIMENTU

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

Strana 1 od 2

Inicijali ispitanika \_\_\_\_\_

**FORMULAR ZA SAGLASNOST SA EKSPERIMENTALNOM PROCEDUROM**  
**Istraživački projekt: Evaluacija testova za procenu neuromišićne funkcije nakon**  
**operacije prednjeg ukrštenog ligamenta**

**3. KRITERIJUMI ZA UČEŠĆE U STUDIJI**

U studiji nećete moći da učestvujete kao ispitanik ukoliko patite od bilo kakvih kardiovaskularnih ili neuroloških oboljenja, ili bilo kakvih preoperativnih simptoma ili postoperativnih pojava (bola, otok i dr) koje utiču na rezultat eksperimenta ili mogu da budu pogoršane vašim učešćem.

**4. RIZIK I BENEFICIJE**

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

MOGUĆE BENEFICIJE: Po završetku svakog merenja, Vašem lekaru će elektronskim putem biti poslat izveštaj sa testiranja, koji Vi možete koristiti za potrebe planiranja i modifikacije trenaznog programa.

**5. KONTAKTI**

U slučaju da imate bilo kakvo pitanje u vezi sa studijom, pozovite profesora Dragana Mirkova ili Oliveru Knežević, Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja, Univerziteta u Beogradu (011-3531016), ili dr Marka Kadiju, Klinički centar Srbije (011-3617777). Pitanja u vezi vaših prava kao učesnika eksperimenta možete postaviti šefu Etičke komisije Fakulteta sporta i fizičkog vaspitana, Univerziteta u Beogradu (011-3555 000).

**6. POTVRDA ISPITANIKA**

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

**7. POTPISI**

Potpis ispitanika: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

Ime ispitanika (štampanim slovima) \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

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

UNIVERZITET U BEOGRADU  
FAKULTET SPORTA I FIZIČKOG VASPITANJA  
ETIČKA KOMISIJA

РЕПУБЛИКА СРБИЈА  
УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
ФАКУЛТЕТ СПОРТА И ФИЗИЧКОГ ВАСПИТАЊА  
2. Бр. 840/2  
18.3. 2011  
БЕОГРАД, Београдска Породица 156

Predmet: Na zahtev zaveden pod brojem 02/840/1 od 16.3.2011 koji je podnela Olivera Knezević Etička komisija Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu daje Saglasnost za realizaciju projekta doktorske disertacije: "Evaluacija testova za procenu neuromišićne funkcije sportista nakon povrede prednjeg ukrštenog ligamenta"

Na osnovu uvida u plan projekta navedene doktorske disertacije čiji je rukovodilac van.prof Dragan Mirkov Etička komisija Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu iznosi mišljenje da se, kako u koncipiranju 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 sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu daje saglasnost za realizaciju istraživanja planiranih gore navedenim projektom .

Za Etičku komisiju

Članovi

1. prof dr Dušanka Lazarević

2. prof dr Dušan Ugarković

3. van.prof Vladimir Koprivica



U Beogradu 28.03.2011



### Alternating Consecutive Maximum Contraction as a Test of Muscle Function in Athletes Following ACL Reconstruction

by

Olivera M. Knezevic<sup>1,2</sup>, Dragan M. Mirkov<sup>1</sup>, Marko Kadija<sup>3</sup>, Darko Milovanovic<sup>3</sup>,  
Slobodan Jaric<sup>4</sup>

*The novel test based on isometric alternating consecutive maximal contractions performed by two antagonistic muscles has been recently proposed as a test of muscle function in healthy subjects. The aim of this study was to evaluate reliability and sensitivity of a novel test as a test of knee muscles function in athletes recovering from anterior cruciate ligament reconstruction. Fifteen male athletes with recent ligament reconstruction ( $4.0 \pm 0.1$  months following the surgery) and 15 sport and physical education students participated in the study. Peak torques of the quadriceps and hamstring muscles assessed both through the alternating consecutive maximal contractions and standard isokinetic test performed at 60 °/s and 180 °/s served for calculation of the hamstrings-to-quadriceps ratio and the bilateral difference in strength. When applied on individuals recovering from anterior cruciate ligament reconstruction, the novel test revealed a high within-day reliability and sensitivity for detecting imbalances both between antagonistic and between contralateral muscles. The present findings suggest that alternating consecutive maximal contractions could be used as a test of muscle function that is either complementary or alternative to the isokinetic test, particularly in the laboratories where the isokinetic devices are not available. Potential advantages of the novel test could be both a brief testing procedure and a possibility to conduct it using relatively inexpensive devices such as custom made kits containing a single one-axis force transducer.*

**Key words:** Strength; Knee, flexor, extensor; Rehabilitation

#### Introduction

The Anterior Cruciate Ligament (ACL) injury is one of the most frequent injuries associated with athletic activity (Kvist et al., 2001). The quadriceps strength has been shown to have a strong relationship with a positive outcome regarding the indices of recovery following the ACL reconstruction (Kannus, 1988; Hiemstra et al., 2004; Lautamies et al., 2008; Hartigan et al., 2011). The change in muscle function over the course of rehabilitation has been usually assessed by standard isokinetic tests (IKT) (Ostenberg et

al., 1998; Keays et al., 2001; Kvist et al., 2001). These protocols have been mainly designed to evaluate the maximal torque production of the involved/uninvolved side following either an ACL injury or reconstruction (Ostenberg et al., 1998; Keays et al., 2001). Specifically, IKT has been usually applied to quantify the side-to-side difference and strength balance between the hamstrings and quadriceps (Moisala et al., 2007; Myer et al., 2008; Kadija et al., 2010). In particular, the side-to-side difference has been usually

<sup>1</sup> - University of Belgrade, Faculty of Sport and Physical Education, Belgrade, Serbia.

<sup>2</sup> - University of Belgrade, Institute for Medical Research, Belgrade, Serbia.

<sup>3</sup> - Clinical Centre of Serbia, Institute for Orthopaedic Surgery and Traumatology, Belgrade, Serbia.

<sup>4</sup> - University of Delaware, Department of Kinesiology and Applied Physiology, Newark, DE, USA.

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

Accepted for printing in Journal of Human Kinetics vol. 35/2012 on December 2012.

## Prilog 4: Kopija izjave o autorstvu

Прилог 1.

### Изјава о ауторству

Потписани-а \_\_\_\_\_ Оливера М Кнежевић \_\_\_\_\_

број уписа \_\_\_\_\_ 09-ДС/2008 \_\_\_\_\_

#### Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

„Евалуација теста за процену неуромишићне функције опружача и прегибача

у зглобу колена након повреде предњег укрштеног лигамента“

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

Потпис докторанта

У Београду, \_\_\_\_\_ 15.1.2013. \_\_\_\_\_



\_\_\_\_\_

## Prilog 5: Kopija izjave o istovetnosti štampane i elektronske verzije doktorskog rada

Прилог 2.

### Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора Оливера М Кнежевић

Број уписа 09-ДС/2009

Студијски програм Експерименталне методе истраживања хумане локомоције

Наслов рада „Евалуација теста за процену неуромишићне функције опружача и прегибача у зглобу колена након повреде предњег укрштеног лигамента“

Ментор Ванредни професор др Драган М Мирков

Потписани Оливера Кнежевић

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

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

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

Потпис докторанта

У Београду, 15.1.2013.





## Prilog 6: Kopija izjave o korišćenju

Прилог 3.

### Изјава о коришћењу

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

„Евалуација теста за процену неуромишићне функције опружача и

прегибача у зглобу колена након повреде предњег укрштеног лигамента“

која је моје ауторско дело.

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

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

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

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

Потпис докторанта

У Београду, \_\_\_\_\_ 15.1.2013. \_\_\_\_\_





## BIOGRAFIJA AUTORA

Olivera Knežević rođena je 06.03.1980. u Užicu, gde je završila osnovnu školu i srednju medicinsku školu (smer medicinska sestra-tehničar). 1999. godine upisala je Fakultet fizičke kulture u Beogradu, koji je završila 2004. godine kao najbolji student generacije. Tokom studija ostvarila je prosečnu ocenu 9,57. Diplomski rad na temu „Određivanje morfološkog sastava različitih kategorija veslača“ odbranila je 2004. godine sa ocenom 10. Tokom osnovnih studija u više navrata nagrađivana je kao najbolji student generacije i bila je stipendista Ambasade Kraljevine Norveške i Fonda Kraljevskog Doma Karadorđevića.

Doktorske studije upisala je 2008. godine na Fakultetu sporta i fizičkog vaspitanja u Beogradu, odsek Eksperimentalne metode istraživanja humane lokomocije i od samog početka bila je uključena u istraživački rad, pod mentorstvom prof. Dr Dragana Mirkova. Kao stipendista Ministarstva nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, bila je angažovana na projektu „*Evaluacija metoda za procenu uloge mišićnih i neuralnih faktora u adaptivnim promenama u humanoj lokomociji*“ (#145082B). Od januara 2011. do juna 2012. godine bila je zaposlena na Fakultetu sporta i fizičkog vaspitanja u Beogradu, kao saradnik na projektu finansiranom od strane Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije pod nazivom „*Mišićni i neuralni faktori humane lokomocije i njihove adaptivne promene*“ (#175037). Tokom doktorskih studija, 3 meseca je provela na usavršavanju u SAD, u Laboratoriji za motornu kontrolu Odeljenja za kineziologiju i primnjenu fiziologiju Univerziteta u Delaveru. Od juna 2012. godine zaposlena je kao istraživač saradnik u Laboratoriji za neurofiziologiju Instituta za medicinska istraživanja, Univerziteta u Beogradu, na projektu finansiranom od strane Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije pod nazivom „*Neinvazivna modulacija kortikalne ekscitabilnosti i plasticiteta – Razvoj metoda neinvazivne neuromodulacije centralnog nervnog sistema u ispitivanju fizioloških mehanizama, dijagnostici i terapiji*“ (#175037).

Doktorska disertacija urađena je u okviru projekta pod nazivom *Evaluacija metoda za procenu uloge mišićnih i neuralnih faktora i njihovih adaptivnih promena u humanoj lokomociji* (evidencioni broj 145082; rukovodilac projekta prof. dr Slobodan Jarić) i 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.

Sva istraživanja u okviru disertacije sprovedena su u Metodičko-istraživačkoj laboratoriji Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu.

Materijal izložen u ovoj disertaciji zasnovan je na rezultatima koji su objavljeni ili dostavljeni u međunarodnim časopisima, ili su prezentovani na međunarodnim i domaćim naučnim skupovima.

#### **Radovi objavljeni u celini u međunarodnim i domaćim časopisima:**

1. **Knezevic O**, Mirkov DM; Milovanovic D, Kadija M, Jaric S. Alternating consecutive maximum contraction as a test of muscle function in athletes following the ACL reconstruction. *Journal of Human Kinetics* 2012, 35: 5-13
2. Kadija M, **Knezevic O**, Milovanovic D, Bumbasirevic M, Mirkov DM. Effect of isokinetic dynamometer velocity on muscle strength deficit in elite athletes after ACL reconstruction. *Medicina Dello Sport* 2010;63:495-507
3. **Knežević O**, Mirkov D. Sila i snaga mišića opružača u zglobu kolena. *Fizička kultura. Fakultet sporta i fizičkoga vaspitanja, Beograd.* 2011, 65(2): 5-15.

#### **Predavanje po pozivu objavljeno u celini:**

4. **Knežević O**, Mirkov DM. Procena neuromišićne funkcije sportista. Četvrti kongres Medicine sporta i nauka o sportu. Srpsko društvo za medicine sporta i nauke o sportu, Beograd, Srbija. September, 2010. Zbornik radova, str 206-218.

### **Radovi dostavljeni međunarodnim časopisima:**

5. **Knezevic OM**, Mirkov DM; Kadija M, Milovanovic D, Jaric S. Evaluation of Isokinetic and Isometric Strength Tests for the Assessment of Muscle Function Following ACL Reconstruction.
6. Mirkov DM; **Knezevic OM**, Nedeljkovic A, Kadija M, Jaric S. Asymmetries in quadriceps and hamstrings rate of force development after anterior cruciate ligament reconstruction.

### **Radovi prezentovani na naučnim skupovima:**

7. Milovanovic D, Bumbasirevic M, **Knezevic O**, Mirkov D, Kadija M. Muscle Strength Evaluation at Early Rehabilitation Phase after LCA Reconstruction. Pilot Study. Congress of Macedonian Orthopaedic and Traumatology Association. Ohrid, Macedonia, May 2009. Abstract book, pp 78.
8. Mirkov D, **Knezevic O**, Kadija M, Milovanovic D, Pazin N. Evaluation of a novel muscle strength test for athletes with ACL injury, 14th Annual Congress of the European College of Sport Science, Oslo, Norway, June, 2009. Abstract book, pp 320.
9. **Knezevic O**, Kadija M, Milovanovic D, Mirkov D. Isometric and isokinetic muscle strength evaluation following ACL reconstruction in elite athletes: Pilot study. FISU Conference 25th Universiade, Belgrade, Serbia, July 2-5th 2009 Abstract book, pp 184.
10. **Knežević O.**, Kadija M, Milovanović D., Mirkov D.M. Primena izokinetičke dinamometrije u preoperativnoj proceni mišićne jačine sportista nakon povrede LCA. Teorijski, metodološki i metodički aspekti pripreme i takmičenja sportista, Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja, Beograd, Srbija, 11.12.2009. Abstract book, pp 100.

11. **Knezevic O**, Kadija M, Milovanovic D, Pazin N, Mirkov D. Sensitivity of a novel muscle strength test applied on the athletes with acl injuries. 15th Annual Congress of the European College of Sport Science, Antalya, Turkey, June, 2010. Abstract book, pp 20.
12. **Knezevic O**, Pazin N, Kadija M, Milovanovic D, Mirkov DM. Prediction of optimal isometric hamstring to quadriceps ratio. 7th International Conference on Strength Training. Bratislava: Faculty of Physical Education and Sport, October, 2010. Abstract book, pp 165-166.
13. **Knezevic O**, Pazin N, Planic N, Mirkov DM. Effect of different joint angles on the knee flexor and extensor rate of force development during maximal isometric contraction. 7th International Conference on Strength Training. Bratislava: Faculty of Physical Education and Sport, October 2010. Abstract book, pp 95-96.
14. **Knezevic O**, Kadija M, Milovanovic D, Mirkov DM. Primena testa skok uvis sa jedne noge u praćenju oporavka nakon operacije LCA: Pilot studija. Međunarodna naučna konferencija „Sport za sve“, Beograd, Srbija, Decembar 10-11.2010. 15th Annual Congress of the European College of Sport Science, Antalya, Turkey, June, 2010 Abstract book, pp 20.
15. **Knezevic O**, Mirkov DM. Prediction of optimal HQ ratio in test of consecutive maximal contractions, 16th Annual Congress of the European College of Sport Science, Liverpool, UK, July, 2011. Abstract book, pp 626.
16. Mirkov DM, **Knezevic O**. Assessment of neuromuscular function in patients after ACL reconstruction: Overview of different testing protocols. 6th International Posture symposium September 15-18, 2011 Smolenice castle, Slovakia, September, 2011. Abstract book, pp. 63.
17. **Knezevic O**, Mirkov DM, Drljacic D, Kadija M. Rate of Force Development as an Adjunctive Outcome Measure in patients rehabilitating after anterior cruciate ligament reconstruction: Patellar tendon vs. semitendinosus gracilis tendon. 6th

Conference for Youth Sport. Bled, Slovenia December 06-09, 2012; Abstract book pp. 20.

18. Kadija M, Milovanović D, **Knezević O**, Mirkov D, Bumbaširević M: Razlike između dve hirurške tehnike u ranoj fazi rehabilitacije nakon rekonstrukcije LCA. I kongres srpske traumatološke asocijacije – STA 2009 sa međunarodnim učešćem, Subotica, Srbija, 23-26.09.2009. Zbornik sažetaka, str 209.