

ЕВАЛУАЦИЈА ТЕСТА ЗА ПРОЦЕНУ НЕУРОМИШИЋНЕ ФУНКЦИЈЕ ПРЕГИБАЧА И ОПРУЖАЧА У ЗГЛОБУ КОЛЕНА НАКОН ПОВРЕДЕ ПРЕДЊЕГ УКРШТЕНОГ ЛИГАМЕНТА

(извод из докторске дисертације)

Апстракт

Евалуација теста за процену неуромишићне функције прегибача и опружача у зглобу колена након повреде предњег укршеног лигамента

Повреда предњег укршеног лигамента (ЛЦА) једна је од најчешћих у спорту. Након повреде следи дуготрајна рехабилитација током које се мора пажљиво пратити опоравак неуромишићне функције (стандардним изометријским (ИМ) и изокинетичким тестовима (ИК)). *Циљ* овог истраживања је евалуација теста заснованог на изометријским *наизменичним максималним контракцијама* (НМК) у процени и праћењу опоравка неуромишићне функције спортиста након реконструкције ЛЦА (РАЦА). Истраживање је организовано и спроведено кроз 3 одвојена експеримента у коме су учествовали здрави испитаници (Експеримент 1), односно спортисти са повредом ЛЦА (Експерименту 2- трансверзална студија и Експеримент 3 – лонгитудинална студија). Јачина опружача и прегибача у зглобу колена процењена је применом тестова НМК, ИМ и ИК60 и ИК180. Применом НМК у углу од 45° добијени су *M* чија поузданост је била висока (ICC=0.97). Конкурентска валидност ИМ и НМК у односу на ИК, била је умерена до висока (*r* од 0.71 до 0.96). Испитивањем осетљивости тестова, добијене су значајне промене у функцији опружача и прегибача оперисане ноге, али не и здраве. Варијабле теста НМК (*M*; *ОПО* и *РДЈ*) имале су сличну или већу осетљивост од варијабли ИМ и ИК тестова, док је конкурентска валидност НМК била слична валидности ИМ теста (умерена до висока). Применом НМК неуромишићна функција може се проценити на подједнако поуздан и валидан начин као када се користе стандардни ИМ и ИК тестови. Поред тога, НМК има адекватну осетљивост за регистровање дефицита јачине између здраве и оперисане ноге, односно антагонистичког пара мишића. С озбиром на методолошке предности које поседује, нови тест би се могао примењивати као алтернативан ИК и ИМ тестовима, када се користе у процени неуромишићне функције након РАЦА.

Кључне речи: АЦА/СПОРТИСТИ/МИШИЋНА ЈАЧИНА/РЕХАБИЛИТАЦИЈА/МОМЕНТ СИЛЕ/ОДНОС ЈАЧИНЕ АНТАГОНИСТА/РЕЛАТИВНИ ДЕФИЦИТ ЈАЧИНЕ.

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

Abstract

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

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 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. Both healthy participants (Experiment 1) and athletes with ACL injury (Experiment 2- cross-sectional study and Experiment 3 – longitudinal study) participated in this 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. 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). Regarding the sensitivity of the applied tests, the results showed that ACMC variables have similar sensitivity as IMT and IKT. 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. In addition, the novel test has several potential advantages over IMT which suggest that ACMC could be a particularly promising method for routine testing of neuromuscular function following the ACL reconstruction.

Key words: ACL/ATHLETES/MUSCLE STRENGTH/REHABILITATION/PEAK TORQUE/HQ RATIO/LIMB SYMMETRY INDEX

УВОД

Руптура предњег укрштеног лигаментa (лат. *ligamentum cruciatum anterior*, ЛЦА) једна је од најучесталијих повреда повезаних са физичким активностима (Kvist, Karlberg, Gerdle, & Gillquist, 2001). Бројна истраживања (Hartigan, Zeni, Di Stasi, Axe, & Snyder-Mackler, 2012; Hiemstra, Webber, MacDonald, & Kriellaars, 2004; Kannus, 1988a; Lautamies, Harilainen, Kettunen, Sandelin, & Kujala, 2008) указала су на изражену повезаност између јачине опружача у зглобу колена и позитивног

исхода у погледу индекса опоравка, тако да процена неуромишићних карактеристика силе прегибача и опружача у зглобу колена има значајну улогу у праћењу напретка рехабилитације након повреде или реконструкције ЛЦА.

Промене у мишићној функцији током рехабилитације најчешће се прате применом стандардних изокинетичких протокола тестирања (ИК) (О. Knezevic & Mirkov, 2011; Knezevic & Mirkov, 2013; Kvist, et al., 2001; Ostenberg, Roos, Ekdahl, & Roos, 1998). Основни циљ примене тестова јачине је процена максималног момента силе (M) мишића повређене/здраве ноге након повреде или реконструкције ЛЦА (Dvir, 2004; Keays, Bullock-Saxton, Keays, & Newcombe, 2001; Shelbourne & Gray, 1997), који се достиже након дуготрајних мишићних контракција, трајања 3-5 с. Ова варијабла даље се користи за процену разлике у јачини између оперисане и здраве ноге, као и за процену уравнотежености у јачини између прегибача и опружача (Kadija, Knezevic, Milovanovic, Bumbasirevic, & Mirkov, 2010; Moissala, Jarvela, Kannus, & Jarvinen, 2007; Myer, Paterno, Ford, & Hewett, 2008). Однос јачине антагонистичког пара мишића тзв. *ОПО* (однос прегибач/опружач; енг. Hamstring/Quadriceps ratio или HQ ratio) користи се као индикатор баланса јачине мишића прегибача и опружача у зглобу колена, док *релативни дефицит јачине (РАЈ)* представља релативну разлику у јачини између оперисане (*опер*) и здраве (*здр*) ноге (Impellizzeri, Bizzini, Rampinini, Cereda, & Maffiuletti, 2008; Lautamies, et al., 2008; Neeter et al., 2006)

ИК тестови могу спроводити при различитим угаоним брзинама, али се у пракси мишићна функција углавном процењује при две угаоне брзине: (60 °/с) и (180 °/с) (Dvir, 2004; Kannus, 1988b; О. Knezevic, Mirkov, Kadija, Milovanovic, & Jaric, 2012). Поред ИК тестова, који се могу сматрати стандардним методом за процену неуромишићне функције након реконструкције (РЛЦА), изометријски (ИМ) тестови такође могу бити веома корисни, посебно у ситуацијама када није могуће користити изокинетички динамометар. И док се ИК тестови рутински спроводе на изокинетичким динамометрима (Pua, Bryant, Steele, Newton, & Wrigley, 2008), ИМ тестови могу се изводити на изокинетичком динамометру, али и на посебним конструкцијама на које је причвршћен мерач силе (Suzovic, Nedeljkovic, Pazin, Planic, & Jaric, 2008; Wilson & Murphy, 1996).

Како би се превазишли неки од недостатака стандардних тестова (ниска спољашња валидност, образац неуралне активације који би могао бити другачији од обрасца активације који је карактеристичан за брзе и цикличне покрете, или релативно дуга и замору подложна процедура (В. Abernethy, Hanrahan, Kippers, Mackinnon, & Pandy, 2005; Enoka & Fuglevand, 2001; Pua, et al., 2008), недавно је евалуиран тест заснован на изометријским *наизменичним максималним контракцијама* (НМК) (Bozic, Pazin, Berjan, & Jaric, 2012; Bozic, Suzovic, Nedeljkovic, & Jaric, 2011). Тест НМК заснован је на изометријским контракцијама које се изводе наизменично, ангажовањем антагонистичког пара мишића. Налази истраживања указују на то да *НМК* има потенцијал да боље прикаже неуралну активацију кратких максималних акција повезаних са тестовима општих моторичких способности, него са ИМ, те да би могао да пружи боље начине за квантификовање

квалитета испољавања силе специфичне за бројне свакодневне покрете, као и за покрете који се састоје из кратких, једноставних и цикличних мишићних активности, или при корекцији положаја или покрета који служе да би се спречиле повреде (Bozic, et al., 2011). Поред тога, тест се може изводити при различитим фреквенцијама (0.67 до 2.67 Хз, као и при фреквенцији коју су испитаници спонтано изабрали). У поређењу са стандардним ИМ тестом, НМК може имати неколико методолошких предности: кратка процедура тестирања антагонистичког пара мишића у само једном покушају, мишиће и везивна ткива излаже релативно нижим и краткотрајним напрезањима и не доводи до појаве замора .

Ипак, поменута истраживања била су ограничена на евалуацију примене теста код здравих, физички активних испитаника, при углу у зглобу колена који фаворизује испољавање максималних могућности опружача, али не и прегибача. Такође, није вршена процена међусобног односа јачине антагонистичког пара мишића (ОПО), као ни евентуалних разлика између контралатералних екстремитета (РДЈ). Како је циљ да се овај тест развије у један од стандардних тестова за процену неуромишићне функције спортиста након реконструкције ЛЦА, неопходно је испитати и основне метријске карактеристике НМК, које се тичу његове поузданости, спољашње и конкурентске валидности, као и процену осетљивости лонгитудиналним праћењем постоперативног опоравка мишићне функције након реконструкције ЛЦА. Поред тога, варијабле које се добијају тестовима за процену неуромишићне функције (М, ОПО и РДЈ) морају бити поуздане и валидне како би се користиле у праћењу ефеката рехабилитације, или као скрининг тест мишићне функције. У ранијим истраживањима у којима је испитивана поузданост изокинетичких и изометријских тестова, наводи се да моменти силе мишића опружача и прегибача у зглобу колена имају високу релативну и апсолутну поузданост (P. Abernethy, Wilson, & Logan, 1995; Impellizzeri, et al., 2008; Maffiuletti, Bizzini, Widler, & Munzinger, 2010; Sole, Hamren, Milosavljevic, Nicholson, & Sullivan, 2007; Wilson, Lyttle, & Murphy, 1995). Међутим, само у неколико студија испитивана је поузданост изведених мера, и у њима се наводи да ОПО и РДЈ имају ниску до умерену поузданост (Impellizzeri, et al., 2008; Sole, et al., 2007). Имајући у виду да се директно мерене (М) и изведене варијабле (ОПО и РДЈ) регуларно користе у праћењу опоравка мишићне функције, очигледно је да нема довољно података о њиховој лонгитудиналној конструкт валидности. Испитивање оваквог типа валидности засновано је на конструкту да након операције, и касније током процеса опоравка, долази до одређених промена у мишићној функцији повређене ноге док у мишићној функцији здраве ноге нема никаквих промена или оне нису значајне (Reid, Birmingham, Stratford, Alcock, & Giffin, 2007). Дакле, да би се омогућила поуздана и валидна процена опоравка пацијената након РАЦА, постоји потреба да се испита лонгитудинална конструкт валидност варијабли добијених из тестова за процену неуромишићне функције.

Циљ истраживања је евалуација теста НМК када се користи у процени неуромишићне функције након реконструкције ЛЦА, која је обухватила упоређивање са ИК и ИМ тестом у погледу поузданости, валидности и осетљивости за проце-

ну и праћење постоперативног опоравка. На основу општег циља истраживања, дефинисани су следећи подциљеви: - Одређивање угла у зглобу колена за извођење теста заснованог на *наизменичним максималним контракцијама* - Експеримент 1; Испитати поузданост, валидност и осетљивост теста заснованог на *наизменичним максималним контракцијама* у праћењу опоравка након реконструкције ЛЦА - Експеримент 2; Испитати примењивост теста заснованог на НМК у праћењу постоперативног опоравка након реконструкције предњег укрштеног лигамента – Експеримент 3. Тестирањем хипотеза постављених у ове три студије биће омогућен даљи развој теста заснованог на НМК у један од стандардних тестова за процену неуромишићне функције и праћење опоравка након повреде/ реконструкције предњег укрштеног лигамента.

МЕТОД

Узорак испитаника

За потребе истраживања у оквиру Експеримента 1, укључено је 20 студената Факултета спорта и физичког васпитања (Експериментална група; старост 24 ± 4 , МТ 81 ± 8 кг, ВТ 182 ± 6 цм), без претходног искуства у извођењу тестова за процену мишићне функције. Накнадно је тестирано још 15 испитаника (Контролна група; старост 23 ± 2 године; МТ 80.8 ± 8.5 кг; ВТ 181.6 ± 6.5 цм), такође студената Факултета спорта и физичког васпитања, без претходног искуства у извођењу тестова за процену неуромишићне функције. Сви испитаници били су здрави, умерено физички активни, без неуролошких поремећаја и повреда локомоторног апарата.

У Експерименту 2 учествовало је 15 испитаника, активних спортиста (старост 22 ± 4 године; МТ 84.0 ± 11.1 кг; ВТ 180.3 ± 4.0 цм) код којих је неуромишићна функција процењена 4 месеца након реконструкције предњег укрштеног лигамента колена., док је за потребе истраживања у оквиру Експеримента 3 укључено 20 испитаника мушког пола (старост 22 ± 4 године; МТ 84.0 ± 11.1 кг; ВТ 180.3 ± 4.0 цм). Критеријуми за укључивање испитаника у истраживање били су: руптура предњег укрштеног лигамента, без пратећих конкурентних повреда или неуролошких поремећаја који би могли утицати на резултате тестирања. Сви испитаници су пре повреде ЛЦА били активни спортисти. Након операције, сви испитаници били су подрвгнути истом рехабилитационом протоколу у Институту за ортопедску хирургију и трауматологију Клиничког центра Србије.

Студија је била одобрена одлуком Етичког комитета Факултета спорта и физичког васпитања Универзитета у Београду. Сви испитаници су потписали формулар којим су потврдили сагласност за учешће у студији.

Ток и поступци истраживања

Сва мерења у оквиру овог истраживања су спроведена у Методичко-истраживачкој лабораторији Факултета спорта и физичког васпитања Универзитета у Београду. Истраживања у оквиру Експеримента 1 су реализована у две одвојене сесије. У првој сесији тестирана је Експериментална група, а у другој сесији Контролна група. Сваки испитаник тестиран је у једном дану. Прво су измерене висина и маса тела, а потом је извршена процена неуромишићне функције применом теста НМК.

Мерења у оквиру Експеримента 2 су организована у два одвојена експериментална дана. Експеримент 3 је био реализован као лонгитудинално истраживање у коме је неуромишићна функција спортиста мерена преоперативно (сесија 1; С1), 4 месеца (сесија 2; С2) и 6 месеци (сесија 3; С3) након РЛЦА, и у свакој од сесија мерења за сваког испитаника била су спроведена у два одвојена дана. У Експериментима 2 и 3 сваки испитаник био је тестиран у исто време током дана. Првог дана измерене су висина и маса тела, и према случајном избору спроведена прва два од планирана четири теста за процену неуромишићне функције (НМК и ИМ, или ИК60 и ИК180). Другог дана спроведена су преостала два теста за процену неуромишићне функције (ИК60 и ИК180, или НМК и ИМ). Између тестирања је било 2 до 3 дана паузе. Тестирањима је претходио стандардни десетоминутни протокол загревања. Сва тестирања реализовао је један искусан испитивач.

За извођење тестова за процену неуромишићне функције коришћен је изокинетички динамометар типа Кин-Ком 125АП (Kin-Com; Chatex, Chattanooga, TN, USA). Током теста, испитаник је седео у столицу, а натколеница, труп и рамена су били чврсто фиксирани помоћу каишева. Дистални део потколенице (непосредно изнад *malleolus lateralis*-а) је преко манжетне био фиксиран за полуку динамометра, а оса ротације полуге била је поравната са центром зглоба колена.

Током трајања теста испитаници су, на монитору који је био постављен испред њих, пратили развијање силе у реалном времену и све време током трајања теста били су вербално мотивисани од стране мериоца да што боље остваре задатак

Наизменичне максималне контракције (НМК)

Испитаници су изводили НМК мишића опружача и прегибача у зглобу колена (инструкција: најјаче и најбрже) у ритму који су сами изабрали. Дужина трајања НМК обухватала је период од 5 пуних циклуса (циклус је подразумевао развој силе контраховањем мишића опружача и прегибача). У Експерименту 1 тест је био примењен у четири различита угла у зглобу колена (20°, 40°, 60° и 80°), према случајном редоследу. У Експерименту 2 и 3, тест НМК био је примењен при углу у зглобу колена од 45°, а који је одређен на основу резултата добијених у Експерименту 1.

Изометријски тест јачине (ИМ)

Испитаници су имали задатак да на манжетну динамометра остваре максималну силу што је могуће брже (инструкција: најјаче и најбрже) и да је одржавају (или развијају) у периоду од 3-4 с (Wilson & Murphy, 1996). Тест је изведен при углу у зглобу колена од 45°, одвојено за опружаче и прегибаче.

Изокинетички тест јачине (ИК)

У овом тесту, испитаници су имали задатак да наизменично изводе максималне контракције мишића опружача и прегибача у зглобу колена (инструкција: најјаче и најбрже) при задатој и константној угаоној брзини. Дужина трајања наизменичних изокинетичких контракција је обухватала период од 5 пуних циклуса. Тест је извођен при две угаоне брзине и то прво при 60°/с а онда при 180°/с.

Тест за процену стабилности зглоба колена (Скок удаљ једном ногом - СДЈН)

Испитаници су изводили скок удаљ из усправног става на једној нози. Од испитаника је захтевано да одскоче и доскоче на исту ногу, што је могуће даље, уз одржавање равнотеже на доскочној нози до читавања резултата од стране мериоца. Дужина скока је мерена помоћу центиметарске траке.

У свим тестовима прво је тестирана здрава нога, а потом оперисана (Lautamies, et al., 2008; Moisala, et al., 2007). Сваком тесту претходио је по један пробни покушај, након чега су извођена најмање по два експериментална покушаја.

Прикупљање и обрада података

За потребе прикупљања и обраде добијених податак коришћена је апликација направљена у LabVIEW програму (National Instruments Corp. Austin, TX, USA). На основу разлика максималних сила (добијених у смеру опружања и прегибања колена) и минималне силе (која се рачуна за првих 200 тачака; фреквенција записивања 500 Хз) добијени су максимуми сила за мишиће опружаче и прегибаче у зглобу колена. Варијабле НМК и ИК тестова добијене су усредњавањем другог, трећег и четвртог циклуса. Максимални моменти силе (M) добијени су множењем силе, односно њихових извода у времену, са краком преко кога је сила остварена, а на основу M израчунати су ОПО (ОПО = Мпрегибач/Мопружач), и релативни дефицит јачине (RDJ), посебно за опружаче и прегибаче:

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

Статистичка анализа

Основни дескриптивни показатељи (средња вредност [СВ] и стандардна девијација [СД]) израчунати су за све коришћене варијабле.

За процену разлика између експериментално одређеног *ОПО* и *ОПО* доминантне, односно недоминантне ноге, урађен је Т тест за независне узорке.

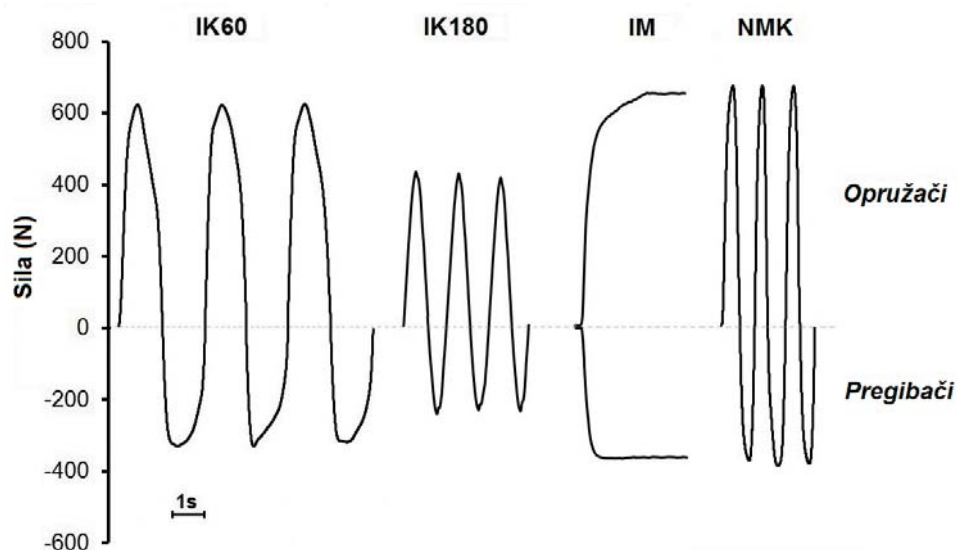
За процену поузданости момената силе добијених у узастопним мерењима израчуната је промена средњих вредности и интракласни коефицијент корелације (ИСС) за два узастопна понављања (Hopkins, 2000). Апсолутна варијабилност процењена је на основу коефицијента варијације – КВ (Hopkins, 2000) За процену конкурентске и спољашње валидности теста НМК, ИК и ИМ израчунат је Пирсонов коефицијент корелације (r) између одговарајућих варијабли. Менг-ов тест (Meng, Rosenthal, & Rubin, 1992) коришћен је за процену разлика између корелисаних коефицијената корелације. За испитивање разлика између *ОПО* добијених из различитих тестова, коришћена је једнофакторска АНОВА за поновљена мерења 2 x 4. За испитивање разлика између *РДЈ* добијених из различитих тестова, коришћена је једнофакторска АНОВА за поновљена мерења 2 x 4. У случајевима у којима је забележен значајан ефекат фактора или њихова интеракција, накнадно је урађен тест са Бонферони корекцијом.

За испитивање лонгитудиналне конструкт валидности *М*, *ОПО* и *РДЈ*, средње вредности појединачних сесија међусобно су упоређене помоћу анализе варијансе (АНОВА) за поновљена мерења (фактор сесија: преоперативно [С1], 4 месеца [С2] и 6 месеци [С3] постоперативно). За процену поновљивости индивидуалних резултата између узастопних сесија коришћен је КВ. ИСС_{3,1} је коришћен као мера хомогености резултата појединаца у поновљеним мерењима (сесијама). Промена средње вредности коришћена је за процену осетљивости варијабли тестова неуромишићне функције у бележењу разлика између различитих стадијума опоравка (узастопних сесија). Промена повезаности између примењених тестова неуромишићне функције била је урађена помоћу Пирсоновог коефицијента корелације (r). Конкурентска валидност НМК и ИМ у односу на ИК била је процењена помоћу Менг-овог теста за корелисане коефицијенте корелација.

Праг значајности статистичких налаза био је на нивоу поверења од $p = 0.05$. Сви статистички тестови рачунати су коришћењем SPSS 20.0 софтвера (SPSS Inc, Chicago, IL) и Office Excel 2010 (Microsoft Corporation, Redmond, WA).

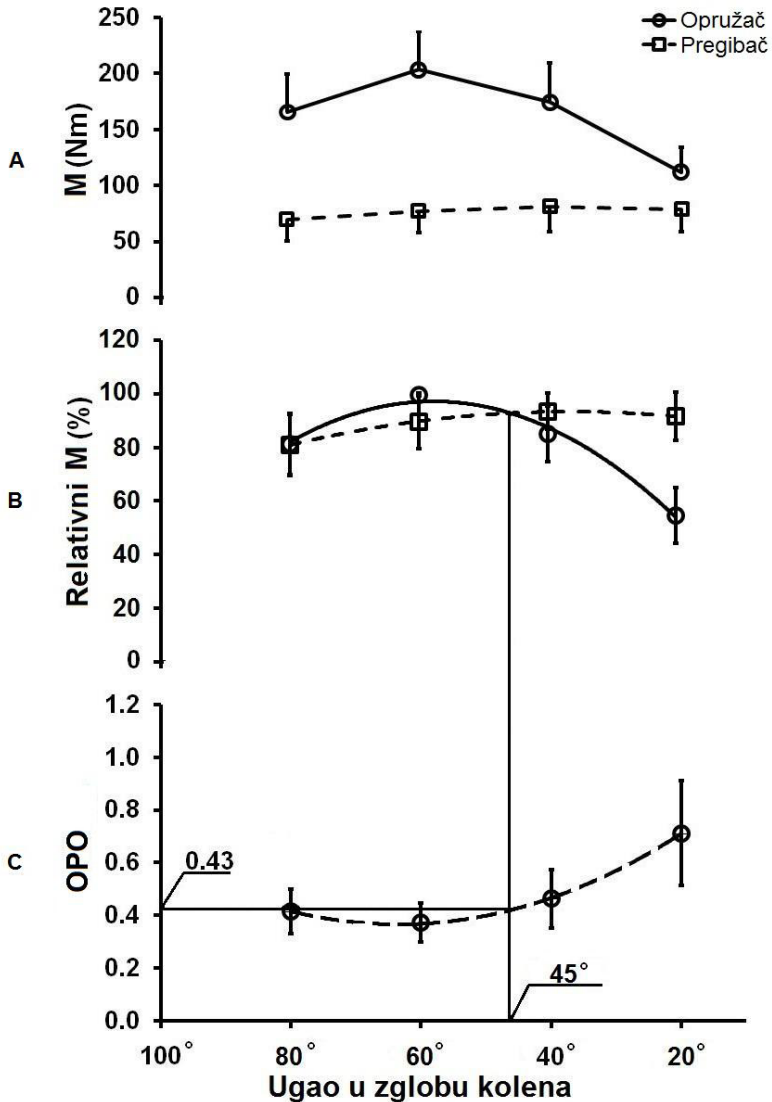
РЕЗУЛТАТИ

На типичном запису силе у времену добијен у тестовима за процену неуромишићне функције (**Слика 1**) може се уочити да су током једног покушаја вредности мишићних сила и опружача и прегибача биле релативно стабилне. Максималне силе испољене при мањој (ИК60), а посебно већој угаоној брзини (ИК180) биле су ниже од максималних сила испољених у тестовима ИМ и НМК.



Слика 1. Илустрација профила силе добијених из тестова за процену неуромишићне функције. На слици су приказана средња три циклуса из профила силе добијених из изокинетичких тестова (ИК60 И ИК120) и новог теста заснованог на *наизменичним максималним контракцијама* (НМК), као и максимална вредност силе из ИМ теста. Силе прегибача приказане су као негативне вредности

Израчунавање угла за примену НМК и одређивање експерименталног односа јачине прегибача и опружача: Добијени моменти силе опружача и прегибача, претворени су у релативне вредности момената силе **Слика 2Б**), а затим су усредњене су и интерполиране чиме су добијене криве (опружачи и прегибачи) које се међусобно пресецају при углу од 45° . Добијеном углу од 45° одговарао $ОПО_{експ}$ чија је вредност 0.43 (интервал поузданости 0.11; **Слика 2Ц**). $ОПО$ доминантне (0.49 ± 0.09) и недоминантне ноге (0.44 ± 0.12) добијених применом НМК у углу од 45° нису се значајно разликовали од $ОПО_{експ}$.



Слика 2. Одређивање угла за примену теста НМК и одговарајућег *ОПО*. Слика а) апсолутне вредности момената (M) опружача и прегибача добијених у различитим угловима у зглобу колена. Слика б) релативизовани моменти опружача и прегибача. Слика ц) *ОПО* добијени у различитим угловима и експериментални *ОПО* који одговара израчунатом углу.

Показатељи поузданости момената силе приказани су у Табели 1. Добијени коефицијенти указују на веома високу релативну поузданост M добијених из примењених тестова (медиана ICC = 0.97), док је коефицијент варијације, као мера апсолутне поузданости мерења, био у опсегу од 2.9 % до 10.3 %. Између поновљених мерења нема значајних разлика (Т вредност од -1.98 до 1.88; $p > 0.05$).

Табела 1. Поузданост момената силе M (Nm) опружача и прегибача здраве и оперисане ноге добијених извођењем изометријских изокинетичких тестова

Тест	Нога	Мишић	Покушај 1	Покушај 2	Промена СВ (%)	Т-тест	CV%	ICC	IP 95%
			SV ± SD	SV ± SD					
НМК	Здр	<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
	Опер	<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
ИМ	Здр	<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
	Опер	<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
ИК60	Здр	<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
	Опер	<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
ИК180	Здр	<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
	Опер	<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 - коефицијент варијације; ICC - интракласни коефицијент корелације; IP - интервал поузданости; Здр - здрава нога; Опер - оперисана нога; *Ext* – опружач; *Flx* – прегибач.

* разлике између покушаја статистички значајне на нивоу $p < 0.05$

Конкурентска валидност НМК испитана је у односу на ИМ и ИК тестове (Табела 2). Коефицијенти корелације између M добијених из НМК и ИК, односно између ИМ и ИК, указују на умерену до високу конкурентску валидност оба изометријска теста. Добијени коефицијенти корелације упоређени Менг-овим тестом и разлике нису биле значајне (Z вредност од -1.409 до 1.486; $p > 0.5$).

Табела 2. Показатељи конкурентске валидности изражене преко коефицијената корелације између момената сила (М) добијених из НМК, ИМ и ИК тестова.

Моменти силе (М)	Здрава нога		Оперисана нога	
	<i>Ext</i>	<i>Flx</i>	<i>Ext</i>	<i>Flx</i>
НМК - ИК60	0.84**	0.91**	0.83**	0.75**
НМК - ИК180	0.75**	0.85**	0.73**	0.65*
ИМ - ИК60	0.77**	0.91**	0.83**	0.96**
ИМ - ИК180	0.71*	0.94**	0.73**	0.90**

* Коефицијенти корелације значајни на нивоу $p < 0.05$; ** Коефицијенти корелације значајни на нивоу $p < 0.01$

Спољашња валидност момената силе добијених из НМК, ИМ и ИК процењена је на основу њихове повезаности за тестом СДЈН. Добијене су генерално умерене и значајне корелације (Табела 3), а између њих нису забележене значајне разлике (Z вредност била је у опсегу од -0.307 до 0.169; $p > 0.1$).

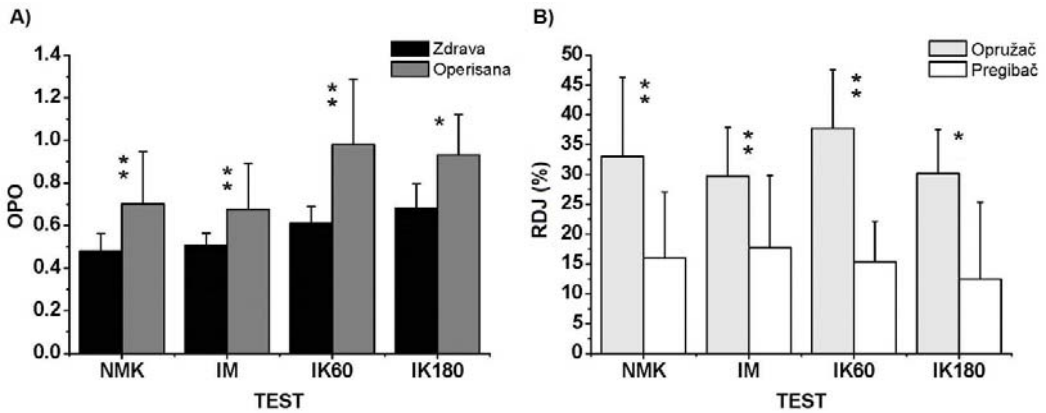
Табела 3. Спољашња валидност изражена преко коефицијената корелације између СДЈН и момената силе добијених из тестова за процену неуромишићне функције

	Здрава нога		Оперисана нога	
	<i>Ext</i>	<i>Flx</i>	<i>Ext</i>	<i>Flx</i>
СДЈН - НМК	0.64*	0.72*	0.80**	0.69*
СДЈН - ИМ	0.62*	0.74**	0.81**	0.65*
СДЈН - ИК60	0.69*	0.72*	0.81**	0.69*
СДЈН - ИК180	0.77**	0.74**	0.73*	0.52

* Коефицијенти корелације значајни на нивоу $p < 0.05$; ** Коефицијенти корелације значајни на нивоу $p < 0.01$

Осетљивост тестова јачине процењена је поређењем *ОПО* здраве и оперисане ноге, односно поређењем *РАЈ* опружача и прегибача. У сва четири теста (НМК; ИМ, ИК60 и ИК180) *ОПО* је био значајно већи код оперисане ноге него код здраве ($F_{1,24} = 28.018$; $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.539$) (Слика 3А). *ОПО* добијени у НМК и ИМ били су значајно нижи у односу на оба изокинетичка теста ($F_{3,78} = 37.045$; $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.607$; $p < 0.001$; $d > 1.0$). Што се тиче *РАЈ* (Слика 3Б), био је већи

код опружача него код прегибача ($F_{1,22} = 26.598$; $p < 0.01$; $\eta^2 = 0.547$) независно од примењеног теста ($F_{3,66} = 1.939$; $p > 0.05$; $\eta^2 = 0.081$).



Слика 3. ОПОи и РДЈ момената силе добијени применом наизменичних максималних контракција (НМК), изометријског теста (ИМ), и изокинетичких тестова (ИК60 и ИК180).

* разлике између здраве и оперисане ноге, односно између опружача и прегибача значајне на нивоу $p < 0.05$;

** разлике између здраве и оперисане ноге, односно између опружача и прегибача значајне на нивоу $p < 0.01$.

Показатељи лонгитудиналне конструкт валидности момената силе указују да ни у једном тесту нису добијене значајне разлике између сесија у M опружача и прегибача здраве ноге (Табела 4). Међутим, код оперисане ноге, у свим тестовима био је забележен значајан ефекат сесије за M опружача. Средње вредности M добијене у другој сесији (С2; 4 месеца после операције) биле су значајно ниже од вредности M које су добијене у првој (С1; преоперативно), односно у трећој сесији (С3; 6 месеци постоперативно). У тесту НМК забележене су изузетно велике релативне разлике између узастопних сесија (изражене преко промене у средњој вредности). Ефекат сесије на вредност M прегибача оперисане ноге био је значајан само у НМК тесту, услед нижих вредности момента силе забележених у С2 у поређењу са С3. Коefицијент варијације, је код здраве ноге (сви мањи од 13.5%) био нижи него код оперисане (11.7-22.1%). ИСС је углавном био умерен до висок за обе мишићне групе здраве ноге, док је код опружача оперисане ноге био низак (за ИМ и НМК) и висок (за ИК).

Табела 4. Дескриптивни показатељи лонгитудиналне конструкт валидности момената силе добијених применом изокинетичких (ИК60 и ИК180) и изометријских тестова (ИМ и НМК)

	<i>M</i> (C1)	<i>M</i> (C2)	<i>M</i> (C3)	<i>F</i>	Промена	Промена	CV %	ICC _{3,1}	95% IP
	CB ± CD	CB ± CD	CB ± CD		CB	CB			
					C2-C1 %	C3-C2 %			
<i>Опружач здрава нога</i>									
ИК60	170 ± 36	176 ± 38	179 ± 40	2.3	3.5	1.7	7.4	0.91	0.83-0.96
ИК180	125 ± 24	126 ± 26	129 ± 32	0.3	0.8	2.4	8.7	0.87	0.77-0.94
ИМ	212 ± 53	213 ± 55	225 ± 50	2.1	0.5	5.6	12.2	0.80	0.65-0.89
НМК	197 ± 47	202 ± 44	211 ± 45	1.7	2.5	4.5	9.0	0.83	0.70-0.91
<i>Прегибач здрава нога</i>									
ИК60	104 ± 21	107 ± 21	111 ± 21	1.1	2.9	3.7	9.6	0.80	0.65-0.90
ИК180	89 ± 22	85 ± 17	84 ± 14	4.0*	-4.5	-1.2	10.9	0.77	0.59-0.88
ИМ	107 ± 25	105 ± 26	110 ± 22	0.8	-1.9	4.8	13.5	0.74	0.54-0.86
НМК	104 ± 21	107 ± 21	111 ± 21	3.7*	2.9	3.7	12.6	0.81	0.67-0.90
<i>Опружач оперисана нога</i>									
ИК60	130 ± 38	101 ± 35 [†]	122 ± 37 [†]	8.1**	-22.3	20.8	18.1	0.80	0.64-0.89
ИК180	102 ± 23	84 ± 22 [†]	99 ± 31 [‡]	6.6**	-17.6	17.9	14.0	0.80	0.64-0.89
ИМ	180 ± 41	142 ± 48 [†]	165 ± 40 [†]	8.9**	-21.1	16.2	20.9	0.60	0.36-0.77
НМК	166 ± 44	125 ± 45 [†]	150 ± 40 [†]	6.6**	-24.7	20.0	22.1	0.58	0.33-0.76
<i>Прегибач оперисана нога</i>									
ИК60	96 ± 32	92 ± 24	99 ± 24	1.3	-4.2	7.6	17.2	0.74	0.55-0.86
ИК180	79 ± 19	76 ± 17	79 ± 16	1.7	-3.8	3.9	11.7	0.77	0.60-0.88
ИМ	104 ± 21	107 ± 21	111 ± 21	2.4	2.9	3.7	16.8	0.70	0.50-0.84
НМК	78 ± 19	77 ± 26	86 ± 20 [†]	3.9*	-1.3	11.7	13.2	0.83	0.69-0.91

M - момент силе (Nm); C1 - преоперативно мерење; C2 - мерење на 4 месеца постоперативно; C3 - мерење на 6 месеци постоперативно; *F* - ANOVA за поновљена мерења; CV - коефицијент варијације; ICC - интракласни коефицијент корелације; IP - интервал поузданости;

* значајан ефекат сесије на нивоу $p < 0.05$; ** значајан ефекат сесије на нивоу < 0.01 ; † значајно различито од претходне сесије на нивоу $p < 0.05$; ‡ значајно различито од претходне сесије на нивоу $p < 0.01$.

Показатељи лонгитудиналне конструкт валидности ОПО и РДЈ приказани су у Табели 5. Разлике између узастопних сесија биле су углавном значајне код обе варијабле, услед нарушене мишићне функције опружача оперисане ноге. Код односа јачине прегибача и опружача, КВ здраве ноге (10.4-15.5%) био је нешто нижи

него код оперисане ноге (14.1-25.2%). ICC је углавном био низак, са изузетком *ОПО* здраве ноге који су добијени из ИМ и НМК, за које је добијен умерен ICC. Што се тиче релативног дефицита јачине, АНОВА је код свих тестова показала значајан ефекат сесије за *РАЈ* опружача, али не и *РАЈ* прегибача. КВ је углавном био висок за *РАЈ* обе мишићне групе, док је ICC у просеку био низак до умерен.

Табела 5. Дескриптивни показатељи лонгитудиналне конструкт валидности *ОПО* и *РАЈ* добијених применом изокинетичких и изометријских тестова

	C1	C2	C3	F	Промена СВ		CV %	ICC _{3,1}	95% IP
	СВ ± СД	СВ ± СД	СВ ± СД		C2-C1 %	C3-C2 %			
<i>ОПО</i>									
<i>Здрава нога</i>									
ИК60	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
ИК180	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
ИМ	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
НМК	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
<i>Оперисана нога</i>									
ИК60	0.73 ± 0.11	0.98 ± 0.32	0.86 ± 0.27 [†]	5.52 [*]	34.2	-12.2	17.7	0.62	0.38-0.79
ИК180	0.78 ± 0.10	0.93 ± 0.19	0.85 ± 0.23	3.43 [*]	19.2	-8.6	14.1	0.57	0.31-0.76
ИМ	0.52 ± 0.11	0.62 ± 0.21	0.59 ± 0.16	3.78 [*]	19.2	-4.8	22.1	0.56	0.26-0.72
НМК	0.49 ± 0.15	0.63 ± 0.21 [†]	0.53 ± 0.13	5.74 ^{**}	28.6	-15.9	25.2	0.44	0.16-0.67
<i>РАЈ</i>									
<i>Опружач</i>									
ИК60	76.2 ± 19.6	57.4 ± 13.4 [†]	77.1 ± 16.9 [‡]	6.17 [*]	-24.7	34.3	15.0	0.62	0.38-0.79
ИК180	80.8 ± 14.2	67.2 ± 13.3 [†]	77.1 ± 16.8 [‡]	7.34 ^{**}	-16.8	14.7	19.0	0.67	0.45-0.82
ИМ	84.8 ± 12.2	66.3 ± 13.1 [‡]	74.2 ± 12.6 [‡]	15.50 ^{**}	-21.8	11.9	12.1	0.68	0.46-0.83
НМК	84.4 ± 19.2	62.6 ± 17.8 [†]	70.4 ± 14.9	8.35 ^{**}	-25.8	12.5	19.8	0.57	0.31-0.76
<i>Прегибач</i>									
ИК60	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
ИК180	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
ИМ	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
НМК	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

^{*} значајан ефекат сесије на нивоу $p < 0.05$; ^{**} значајан ефекат сесије на нивоу $p < 0.01$; [†] значајно различито од претходне сесије на нивоу $p < 0.05$; [‡] значајно различито од претходне сесије на нивоу $p < 0.01$.

ДИСКУСИЈА

Циљ овог истраживања односио се на испитивање примењивости новог теста заснованог на наизменичним максималним контракцијама (НМК) за процену неуромишићне функције након повреде и реконструкције предњег укрштеног лигамента, која је обухватила упоређивање са изокинетичким (ИК) и изометријским тестом (ИМ) у погледу поузданости, валидности и осетљивости за процену и праћење постоперативног опоравка. На основу налаза спроведених истраживања може се закључити да су метријске карактеристике новог теста сличне и упоредиве са карактеристикама тестова који се стандардно користе у процени опоравка након РЛЦА. Међутим и поред тога, нови тест ипак има читав низ методолошких предности на основу којих би могао бити алтернативан у праћењу напретка током рехабилитације.

Показано је да се изабрани угао за примену НМК код спортиста са повредом ЛЦА налази у опсегу углова у којима антагонистички пар мишића испољава своје максималне моменте силе. Још важније, израчунати угао се налази у опсегу углова који се могу сматрати безбедним за примену код особа које се опорављају након реконструкције ЛЦА (РАЦА) (Beynnon, Johnson, Abate, Fleming, & Nichols, 2005; Dubljanin-Rasporovic, Kadija, Mirkov, & Bumbasirevic, 2011). Поред тога показано је да се применом НМК при израчунатом углу добијају валидне мере јачине.

Добијени налази који се тичу поузданости, валидности и осетљивости НМК када је примењен за процену неуромишићне функције након реконструкције ЛЦА, потврђују претходно постављене претпоставке. Резултати Експеримента 2 (O. Knezevic, et al., 2012) показали су да се помоћу НМК јачина може проценити на подједнако поуздан и валидан начин као и када се користе стандардни изометријски и изокинетички тестови. Добијени показатељи поузданости M генерално су слични онима који су наведени у ранијим истраживањима у којима је вршена евалуација НМК код здравих, физички активних испитаника (Bozic, et al., 2012; Bozic, et al., 2011), или чак виши од оних који су добијени у ранијим евалуацијама изокинетичких тестова (Harding, Black, Bruulsema, Maxwell, & Stratford, 1988; Impellizzeri, et al., 2008; Montgomery, Douglass, & Deuster, 1989). Валидност мера добијених из изокинетичких тестова подржана је налазима претходних студија (Dvir, 2004; Pua, et al., 2008), које говоре у прилог чињеници да се ИК тестови често користе за процену неуромишићне функције. С обзиром да је та повезаност између НМК и ИК посебно изражена код опружача оперисане ноге, добијени резултати указују да би НМК могао бити валидно средство у процени неуромишићне функције појединаца који се опорављају након повреде или реконструкције ЛЦА. Такође, резултати ове студије показали су да тест НМК има адекватну спољашњу валидност, а с обзиром на препостављену сличност задатка на коме се заснива НМК са цикличним активностима, добијени налаз могао би да говори у прилог већој сличности варијабли НМК са функционалним задацима, него што је то случај са варијаблама ИМ теста. Анализа осетљивости указује да се НМК може рутински примењивати у тестирању мишићне функције већ након неколико

пробних покушаја, као и да може да забележи релативне разлике или ефекте који су мањи од 15 %. Поред тога, НМК има адекватну осетљивост за регистровање дефицита у јачини између здаве и оперисане ноге, односно неуравнотежености у јачини антагонистичког пара мишића.

С обзиром да поједини аутори наглашавају потребу праћења опоравка мишићне функције током процеса рехабилитације, било је неопходно испитати и лонгитудиналну конструкт валидност директно мерених и изведених мера јачине (Експеримент 3) (О. М. Knezevic, Mirkov, Milovanovic, Kadija, & Jaric, 2013). Генерално, добијени резултати указују на задовољавајућу лонгитудиналну конструкт валидност директно мерених и изведених варијабли добијених применом тестова за процену мишићне функције (ИК, ИМ и НМК). Као што је претпостављено, значајне промене забележене су у варијаблама опружача оперисане ноге, добијеним применом ИК и ИМ тестова током 6 месеци праћења мишићне функције. Посебно значајан налаз могао би бити то да су помоћу НМК забележене промене које су биле исте или чак израженије него код ИМ или ИК, што би могло бити важно у ситуацијама где није могуће користити изокинетички динамометар. У тим случајевима, за процену мишићне функције након повреде или реконструкције ЛЦА, али и код других клиничких популација могу се користити или стандардни ИМ тест или нови НМК тест. Генерално, приказани резултати указују на задовољавајућу лонгитудиналну конструкт валидност момената силе добијених применом тестова за процену мишићне функције (ИК, ИМ и НМК). Иако су показатељи овог типа валидности били нешто нижи за *ОПО* и *РАЈ*, ипак се може сматрати да ове две изведене варијабле имају довољну осетљивост да забележе промене у мишићној функцији прегибача и опружача које су повезане са реконструкцијом ЛЦА и постоперативним рехабилитационим процедурама.

Иако процена величине дефицита јачине није била примарни циљ истраживања у оквиру Експеримента 3, ипак, разлике које су уочене у јачини између оперисане и здраве ноге, веће су од оних које су очекиване 6 месеци након операције. Налази ове студије потврђује потребу за континуираним, лонгитудиналним праћењем опоравка неуромишићне функције, уз укључивање преоперативне процене када год је то могуће. Такав приступ оправдан је чињеницом да након операције може доћи или до значајног слабљења мишићне функције чак и код здраве ноге, или пак до њеног јачања услед израженог ослањања на здраву ногу како би се поштедела оперисана, што може значајно утицати на то да постоперативне мере (пре свега *ОПО* и *РАЈ*) не дају прави увид у величину дефицита јачине код оперисане ноге.

Потенцијални недостаци ове студије могли би потицати од релативно мањег узорка испитаника, који би се могао сматрати нехомогеним с обзиром да су га чинили спортисти из различитих спортских грана. Треба имати у виду да су у студију били укључени само испитаници код којих је РАЦА урађена коришћењем графта са лигамента пателе, што је такође могло утицати на добијене резултате. Недостатак студије могло би бити и то да је након повреде и РАЦА мишићна функција спортиста процењивана искључиво на основу варијабли до-

бијених из силе, али не и из брзине развоја силе. Наиме, према наводима неколико недавних истраживања (Angelozzi et al., 2012; Maffiuletti, et al., 2010; Zebis, Andersen, Ellingsgaard, & Aagaard, 2011), постоје индиције да би мере засноване на брзини развоја силе (значајне за брзе и експлозивне акције као што су скокови, шутеви, ударци и сл.) могле бити важне додатне мере за праћење опоравка након РЛЦА. У будућим истраживањима требало би испитати претходно поменуте недостатке. Такође, неопходно је испитати спољашњу валидност НМК у односу на функционалне тестове који су специфични за праћење опоравка након РЛЦА (тестови за процену ротаторне стабилности колена, артрометрију и друге), као и евалуацију НМК у праћењу других клиничких популација.

ЗАКЉУЧАК

С обзиром да је реконструкција ЛЦА неизоставно праћена израженим дефицитима у јачини мишића оперисане ноге, јасно је зашто су тестови за процену мишићне функције саставни део процедура које се користе у праћењу опоравка. Тим тестовима се на безбедан и контролисан начин процењује функција изолованог мишића што је посебно важно у раној фази рехабилитације када није могуће користити друге, функционалне тестове (скокови итд.). Независно од тога који тест се користи за процену функције мишића, он мора бити такав да даје поуздане мере које ће бити повезане са функционалним способностима повређене/оперисане ноге и на основу којих се може стећи увид у величину дефицита. Треба имати на уму да на варијабле (посебно *ОПО*) које се добијају из тестова утичу бројни фактори; изабрани метод процене јачине, угаона брзина угао у зглобу. Из тог разлога, препорука би била да се приликом доношења одлуке о спремности спортисте за повратак такмичењу у обзир узму и директно мерене и изведене варијабле, јер се *ОПО* и *РДЈ* морају тумачити са одређеним опрезом. Поред тога, поједини аутори препоручују да се у процену опоравка укључе и додатне мере, као оне које су засноване на брзини развоја силе, међутим то захтева додатна истраживања.

Значај овог истраживања огледа се у решавању битних методолошких проблема везаних за процену неуромишићне функције након реконструкције предњег укрштеног лигамента. Проблеми који постоје у стандардној процени неуромишићне функције, довели су до потребе развоја нових тестова и њихове евалуације за примену у праћењу опоравка након спортских повреда.

Налази који су добијени спроведеним истраживањима требало би да воде даљој примени теста заснованог на *наизменичним максималним контракцијама* (НМК) као једног од стандардних тестова за процену опоравка неуромишићне функције спортиста након повреде ЛЦА, али и других категорија испитаника. Клинички значај теста огледа се у могућем доприносу овог теста у процесу доношења одлуке да ли и када спортисти могу безбедно да се врате напорној фи-

зичкој активности после повреде или реконструкције ЛЦА. Посебно је значајно што евалуирани тест може бити важан корак у превазилажењу недостатака и ограничења стандардних изометријских и изокинетичких тестова за процену неуромишићне функције. Тест НМК је у поређењу са стандардним изокинетичким и изометријским тестом јачине, подједнако осетљив за регистровање и квантификацију дефицита и неуравнотежености у мишићној функцији опружача и прегибача у зглобу колена. При томе, нови тест омогућава тестирање неуромишићне функције у условима у којима се мишићи и компромитовано везивно ткиво излажу краткотрајним силама, кроз мањи број понављања, и уз потенцијално бољу оцену квалитета испољавања силе повезане са бројним активностима као што су кратке дискретне и цикличне мишићне акције, постуралне корекције и покрети за превенцију повреда. Поред тога, овај тест је заснован на једноставној процедури тестирања и коришћењу релативно једноставне и јефтине опреме, иако се може изводити на стандардним изокинетичким уређајима.

У будућим истраживањима би, између осталог, требало би испитати осетљивост варијабли теста НМК за разликовање различитих категорија испитаника (нпр. здрави на супрот неуролошких пацијената, различитих узрасних група, или различитог нивоа тренираности). Од посебног значаја била би могућност процене осетљивости теста на утицај различитих интервенција (нпр. рехабилитационих процедура) на неуромишићну функцију. С обзиром на значајну улогу активације мишића задње ложе бута у растеређивању и заштити предњег укрштеног лигамента, додатним електромиографским испитивањима могла би да се процени и утврди улога антагонистичке коактивације при извођењу *наизменичних максималних контракција*. На крају, неопходно је да се одреде јаснији критеријуми за ОПО и РДЈ који би били много поузданији него они који се тренутно користе у пракси, који би заједно са мерама функционалних тестова били поуздани критеријуми за повратак спортиста уобичајеним спортским активностима.

Напомена: Истраживања и израда докторске дисертације су реализовани у оквиру пројекта финансираних од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије (175037).

Захваљујем се ментору проф. др Драгану Миркову на указаном поверењу, великом стрпљењу и помоћи током свих фаза израде дисертације.

Евалуација теста за процену неуромишићне функције прегибача и опружача у зглобу колена након повреде предњег укрштеног лигамента. Докторска дисертација, Београд, Република Србија, Универзитет у Београду, Факултет спорта и физичког васпитања. 2013.

ЛИТЕРАТУРА

1. Abernethy, B., Hanrahan, S., Kippers, V., Mackinnon, L., & Pandy, M. (2005). The biophysical foundations of human movement. *Human Kinetics*(2nd edition).
2. Abernethy, P., Wilson, G., & Logan, P. (1995). Strength and power assessment. Issues, controversies and challenges. *Sports Med*, 19(6), 401-417.
3. Angelozzi, M., Madama, M., Corsica, C., Calvisi, V., Properzi, G., McCaw, S. T., 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.
4. Beynon, B. D., Johnson, R. J., Abate, J. A., Fleming, B. C., & Nichols, C. E. (2005). Treatment of anterior cruciate ligament injuries, part I. *Am J Sports Med*, 33(10), 1579-1602.
5. Bozic, P., Pazin, N., Berjan, B., & Jaric, S. (2012). Evaluation of alternating consecutive maximum contractions as an alternative test of neuromuscular function. *Eur J Appl Physiol*, 112(4), 1445-1456.
6. Bozic, P., Suzovic, D., Nedeljkovic, A., & Jaric, S. (2011). Alternating consecutive maximum contractions as a test of muscle function. *J Strength Cond Res*, 25(6), 1605-1615.
7. Dubljanin-Raspopovic, E., Kadija, M., Mirkov, D., & Bumbasirevic, M. (2011). [Importance of open and closed kinetic chain exercises after anterior cruciate ligament reconstruction]. *Vojnosanit Pregl*, 68(2), 170-174.
8. Dvir, Z. (2004). *Isokinetics: muscle testing, interpretation, and clinical applications* Edinburgh: Churchill Livingstone.
9. Enoka, R. M., & Fuglevand, A. J. (2001). Motor unit physiology: some unresolved issues. *Muscle Nerve*, 24(1), 4-17.
10. Harding, B., Black, T., Bruulsema, A., Maxwell, B., & Stratford, P. W. (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.
11. Hartigan, E. H., Zeni, J., Jr., Di Stasi, S., Axe, M. J., & Snyder-Mackler, L. (2012). Preoperative predictors for noncopers to pass return to sports criteria after ACL reconstruction. *J Appl Biomech*, 28(4), 366-373.
12. Hiemstra, L. A., Webber, S., MacDonald, P. B., & Kriellaars, D. J. (2004). Hamstring and quadriceps strength balance in normal and hamstring anterior cruciate ligament-reconstructed subjects. *Clin J Sport Med*, 14(5), 274-280.
13. Hopkins, W. G. (2000). Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Med*, 30(1), 1-15.
14. Impellizzeri, F. M., Bizzini, M., Rampinini, E., Cereda, F., & Maffiuletti, N. A. (2008). Reliability of isokinetic strength imbalance ratios measured using the Cybex NORM dynamometer. *Clin Physiol Funct Imaging*, 28(2), 113-119.
15. Kadija, M., Knezevic, O., Milovanovic, D., Bumbasirevic, M., & Mirkov, D. (2010). Effect of isokinetic dynamometer velocity on muscle strength deficit in elite athletes after ACL reconstruction. *Med Sport*, 63(1-2), 495-507.

16. Kannus, P. (1988a). Peak torque and total work relationship in the thigh muscles after anterior cruciate ligament injury. *J Orthop Sports Phys Ther*, 10(3), 97-101.
17. Kannus, P. (1988b). 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.
18. Keays, S. L., Bullock-Saxton, J., Keays, A. C., & Newcombe, P. (2001). Muscle strength and function before and after anterior cruciate ligament reconstruction using semitendinosus and gracilis. *Knee*, 8(3), 229-234.
19. Knezevic, O., & Mirkov, D. (2011). Strength and power of knee extensor muscle. *Physical Culture*, 65(2), 5-15.
20. Knezevic, O., Mirkov, D. M., Kadija, M., Milovanovic, D., & Jaric, S. (2012). Alternating consecutive maximum contraction as a test of muscle function in athletes following ACL reconstruction. *J Hum Kinet*, 35, 5-13.
21. Knežević, O. M., & Mirkov, D. M. (2013). Strength assessment in athletes following an anterior cruciate ligament injury. *Kineziologija*, 45(1), 3-15.
22. Knezevic, O. M., Mirkov, D. M., Milovanovic, D., Kadija, M., & Jaric, S. (2013). Evaluation of isokinetic and isometric strength measures for monitoring muscle function recovery following ACL reconstruction. *J Strength Cond Res*.
23. Kvist, J., Karlberg, C., Gerdle, B., & Gillquist, J. (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.
24. Lautamies, R., Harilainen, A., Kettunen, J., Sandelin, J., & Kujala, U. M. (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.
25. Maffiuletti, N. A., Bizzini, M., Widler, K., & Munzinger, U. (2010). Asymmetry in quadriceps rate of force development as a functional outcome measure in TKA. *Clin Orthop Relat Res*, 468(1), 191-198.
26. Meng, X. L., Rosenthal, R., & Rubin, D. B. (1992). Comparing correlated correlation coefficients. *Psychological Bulletin*, 111(1), 172-175.
27. Moisala, A. S., Jarvela, T., Kannus, P., & Jarvinen, M. (2007). Muscle strength evaluations after ACL reconstruction. *Int J Sports Med*, 28(10), 868-872.
28. Montgomery, L. C., Douglass, L. W., & Deuster, P. A. (1989). Reliability of an isokinetic test of muscle strength and endurance. *J Orthop Sports Phys Ther*, 10(8), 315-322.
29. Myer, G. D., Paterno, M. V., Ford, K. R., & Hewett, T. E. (2008). Neuromuscular training techniques to target deficits before return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Strength Cond Res*, 22(3), 987-1014.
30. Neeter, C., Gustavsson, A., Thomee, P., Augustsson, J., Thomee, R., & Karlsson, J. (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.

31. Ostenberg, A., Roos, E., Ekdahl, C., & Roos, H. (1998). Isokinetic knee extensor strength and functional performance in healthy female soccer players. *Scand J Med Sci Sports*, 8(5 Pt 1), 257-264.
32. Pua, Y. H., Bryant, A. L., Steele, J. R., Newton, R. U., & Wrigley, T. V. (2008). Isokinetic dynamometry in anterior cruciate ligament injury and reconstruction. *Ann Acad Med Singapore*, 37(4), 330-340.
33. Reid, A., Birmingham, T. B., Stratford, P. W., Alcock, G. K., & Giffin, J. R. (2007). Hop testing provides a reliable and valid outcome measure during rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. *Phys Ther*, 87(3), 337-349.
34. Shelbourne, K. D., & Gray, T. (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.
35. Sole, G., Hamren, J., Milosavljevic, S., Nicholson, H., & Sullivan, S. J. (2007). Test-retest reliability of isokinetic knee extension and flexion. *Arch Phys Med Rehabil*, 88(5), 626-631.
36. Suzovic, D., Nedeljkovic, A., Pazin, N., Planic, N., & Jaric, S. (2008). Evaluation of Consecutive Maximum Contractions as a Test of Neuromuscular Function. *J Hum Kinet*, 20, 51-67.
37. Wilson, G. J., Lyttle, A. D., & Murphy, A. J. (1995). Assessing Dynamic Performance: A Comparison of Rate of Force Development Tests. *J Strength Cond Res*, 9(3), 176-181.
38. Wilson, G. J., & Murphy, A. J. (1996). The use of isometric tests of muscular function in athletic assessment. *Sports Med*, 22(1), 19-37.
39. Zebis, M. K., Andersen, L. L., Ellingsgaard, H., & Aagaard, P. (2011). Rapid hamstring/quadriceps force capacity in male vs. female elite soccer players. *J Strength Cond Res*, 25(7), 1989-1993.