

BILATERALNA USPOREDBA IZOKINETIČKIH PARAMETARA 14-16 TJEDANA NAKON REKONSTRUKCIJE PREDNJE UKRIŽENE SVEZE

Levatić, Martin

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Kinesiology / Sveučilište u Zagrebu, Kineziološki fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:117:456105>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#) / [Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-01**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Kinesiology, University of Zagreb - KIFoREP](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
KINEZIOLOŠKI FAKULTET

(studij za stjecanje akademskog naziva:
magistar kineziologije)

Martin Levatić

BILATERALNA USPOREDBA IZOKINETIČKIH
PARAMETARA 14-16 TJEDANA NAKON
REKONSTRUKCIJE PREDNJE UKRIŽENE
SVEZE

Diplomski rad

Mentor:

doc. dr. sc Tatjana Trošt Bobić

Zagreb, svibanj, 2022.

Ovim potpisima se potvrđuje da je ovo završena verzija diplomskog rada koja je obranjena pred Povjerenstvom, s unesenim korekcijama koje je Povjerenstvo zahtijevalo na obrani te da je ova tiskana verzija istovjetna elektroničkoj verziji predanoj u Knjižnici

Mentor:

doc. dr. sc. Tatjana Trošt Bobić

Student:

Martin Levatić

Zahvala

Zahvaljujem se svim profesorima Kineziološkog fakulteta koji su me profesionalno i životno obogatili.

Zahvaljujem se mentorici doc. dr. sc. Tatjani Trošt Bobić na stručnoj pomoći kroz pisanje ovog rada, strpljenju i pristupačnosti koju ima prema studentima te na motivaciji za bavljenje kineziterapijom.

Zahvaljujem se profesoru kineziologije Ivanu Tudoru na prenošenju stručnih znanja, ustupanju tehnologije i ispitanika za provedbu istraživanja u poliklinici *Corpus Movens* te na motivaciji za bavljenje kineziterapijom kroz rad u praksi.

Na kraju bih se posebno zahvalio majci i braći na bezuvjetnoj brizi, strpljenju i podršci u najtežim trenucima te dragoj Doris na bezuvjetnoj ljubavi i toplini.

BILATERALNA USPOREDBA IZOKINETIČKIH PARAMETARA 14-16 TJEDANA NAKON REKONSTRUKCIJE PREDNJE UKRIŽENE SVEZE

Sažetak

Jedna od najčešćih ozljeda rekreativnih i profesionalnih sportaša koja zahtijeva operativni zahvat za povratak sportu je ozljeda prednje ukrižene sveze (eng. *Anterior cruciate ligament* – ACL), a najučestalija je kod kontaktnih sportova s brzim promjenama smjera kretanja kao što košarka, rukomet i nogomet. U ovom istraživanju cilj je bio utvrditi razliku u mišićnoj jakosti između zdrave (neoperirane) i ozlijeđene (operirane) noge, a mjerenje je provedeno između 14. i 16. tjedna nakon rekonstrukcije prednje ukrižene sveze pomoću izokinetičke dinamometrije jer ona predstavlja najpreciznije mjerenje mišićne jakosti u današnjoj praksi. Test se sastojao od 5 ponavljanja na 60 °/ i 15 ponavljanja na 180 °/ na obje noge, a ispitanici su sva ponavljanja izvodili maksimalnim intenzitetom. Utvrđeni su statistički značajni deficiti ozlijeđene noge u jakosti mišića prednje strane natkoljenice u varijablama Obrtni moment, Ukupna količina rada, Prosječna snaga na 180 °/ i 60 °/ u ekstenziji potkoljenice, a statistički značajna razlika u varijabli Ukupna količina rada na obje kutne brzine u fleksiji potkoljenice ukazuje na to da deficiti postoje i u jakosti stražnje strane natkoljenice. Utvrđen je veći pad u jakosti mišića prednje strane natkoljenice nego u jakosti mišića stražnje strane natkoljenice i to je dovelo do statistički značajnog povećanja omjera jakosti prednje naprema stražnjoj strani natkoljenice. Ovi rezultati u skladu su s dosadašnjim istraživanjima fokusiranim na jakost mišića natkoljenice u različitim fazama rehabilitacije nakon rekonstrukcije prednje ukrižene sveze. Zaključeno je kako su utvrđeni deficiti u jakosti klinički značajni i da ispitanici u ovoj fazi rehabilitacije još nisu spremni za specifične obrasce kretanja poput skokova i promjena smjera kretanja. Prilikom povratka sportskim aktivnostima preporuča se provođenje baterije testova koja uključuje testiranje mišićne jakosti, ali i testove koji uključuju skokove i doskoke, promjene smjera kretanja i druge obrasce kretanja specifične sportu kojem se pojedinac vraća nakon rekonstrukcije prednje ukrižene sveze.

Ključne riječi: ACL, ozljeda, izokinetička dinamometrija, jakost, rehabilitacija

BILATERAL COMPARISON OF ISOKINETIC PARAMETERES 14-16 WEEKS AFTER ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT RECONSTRUCTION

Abstract

One of the most common injuries of amateur and professional athletes requiring surgery to return to the sport is an ACL injury, and it is most common in contact sports with rapid changes of direction such as basketball, handball and football. In this study, the aim was to determine the difference in muscle strength 14 to 16 weeks after ACL reconstruction using isokinetic dynamometry as it represents the most accurate measurement of muscle strength in today's practice. The test consisted of 5 repetitions at 60 ° / ' and 15 repetitions at 180 ° / ' on both legs, and the subjects performed all repetitions at maximum intensity. Statistically significant deficits of the injured leg in *m. quadriceps femoris* strength were found in the variables Peak torque, Total work, Average power at 180 ° / ' and 60 ° / ' in extension, and a statistically significant difference in the variable Total work at both angular velocities in flexion indicates that deficits also exist in the strength of the *m. hamstrings*. A larger decrease in *m. quadriceps femoris* strength than in *m. hamstring* strength was found and this led to a statistically significant increase in the ratio of *m. hamstring* strength to *m. quadriceps femoris*. These results are consistent with previous research focused on thigh muscle strength at different stages of rehabilitation after ACL reconstruction. It was concluded that the identified deficits in strength are clinically significant and that the respondents in this phase of rehabilitation are not yet ready for specific movement patterns such as jumps and changes in the direction of movement. When returning to sports activities, it is recommended to conduct a battery of tests that include muscle strength testing, but also tests that include jumps and landings, changes in direction and other patterns of movement specific to the sport to which the individual returns after ACL reconstruction.

Key words: ACL, injury, isokinetic dinamometry, strenght, rehabilitation

SADRŽAJ:

1. UVOD	1
2. CILJEVI I HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA	5
3. METODE ISTRAŽIVANJA.....	6
3.1. Uzorak ispitanika	6
3.2. Organizacija istraživanja	6
3.3. Protokol testiranja.....	7
3.4. Uzorak varijabli.....	10
3.5. Metode obrade podataka	10
4. REZULTATI.....	11
4.1. Rezultati ekstenzije potkoljenice na 60 °/'	11
4.2. Rezultati fleksije potkoljenice na 60 °/'	14
4.3. Rezultati ekstenzije potkoljenice na 180 °/'	17
4.4. Rezultati fleksije potkoljenice na 180 °/'	19
4.5. Grafički prikaz rezultata.....	22
5. RASPRAVA.....	23
6. ZAKLJUČAK.....	27
7. LITERATURA.....	28

1. UVOD

Ozljeda prednje ukrižene sveze (engl. *anterior cruciate ligament*, ACL) jedna je od najčešćih ozljeda koljenog zgloba. Prednja ukrižena sveza je struktura prosječne dužine 27 - 38 milimetara (Cone, Howe, Fisher, 2019), a prosječnog maksimalnog promjera svega 0.6 - 0.81 centimetara (Mahajan, Chandra, Negi, Jayaram, Hussein, 2015). To je struktura čije dimenzije nisu zapanjujuće, no čija ozljeda može trajno promijeniti karijeru ili život rekreativnih sportaša. Neki potpuno vraćaju funkciju koljena, neki nikada ne dostignu funkciju prije ozljede, a neki se ponovno ozljeđuju. Također, broj novih slučajeva (incidencija) ove ozljede posljednjih je godina u značajnom porastu. Ove činjenice ozljedu ACL-a čini jednom od najproučavanijih ozljeda koljena i lokomotornog sustava uopće.

Incidencija ozljede ACL-a u Sjedinjenim Američkim Državama (SAD) 2002. godine bila je 61.4 na 100000 stanovnika. Incidencija ove ozljede 2014. godine u SAD-u bila je 74.6 na 100000 stanovnika što predstavlja porast broja novih slučajeva za 22 posto kod opće populacije (Tang, Zhang, George, Su, Huang, 2021). Incidencija se u sportu najčešće prikazuje kao broj zabilježenih ozljeda ACL-a na 1000 izlaganja sportskoj aktivnosti. Jedno izlaganje sportu je ekvivalent 1.5 sati takmičenja ili 2.25 sati treninga. U nogometu su 3 velike studije Mihate, Agela i Arendta pokazale veliku sličnost u dobivenim rezultatima. Incidencija ozljede na 1000 izlaganja sportskoj aktivnosti iznosila je 0.32, 0.33 i 0.31 za žene te 0.12, 0.12 i 0.13 za muškarce što predstavlja 2.5 puta veći broj ozljeda kod žena nego kod muškaraca. U košarci su isti znanstvenici proveli slične studije i ponovno dobili sinkronizirane rezultate. U košarci je incidencija kod žena bila 3.5 puta veća nego kod muškaraca. Sličan omjer incidencije kao kod košarke dobiven je u rukometu. Provedene studije u rukometu uzimale u obzir puno manje podataka pa rezultate treba interpretirati s oprezom, no jasno je da se radi o dva vrlo slična sporta s obzirom na motoričke zahtjeve koji se u njima pojavljuju. U ragbiju je omjer incidencija između muškaraca i žena 2 naprema 1. Iznimka jest skijanje u kojem nije bilo razlike u incidenciji između muškaraca i žena. Oates i Viola u svojoj studiji dolaze do incidencije od 0.2 - 0.4 na 1000 izlaganja sportskoj aktivnosti skijanja što ga čini najmanje rizičnim sportom za ozljedu ACL-a od prethodno navedenih sportova. (Prodromos i sur., 2007, str. 32-33).

Navedeni rezultati upućuju na to da je spol jedan od glavnih faktora rizika nastanka ove ozljede. U meta-analizi koja uključuje 12 studija [Lew](#) (2021) upućuje na to kako žene imaju 2.5 do čak 9.5 puta veći rizik od ozljede ACL-a. Mnogo je faktora koji objašnjavaju ovu razliku među spolovima, no vrlo je teško izdvojiti te faktore po važnosti. Anatomske faktori koji mogu utjecati na povećan broj ozljeda kod žena su 4 - 12% kraći ACL i 10 - 35% manji volumen ACL nego kod muškaraca (Cone i sur., 2019), veličina tibijalnog platoa, nagib tibijalnog platoa, oblik stenoze interkondilarnog usjeka, nagib zdjelice, širina zdjelice. Mogući značajan biomehanički faktor jest povećan valgus koljena kod skokova, a naročito kod doskoka koji se može zabilježiti kod žena. Važan hormonalni faktor jest povećan laksitet ligamenata kod žena zbog veće razine relaksina i estrogena koji dovode do redukcije prokolagena u ligamentima što je naročito izraženo u prvoj polovici menstrualnog ciklusa. Fiziološki faktor koji ide u prilog povećanom broju ozljeda ACL-a kod žena jest povećan omjer jakosti prednje strane u odnosu na stražnju stranu natkoljenice naspram istog parametra kod muškaraca. Postoji i nekoliko vanjskih faktora rizičnosti koji nisu vezani za samog sportaša. To su tenisice ili podloga koje povećavaju trenje. Dokazano je kako je u nogometu na umjetnoj travi povećan broj ozljeda ACL-a u odnosu na terene s prirodnom travom te kako se događa manje ozljeda ACL-a po mokrim vremenskim uvjetima, a sve zbog povećanog odnosno smanjenog trenja prilikom provođenja sportske aktivnosti (Anderson, Browning, Urband, Kluczynski, Bisson, 2016).

Ozljeda ACL-a najčešće se događa prilikom brze i neplanirane promjene smjera kretanja te prilikom doskoka. Kod ozljede ACL-a prilikom brze i neplanirane promjene smjera kretanja dolazi do unutarnje rotacije natkoljenične kosti, a ne dolazi do adekvatne unutarnje rotacije i pivotiranja potkoljenice te na taj način dolazi do prednje translacije goljenične kosti. Preventivni programi vježbanja mogu smanjiti rizik od ozljede ACL-a. U meta-analizi od 6 studija utvrđuje kako se broj ozljeda kod sportaša koji provode ciljani preventivni program vježbanja manji za 40-75%. Uspješniji su bili programi koji su se provodili tijekom predsezona i sezone nego samo tijekom predsezona ili samo tijekom sezone. Programi su uključivali treninge snage i pliometrije (Anderson, 2016).

Dijagnoza ozljede ACL-a donosi se na temelju anamneze, kliničkih testova i radiološke obrade podataka. Najsenzitivniji testovi koji se koriste su test prednje ladice (eng. *Anterior drawer test*) i *Lachmanov test*, a također se koristi *pivot shift test* (Makhmalbaf, Moradi, Ganji, Omid-Kashani, 2013). Treba napomenuti kako u akutnoj fazi testovi mogu biti negativni iako je došlo do rupture ACL-a, razlog tome je oteknuće i kontraktura koljenog zgloba. U suvremenoj medicini se gotovo uvijek za potpunu sigurnost u dijagnozu koristi magnetska rezonancija koja predstavlja zlatni standard za dijagnosticiranje ozljede ACL-a. Najčešće ozljede koje se događaju uz ozljedu ACL su ozljeda medijalnog kolateralnog ligamenta (eng. *medial colateral ligament, MCL*) i ozljeda medijalnog meniska. Kada dođe do ozljede ACL-a, MCL-a i medijalnog meniska to se naziva morbogedni trijas. Također, često dolazi do oštećenja hrskavice (hondromolacije) i kontuzije na lateralnom femoralnom i tibijalnom kondilu. Liječenje rupture ACL-a može biti operativno i neoperativno (konzervativno). Konzervativno liječenje je sve češća tema diskusije u svijetu ortopedije i kineziterapije. Moguće je da konzervativnim liječenjem brže dolazi do hondromolacije hrskavice i da je povećana mogućnost rupture meniska zbog povećanog stupnja slobode koljenog zgloba. To je teza koja se još mora istraživati kako bi se donjeli konkretni zaključci. Najčešće se kod mlađih, tjelesno aktivnih ljudi preporuča operativno liječenje, a kod starijih i onih koji se ne planiraju baviti sportskim aktivnostima s promjenama smjera kretanja preporuča se konzervativno liječenje.

Nakon adekvatno postavljene dijagnoze i operativnog zahvata slijedi rehabilitacija. Jedno od glavnih pitanja jest kada će biti moguć povratak uobičajenim sportskim aktivnostima kao što je to bilo prije ozljede. Mnogo je faktora koji utječu na vrijeme povratka sportskim aktivnostima i pristup treba biti individualan. Jedan faktor jest težina ozljede, odnosno je li se dogodila neka od prethodno navedenih ozljeda uz ozljedu ACL-a. Drugi je faktor funkcionalno stanje noge prije ozljede. Pojedinci koji su imali visoku funkcionalnost (jakost, stabilnost) noge vjerojanto će imati nešto kraći oporavak od pojedinaca koji su imali manju funkcionalnost koljena. Dugo je godina bilo ustaljeno mišljenje da je 6 mjeseci dovoljno za oporavak od rekonstrukcije ACL-a. Danas klinička praksa i sve više istraživanja dokazuju drukčije. Cavanaugh i Powers (2017) tvrde kako je potrebno više od 6 mjeseci za oporavak od rekonstrukcije ACL-a te da je u prvih 2 godine nakon povratka sportskim aktivnostima šansa za ponovnu ozljedu ACL-a 6 puta veća nego kod sportaša bez prethodne ozljede ACL-a. Isti autori navode kako 25% sportaša ponovno ozljeđuje ACL u

periodu od 10 godina nakon rekonstrukcije. Ovi podaci idu u prilog tome kako se isplati napraviti sve što je moguće kako bi se spriječila ponovna ozljeda ACL-a, a u 6 mjeseci je to teško napraviti zbog složene funkcije ACL-a u koljenu. Kaplan i Witvrouw (2019) predlažu kako bi povratak sportskim aktivnostima trebao biti tek nakon 9 mjeseci rehabilitacije uz zadovoljavajuće rezultate na testovima za procjenu funkcionalnosti ozljeđene noge.

Izokinetička dinamometrija predstavlja najprecizniju metodu za mjerenje jakosti, ali i izvrsnu metodu za razvoj jakosti tijekom rehabilitacije nakon rekonstrukcije ACL-a. Ona omogućuje izvođenje ponavljanja submaksimalnog i maksimalnog intenziteta u otvorenom kinetičkom lancu u sigurnim uvjetima za koljeno. To je moguće u fazama rehabilitacije kada je drugim metodama i trenažnim operatorima teško izvoditi ponavljanja maksimalnim intenzitetom, a da su uvjeti sigurni i da nema provociranja boli. Dragičević-Cvjetković (2020) je u svome radu uspoređivala ispitanike koji su provodili uobičajen rehabilitacijski program i ispitanike koji su provodili taj isti rehabilitacijski program u kombinaciji s treningom na izokinetičkom dinamometru. Nakon 9 mjeseci rehabilitacije ispitanici koji su provodili rehabilitacijski program u kombinaciji s treningom na izokinetičkom dinamometru su imali značajno bolju funkciju koljena te nisu odstupali od rezultata kontrolne skupine ispitanika koja nije imala nikakvu ozljedu. Ispitanici koji su provodili rehabilitacijski program bez izokinetičkog treninga značajno su odstupali od kontrolne skupine i nisu bili u potpunosti spremni za povratak sportskim aktivnostima. Može se reći da je izokinetička dinamometrija neizostavna metoda za razvoj i za testiranje mišićne jakosti u suvremenoj rehabilitaciji od rekonstrukcije ACL-a. U ovom je radu fokus bio testirati mišićnu jakost natkoljenice na izokinetičkom dinamometru 14 do 16 tjedana nakon rekonstrukcije ACL-a i utvrditi razlike između zdrave i ozljeđene noge.

2. CILJEVI I HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA

Cilj ovog rada jest utvrditi razliku u jakosti mišića prednje i stražnje strane natkoljenice zdrave i ozlijeđene noge 14 do 16 tjedana nakon rekonstrukcije prednje ukrižene sveze, na uzorku ozlijeđenih sportaša rekreativaca.

Glavna hipoteza ovog rada jest da je zdrava noga statistički značajno jača u odnosu na operiranu nogu između 14. i 16. tjedna rehabilitacije od rekonstrukcije prednje ukrižene sveze.

3. METODE ISTRAŽIVANJA

3.1. Uzorak ispitanika

Uzorak ispitanika sastoji se od 10 osoba, 6 muškaraca i 4 žene. Ispitanici su u rasponu dobi od 20 do 35 godina (tablica 1.). Kriterij za uključivanje ispitanika u istraživanje jest da su bili tjelesno aktivni 3 - 5 puta tjedno prije nastanka ozljede ACL-a, da nisu imali dodatnih značajnijih ozljeda lokomotornog sustava, da je operacijski zahvat rekonstrukcije prošao uredno i da je rehabilitacijski proces do testiranja prošao uredno. Ispitanici su imali iste smjernice i ciljeve za svaki tjedan rehabilitacije, no poštivala se individualnost brzine oporavka ispitanika i tretmani su se prema tome prilagođavali pa se ne može reći da su ispitanici prolazili identičan rehabilitacijski tretman već sličan rehabilitacijski tretman.

Tablica 1. Deskriptivni pokazatelji uzorka ispitanika (10)

Varijabla	Aritmetička sredina \pm standardna devijacija
Masa (kg)	77,5 \pm 16
Visina (cm)	176.2 \pm 10,9
Dob (godine)	25,1 \pm 4,2

3.2. Organizacija istraživanja

Rehabilitacijski proces i testiranje su provedeni u poliklinici *Corpus Movens* u Zagrebu. Rehabilitacijski program ispitanika se sastojao od progresivnog jačanja mišićne mase nogu, a posebice mišićne mase natkoljenice i postepenog povećavanja opsega pokreta u koljenom zglobo. Ispitanici su trenirali 2 - 3 puta tjedno do provođenja testiranja.

U prva 2 tjedna provodili su se tretmani s ciljem smanjenja edema koljena, mobilizacije patele, povećanja opsega pokreta, jačanja i ekscitacije muskulature pomoću izometričnih vježbi jačanja i elektrostimulacije. Od 2 do 4 tjedna rehabilitacije provodili su se tretmani s ciljem daljnjeg smanjenja edema, povećanja opsega pokreta, rada na razvoju kvalitetnije biomehanike hoda i postepenog odbacivanja štaka. Na kraju ove faze postepeno se dodavao bicikl ergometar bez opterećenja. U ovoj fazi i dalje su se provodile izometrične vježbe jačanja, ali su se postepeno uvodile i izotonične vježbe otvorenog i zatvorenog kinetičkog lanca. Od 4 do 8 tjedna postepeno je došlo do punog pasivnog opsega pokreta i do gotovo potpunog splasnuća edema. Intenzitet i volumen vježbi jačanja, treninga na bicikl ergometru i hodanja se postepeno povećavao. Uvode se bilateralne i unilateralne vježbe propriocepcije na ravnim i nestabilnim površinama. Od 8 do 14 tjedna rehabilitacije inzistiralo se na punom aktivnom opsegu pokreta ispitanika kao kod neozljeđene noge. Pojačavao se intenzitet kod vježbi jačanja na način da se sve više trenira s vanjskim opterećenjem u zatvorenom i otvorenom kinetičkom lancu. Postepeno se uvode unilateralne vježbe zatvorenog kinetičkog lanca te se dalje provode vježbe stabilnosti na nestabilnim površinama. Ispitanici su na kraju ove faze odradili 2 - 3 uvodna treninga na izokinetičkom dinamometru prije samog testiranja kako bi se upoznali i prilagodili takvoj vrsti mišićnog rada. Nakon toga je slijedilo testiranje u periodu između 14. i 16. tjedna rehabilitacije ovisno o tome kada je procijenjeno da su ispitanici spremni za opterećenja maksimalnog intenziteta na izokinetičkom dinamometru.

Ispitanici su tijekom rehabilitacijskog procesa bili na 2 pregleda kod ortopeda, nakon 3 i 12 tjedana od rekonstrukcije ACL-a. To je bila dodatna potvrda da rehabilitacija teče uredno. Testirani su 14 do 16 mjeseci nakon rekonstrukcije ACL-a.

3.3. Protokol testiranja

Test se provodio na izokinetičkom dinamometru marke Biodex, model system 4 pro. Zagrijavanje se sastojalo od 10 minuta na bicikl ergometru i 10 serija na izokinetičkom dinamometru. Pokret koji se izvodio u testu je ekstenzija koljena u sjedenju, koja dominantno aktivira mišiće prednje strane natkoljenice te ija koljena koja dominantno aktivira mišiće stražnje strane natkoljenice. Opseg pokreta je bio približno 90° za sve ispitanike. Pozicija izokinetičkog

uređaja bila je precizno namješšana za svakog ispitanika prema njegovim antropološkim karakteristikama. Pozicija i opseg pokreta kod jednog ispitanika bili su identični za testiranje zdrave i ozlijeđene noge. Ispitanici su bili vezani remenima koji su sprječavali flekskompenzaciju fleksijom kuka, pretklonom trupa i podvijanjem zdjelice. Na taj je način izolirana aktivacija mišića prednje i stražnje strane natkoljenice (*slika 1a i 1b*). Ispitanici su radili po 2 serije na pet različitih kutnih brzina (2x15 ponavljanja na 180 °/s, 2x12 ponavljanja na 150 °/s, 2x10 ponavljanja na 120 °/s, 2x8 na ponavljanja 90 °/s, 2x5 na ponavljanja 60 °/s).

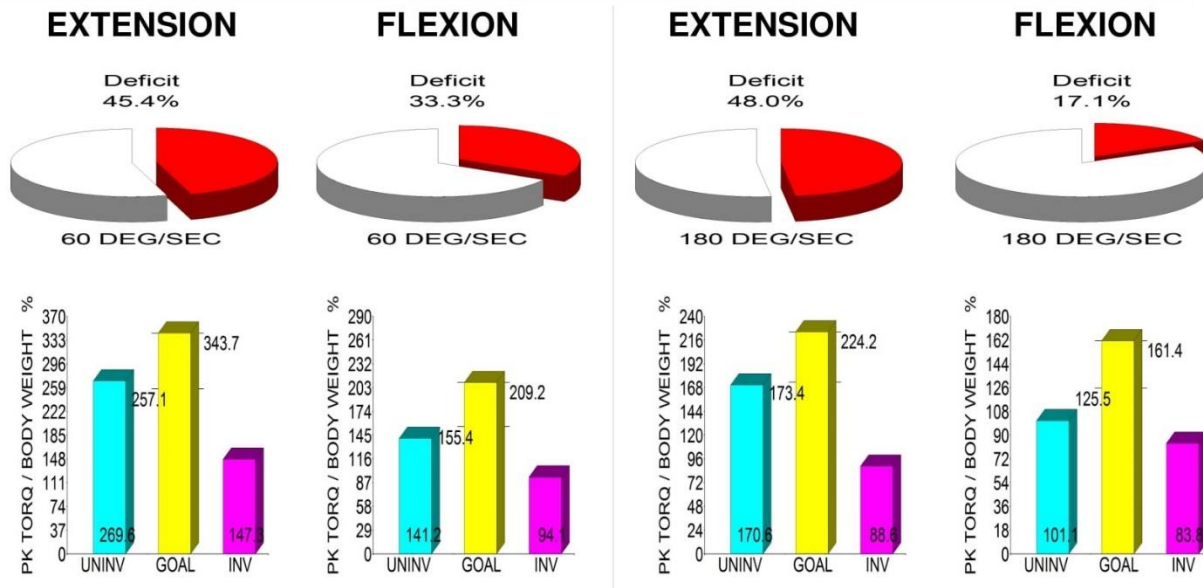
Odmori između serija na istoj kutnoj brzini bili su 30 sekundi, a odmori između dvije kutne brzine 60 sekundi. Isti protokol provodio se na obje noge. Test se sastojao od 1 serije po 5 ponavljanja na kutnoj brzini od 60 °/s, odmora od 30 sekundi i jedne serije od 15 ponavljanja na kutnoj brzini od 180 °/s. Ispitanika se upućuje da test izvodi maksimalnim intenzitetom. Isti protokol testiranja se provodio na obje noge.



Slike 1 a) i 1 b): Početna i završna pozicija jednog ponavljanja tijekom testiranja jakosti mišića natkoljenice na izokinetičkom dinamometru marke Biodex System 4 Pro.

Po završetku testiranja sofisticirani sustav izokinetičkog dinamometra Biodex System 4 Pro izbacuje niz podataka na temelju kojih se odmah mogu donositi zaključci za daljnju rehabilitaciju pojedinca (Slika 2.).

		EXTENSION 60 DEG/SEC			FLEXION 60 DEG/SEC			EXTENSION 180 DEG/SEC			FLEXION 180 DEG/SEC		
# OF REPS (60/60): 5		UNINVOL	INVOLVED	DEFICIT	UNINVOL	INVOLVED	DEFICIT	UNINVOL	INVOLVED	DEFICIT	UNINVOL	INVOLVED	DEFICIT
# OF REPS (180/180): 15		RIGHT	LEFT		RIGHT	LEFT		RIGHT	LEFT		RIGHT	LEFT	
PEAK TORQUE	N-M	296.2	161.8	45.4	155.2	103.4	33.3	187.4	97.4	48.0	111.0	92.1	17.1
PEAK TQ/BW	%	269.6	147.3		141.2	94.1		170.6	88.6		101.1	83.8	
MAX REP TOT WORK	J	255.0	138.8	45.6	156.8	104.9	33.1	169.6	84.8	50.0	104.2	76.2	26.9
COEFF. OF VAR.	%	5.3	2.5		3.2	4.1		11.0	13.4		9.5	9.9	
AVG. POWER	WATTS	203.6	113.2	44.4	113.2	76.1	32.8	327.3	155.6	52.4	200.9	131.3	34.7
TOTAL WORK	J	1211.5	673.6	44.4	749.4	505.2	32.6	2189.5	1106.5	49.5	1398.4	971.4	30.5
ACCELERATION TIME	MSEC	20.0	30.0		50.0	30.0		30.0	30.0		40.0	30.0	
DECELERATION TIME	MSEC	180.0	100.0		260.0	250.0		90.0	120.0		100.0	140.0	
ROM	DEG	65.3	65.4		65.3	65.4		64.3	64.7		64.3	64.7	
AVG PEAK TQ	N-M	283.5	157.3		148.1	99.8		163.4	86.1		99.9	78.9	
AGON/ANTAG RATIO	%	52.4	63.9	G: 61.0				59.2	94.6	G: 72.0			



Slika 2. Primjer prikaza rezultata izokinetičkog testiranja jednog od ispitanika istraživanja.

OF REPS = broj ponavljanja; *PEAK TORQUE* = obrtni moment; *PEAK TQ/BW* = obrtni moment u odnosu na masu; *MAX REP TOT WORK* = ukupni rad maksimalnog ponavljanja; *COEFF. OF. VAR.* = koeficijent varijabilnosti; *AVG. POWER* = prosječna snaga; *TOTAL WORK* = ukupni rad; *ACCELERATION TIME* = vrijeme akceleracije; *DECELERATION TIME* = vrijeme deceleracije; *ROM* = opseg pokreta; *AVG PEAK TQ* = prosječni obrtni moment; *AGON/ANTAG RATIO* = omjer jakosti agonista i antagonista; *EXTENSION* = ekstenzija; *FLEXION* = fleksija; *INVOLVED* = ozlijeđena noga; *UNINVOLVED* = zdrava noga;

3.4. Uzorak varijabli

Izokinetički parametri OM, UKR i PS su valjani za mjerenje maksimalne mišićne jakosti, a parametar VMS mjeri koliko se brzo postiže maksimalna mišićna sila (Pelegrielli i sur., 2018). Parametar OAA uspoređuje jakost prednje i stražnje strane natkoljenice.

1. OM - maksimalni obrtni moment (N/m)
2. OAA - omjer jakosti agonista i antagonista (%)
3. UKR - ukupna količina rada (J)
4. PS - prosječna snaga (W)
5. VMS – vrijeme potrebno za generiranje maksimalne sile (ms)

3.5. Metode obrade podataka

Za sve varijable određeni su osnovni deskriptivni pokazatelji: minimum, maksimum, raspon, aritmetička sredina i standardna devijacija. Normalnost distribucije testirana je Shapiro - Wilk W testom. Razlika između podataka zdrave i ozlijeđene noge u praćenim varijablama utvrđena je t-testom za nezavisne uzorke ili Wilcoxon matched pair testom, ovisno o tome kakav je normalitet distribucije podataka u određenoj varijabli. Razina statističke značajnosti postavila se na $p < 0.05$.

4. REZULTATI

Statistički značajna razlika između zdrave i ozlijeđene noge dobivena je u fleksiji potkoljenice i ekstenziji potkoljenice na obje kutne brzine (60 °/s, 180 °/s).

U Tablicama 2, 3, 4 i 5 prikazana je deskriptivna statistika, aritmetička sredina, standardna devijacija i statistička značajnost razlike između rezultata mjerenja zdrave i operirane noge za testirane izokinetičke parametre. Za varijablu OAA podaci su identični kod fleksije i ekstenzije potkoljenice na istim kutnim brzinama, stoga nisu navedeni u obje tablice već samo u Tablici 2 i Tablici 4.

4.1. Rezultati ekstenzije potkoljenice na 60 °/s

U ekstenziji potkoljenice na 60 °/s dobivena je statistički značajna razlika u varijablama OM, OAA, UKR i PS ($p=0,0011$, $p=0,0050$, $p=0,0021$, $p=0,0042$). U varijablama OM, UKR i PS vrijednosti su bile veće kod zdrave noge, dok je u varijabli OAA vrijednost bila veća kod ozlijeđene noge. Razlika nije pronađena u varijabli VMS.

Aritmetička sredina \pm standardna devijacija u varijabli OM iznosila je $204,45 \pm 60,92$ N/m kod zdrave i $115,04 \pm 41,10$ N/m kod ozlijeđene noge. U varijabli UKR aritmetička sredina \pm standardna devijacija iznosila je $844,58 \pm 253,78$ J kod zdrave i $504,06 \pm 161,81$ J kod ozlijeđene noge. U varijabli PS aritmetička sredina \pm standardna devijacija iznosila je $137,20 \pm 44,19$ W kod zdrave i $75,41 \pm 40,27$ W kod ozlijeđene noge. U varijabli OAA je kod ozlijeđene noge aritmetička sredina \pm standardna devijacija iznosila $70,82 \pm 24,91$ %, a kod zdrave noge $47,92 \pm 6,98$ % (tablica 2.)

Tablica 2. Deskriptivni pokazatelji, rezultati mjerenja, *p*-vrijednost kod ekstenzije potkoljenice na 60 °/

Ekstenzija potkoljenice na 60 °/	Minimum	Maksimum	Raspon	Rezultat mjerenja ($\bar{x} \pm SD$)	<i>p</i> -vrijednost
OM (N/m) zdrava	120,7	296,2	175,5	204,45 ± 60,92	0,0011
OM (N/m) ozlijeđena	70,70	188,70	118	115,04 ± 41,10	
OAA (%) zdrava	32,90	55,80	22,90	47,92 ± 6,98	0,0050*
OAA (%) ozlijeđena	37,30	127,90	90,60	70,82 ± 24,91	
UKR (J) zdrava	520,60	1248.60	728	844,58 ± 253,78	0,0021
UKR (J) ozlijeđena	324,30	819,80	495,50	504,06 ± 161,81	

PS (W) zdrava	84,80	203,60	118,80	137,20 ± 44,19	0,0042
PS (W) ozlijeđena	0,10	144,30	144	75,41 ± 40,27	
VMS (ms) zdrava	330	550	220	442 ± 79,41	0,2309
VMS (ms) ozlijeđena	200	790	590	532 ± 215,39	

OM = obrtni moment; OAA = omjer jakosti agonista i antagonista; UKR = ukupna količina rada; PS = prosječna snaga; VMS = vrijeme potrebno za generiranje maksimalne sile; \bar{x} = aritmetička sredina; SD = standardna devijacija; *p*-vrijednost = vjerojatnost pogreške

*Masno otisnuti brojevi u stupcu *p*-vrijednost označavaju statistički značajne *p*-vrijednosti

4.2. Rezultati fleksije potkoljenice na 60 °'

U fleksiji potkoljenice na 60 °' dobivena je statistički značajna razlika u varijabli UKR ($p=0,0069$). U ostalim varijablama nije pronađena statistički značajna razlika.

Aritmetička sredina \pm standardna devijacija u varijabli UKR kod zdrave noge iznosila je $457,93 \pm 175,76$ J, a kod ozlijeđene $369,63 \pm 137,81$ J. (tablica 3.)

Tablica 3. Deskriptivni pokazatelji, rezultati mjerenja, *p*-vrijednost kod fleksije potkoljenice na 60 °/'

Fleksija potkoljenice na 60 °/'	Minimum	Maksimum	Raspon	Rezultat mjerenja ($\bar{x} \pm SD$)	<i>p</i> -vrijednost
OM (N/m) zdrava	57,10	155,20	98,10	97,23 ± 32,72	0,1475
OM (N/m) ozlijeđena	47,20	114,10	66,90	77,88 ± 23,74	
OAA (%) zdrava	-	-	-		
OAA (%) ozlijeđena	-	-	-		
UKR (J) zdrava	232,10	749,40	517,30	457,93 ± 175,76	0,0069
UKR (J) ozlijeđena	206,20	524,50	318,30	369,63 ± 137,81	
PS (W) zdrava	36,30	113,20	76,90	71,73 ± 26,56	0,1811

PS (W) ozlijeđena	32,90	90,90	58	57,22 ± 19,54	
VMS (ms) zdrava	310	1150	840	582 ± 279,71	0,0708
VMS (ms) ozlijeđena	210	730	520	391 ± 143,94	

OM = obrtni moment; OAA = omjer jakosti agonista i antagonista; UKR = ukupna količina rada; PS = prosječna snaga; VMS = vrijeme potrebno za generiranje maksimalne sile; \bar{x} = aritmetička sredina; SD = standardna devijacija; *p*-vrijednost = vjerojatnost pogreške

*Masno otisnuti brojevi u stupcu *p*-vrijednost označavaju statistički značajne *p*-vrijednosti

4.3. Rezultati ekstenzije potkoljenice na 180 °'

U ekstenziji potkoljenice na 180 °' dobivena je statistički značajna razlika u varijablama OM, OAA, UKR i PS ($p=0,0033$, $p=0,0136$, $p=0,0033$, $p=0,0057$). U varijablama OM, UKR i PS vrijednosti su bile veće kod zdrave noge, dok je u varijabli OAA vrijednost bila veća kod ozlijeđene noge. Razlika nije pronađena u varijabli VMS.

Aritmetička sredina \pm standardna devijacija u varijabli OM iznosila je $137,61 \pm 40,45$ N/m kod zdrave i $88,35 \pm 22,14$ N/m kod ozlijeđene noge. U varijabli UKR aritmetička sredina \pm standardna devijacija iznosila je $1685,89 \pm 512,70$ J kod zdrave i $1079,78 \pm 243,82$ J kod ozlijeđene noge. U varijabli PS aritmetička sredina \pm standardna devijacija iznosila je $225,68 \pm 69,20$ W kod zdrave i $146,24 \pm 40,42$ W kod ozlijeđene noge. U varijabli OAA je kod ozlijeđene noge aritmetička sredina \pm standardna devijacija iznosila $78,24 \pm 24,58$ %, a kod zdrave noge $55,69 \pm 8,69$ %. (tablica 4.)

Tablica 4. Deskriptivni pokazatelji, rezultati mjerenja, *p*-vrijednost kod ekstenzije potkoljenice na 180 °/.

Ekstenzija potkoljenice na 180 °/	Minimum	Maksimum	Raspon	Rezultat mjerenja ($\bar{x} \pm SD$)	<i>p</i> -vrijednost
OM (N/m) zdrava	79,90	205,90	126	137,61 ± 40,45	0,0033
OM (N/m) ozlijeđena	58	126,60	68,60	88,35 ± 22,14	
OAA (%) zdrava	40,40	69,80	29,40	55,69 ± 8,69	0,0136
OAA (%) ozlijeđena	48,50	132,50	84	78,24 ± 24,58	
UKR (J) zdrava	990,50	1663,40	1672,90	1685,89 ± 512,70	0,0033
UKR (J) ozlijeđena	730	1530,10	800,10	1079,78 ± 243,82	
PS (W) zdrava	120,30	327,30	207	225,68 ± 69,20	0,0057

PS (W) ozlijeđena	91,40	228,70	137,30	146,24 ± 40,42	
VMS (ms) zdrava	140	360	220	214 ± 59,10	0,4412
VMS (ms) ozlijeđena	90	390	300	199 ± 100,82	

OM = obrtni moment; OAA = omjer jakosti agonista i antagonista; UKR = ukupna količina rada; PS = prosječna snaga; VMS = vrijeme potrebno za generiranje maksimalne sile; \bar{x} = aritmetička sredina; SD = standardna devijacija; *p*-vrijednost = vjerojatnost pogreške

*Masno otisnuti brojevi u stupcu *p*-vrijednost označavaju statistički značajne *p*-vrijednost

4.4. Rezultati fleksije potkoljenice na 180 °'

U fleksiji potkoljenice na 180 °' dobivena je statistički značajna razlika u varijabli UKR ($p=0,0050$). U ostalim varijablama nije pronađena statistički značajna razlika.

Aritmetička sredina ± standardna devijacija u varijabli UKR kod zdrave noge iznosila je $942,43 \pm 340,16$ J, a kod ozlijeđene $790,06 \pm 262,21$ J. (tablica 5.)

Tablica 5. Deskriptivni pokazatelji, rezultati mjerenja, *p*-vrijednost kod fleksije potkoljenice na 180 °/

Fleksija potkoljenice na 180 °/	Minimum	Maksimum	Raspon	Rezultat mjerenja ($\bar{x} \pm SD$)	<i>p</i> -vrijednost
OM (N/m) zdrava	44,50	110	65,50	75,41 ± 21,27	0,3693
OM (N/m) ozlijeđena	40	94,90	54,90	67,05 ± 19,28	
OAA (%) zdrava					-
OAA (%) ozlijeđena					
UKR (J) zdrava	531,20	1398,90	867,20	942,43 ± 340,16	0,0050
UKR (J) ozlijeđena	474,20	1096,20	622	790,06 ± 262,21	
PS (W) zdrava	64,80	200,90	136,10	118,93 ± 47,18	0,2858
PS (W) ozlijeđena	60,50	158,90	98,40	98,84 ± 33,31	

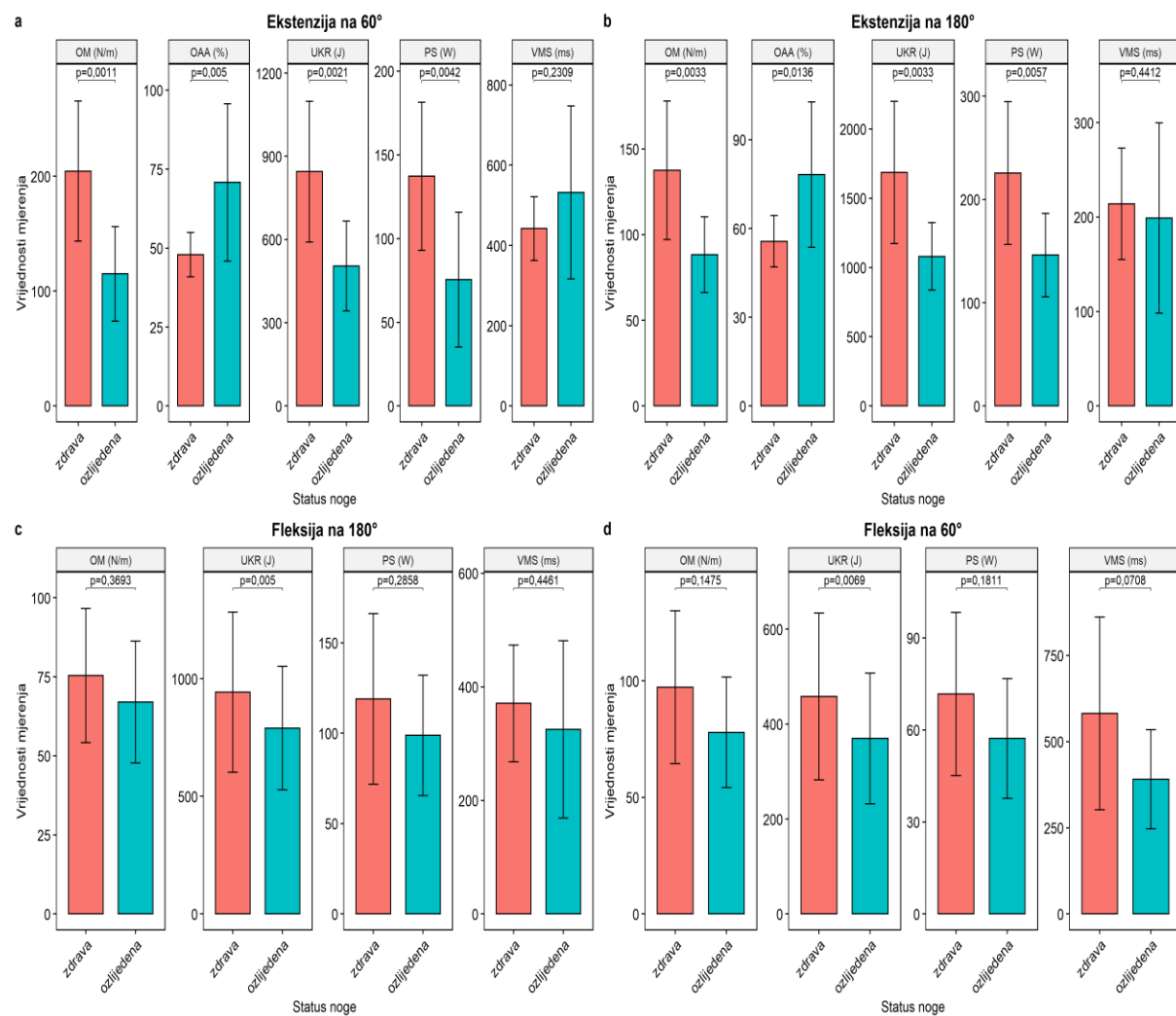
VMS (ms) zdrava	220	510	290	371 ± 102,68	0,4461
VMS (ms) ozlijeđena	90	520	430	325± 156	

OM = obrtni moment; OAA = omjer jakosti agonista i antagonista; UKR = ukupna količina rada;
 PS = prosječna snaga; VMS = vrijeme potrebno za generiranje maksimalne sile; \bar{x} = aritmetička
 sredina; SD = standardna devijacija; *p*-vrijednost = vjerojatnost pogreške

*Masno otisnuti brojevi u stupcu *p*-vrijednost označavaju statistički značajne *p*-vrijednost

4.5. Grafički prikaz rezultata

Graf 1. prikazuje rezultate ekstenzije potkoljenice na 60 °/' (a), ekstenzije potkoljenice na 180 °/' (b), fleksije potkoljenice na 60 °/' (c) i rezultate fleksije potkoljenice na 180 °/' (d).



Graf 1. Grafički prikaz svake pojedine varijable (OM, OAA, UKR, PS, VMS) s pripadajućom mjernom jedinicom kod ozlijeđene i zdrave noge u ekstenziji potkoljenice na 60 °/' (a), u ekstenziji potkoljenice na 180 °/' (b), u fleksiji potkoljenice na 60 °/' (c) i u fleksiji potkoljenice na 180 °/' (d). Bar plot prikaz označava srednju vrijednost (visina stupca) i standardnu devijaciju (krajnje vrijednosti vodoravnih crtica) s pripadajućom p-vrijednosti za svaku varijablu.

5. RASPRAVA

Cilj ovoga istraživanja bio je utvrditi razliku u izokinetičkim parametrima koji mjere jakost mišića natkoljenice zdrave i ozlijeđene noge 14 do 16 tjedana nakon rekonstrukcije ACL-a. Glavna spoznaja ovog istraživanja jest da su mišići prednje strane natkoljenice (*m. quadriceps femoris*) zdrave noge značajno jači od istih mišića ozlijeđene noge. To je dokazano statistički značajno većim rezultatima u ekstenziji potkoljenice kod zdrave noge u varijablama OM, UKR i PS koje, u ovom istraživanju, predstavljaju glavne varijable za određivanje jakosti mišića. Statistička značajnost u ekstenziji potkoljenice postoji na obje kutne brzine (60 °/ i 180 °/) kod navedenih varijabli.

Rezultati dosadašnjih istraživanja poklapaju se s ovim spoznajama. Pelegrinelli i sur. (2018) dobivaju razliku u jakosti *m. quadriceps femoris* od 18.4% i 21.4% na brzinama od 60 °/ i 120 °/. Parametar u kojem su dobili razlike je OM, a ispitanici su bili testirani 4 do 6 mjeseci nakon rekonstrukcije ACL-a. Gillet i sur. (2022.) zaključuje da su mišići prednje i stražnje strane natkoljenice kod ozlijeđene noge značajno slabiji od zdrave noge na nižim kutnim brzinama 6 mjeseci nakon rekonstrukcije neovisno o operativnoj tehnici.

Kod fleksije koljenog zgloba dobivena je statistički značajna razlika samo u varijabli UKR na obje kutne brzine. Treba napomenuti kako razlike između zdrave i ozlijeđene noge u varijablama OM i PS na nižoj kutnoj brzini imaju nisku razinu statističke pogreške (0,1475 i 0,1811). Može se reći da uz statistički značajnu razliku u varijabli UKR, navedene razlike u varijablama OM i PS predstavljaju klinički značajne razlike za daljnju rehabilitaciju u jakosti mišića stražnje strane natkoljenice (*m. semitendinosus*, *m. semimembranosus* et *m. biceps femoris*; *m. hamstrings*).

Thomas, Villwock, Wojtvs i Palmieri-Smith (2013) dokazuju kako 6 - 7 mjeseci nakon rekonstrukcije ACL-a postoji razlika u jakosti *m. hamstrings* od 10.6 % između zdrave i ozlijeđene noge, a prije operacije ta je razlika iznosila 30.6 %. Ta razlika nakon 6 - 7 mjeseci nije abnormalna, no može se zaključiti da je 14 - 16 tjedana nakon rekonstrukcije ta razlika bila veća od 10.6 %. Ardern, Webster, Taylor i Feller (2010.) dokazuje kako 30 mjeseci nakon rekonstrukcije ACL-a postoji razlika između 3 % i 27% između zdrave i operirane noge te da na taj rezultat ne utječe je

li graft uzet iz jedne ili više tetiva mišića *pes anserinus* (tetive *m. gracilisa*, *m. sartoriusa* i *m. semitendinosusa*).

Iz prikazanih rezultata ovog i drugih istraživanja može se vidjeti kako dolazi do pada u jakosti *m. quadriceps femoris* i *m. hamstrings*, no taj pad u jakosti je veći kod *m. quadriceps femoris*. U meta-analizi koja uključuje 13 studija Kim, Lee J.H., Ahn, Park, Lee D.H. (2016) navode kako je pad u jakosti trostruko veći kod *m. quadriceps femoris* nego kod *m. hamstringsa*. Također, navodi kako je to razlog blagog porasta u rezultatima omjera obrtnog momenta (OAA) na 60 °/ između te dvije grupe mišića. Autor navodi samo blagi porast rezultata, ali treba napomenuti da su u toj meta-analizi uključeni ispitanici u različitim fazama rehabilitacije. U ovom istraživanju mjerena je identična varijabla (OAA) te je zabilježen statistički značajan porast rezultata na obje kutne brzine (60 °/ i 120 °/). Bucktorpe, La Rosa i Villa (2019) navode kako je objašnjenje povećanja omjera jakosti *m. hamstrings* u odnosu na *m. quadriceps femoris* artrogena mišićna inhibicija (engl. *arthrogenic muscle inhibition*, AMI). AMI je nemogućnost potpune ekstenzije koljena zbog inhibicije *m. quadriceps femoris* i kontrakture *m. hamstrings* nakon traumatske ozljede ACL-a. Jedna od hipoteza zašto dolazi do ove pojave jest gubitak mehanoreceptora ACL-a te prekid ligamentarno - tetivnog refleksa između ACL- a i *m. quadriceps femoris* koji onemogućava angažiranje adekvatnog broja motoričkih jedinica tijekom voljne kontrakcije. Tijekom rehabilitacije važno je spriječiti AMI koliko god je moguće. Isti autor navodi kako je to moguće korištenjem anestetika, leda i TENS-a (engl. *transcutaneous electrical nerve stimulation*) u prvoj fazi rehabilitacije. Također, navodi da ispitanici koji prolaze kroz program jačanja ozlijeđene noge prije operacije, imaju bolju funkciju koljena poslije operacije (Buckthorpe, 2019.). Može se reći kako je vraćanje funkcije *m. quadriceps femoris* u stanje kakvo je bilo prije operacije prvi prioritet nakon vraćanja opsega pokreta koljenog zgloba jer je to ekstenzorni mišić važan za normalan obrazac hoda.

Utvrđeno je kako jakost *m. hamstrings* ne pada koliko pada jakost *m. quadriceps femoris* nakon ozljede ACL-a, no sve više istraživanja potvrđuje kako je funkcija *m. hamstrings* jednako važna u prevenciji i rehabilitaciji ozljede ACL-a. Tsepis, Vagenas, Giakas, Georgoulis (2004) istražuju odnos jakosti mišića natkoljenice i kvalitetu funkcije koljena utvrđenu Lysholm skalom kod nogometaša amatera. Pronađena je statistički značajno manja jakost *m. quadriceps femoris* kod nogometaša sa visokom, srednjom i niskom funkcionalnosti koljena. Statistički značajno manja

jakost *m. hamstrings* je pronađena samo kod grupe nogometaša koja je imala nisku funkcionalnost koljena. U drugom istraživanju Myer, Ford, Barber-Foss, Liu, Nick i Hewett (2009) uspoređuju jakost mišića natkoljenice sportašica s ozljedom ACL-a u odnosu na jakost mišića natkoljenice sportaša i sportašica bez ozljede ACL-a. Glavna spoznaja istraživanja je bila da sportašice s ozljedom ACL-a imaju statistički značajno manju relativnu jakost *m. hamstrings* u odnosu na sportaše bez ozljede ACL-a, a nemaju statistički značajno manju relativnu jakost *m. quadriceps femoris*. Također je utvrđeno da sportašice bez ozljede ACL-a imaju statistički značajno slabiji *m. quadriceps femoris*, ali ne i *m. hamstrings* u odnosu na sportaše bez ozljede ACL-a. Kod žena je dokazana manja relativna jakost *m. hamstrings* u odnosu na *m. quadriceps femoris* kod većih kutnih brzina koje su slične brzinama mišićnih kontrakcija u sportu (Hewett, Myer i Zazulak, 2008) To je mogući razlog zašto kod žena 4 do 6 puta češće dolazi do ozljeda ACL-a u sportovima s visokom rizičnošću od ozljeđivanja ACL-a (košarka, rukomet, odbojka) (Myer i sur., 2009). Prema navedenim rezultatima istraživanja može se zaključiti kako je kod slabije funkcije *m. hamstrings* povećan rizik od ozljede ACL-a, stoga je u rehabilitaciji nakon dovođenja *m. quadriceps femoris* u zadovoljavajuće stanje, važno dovesti funkciju *m. hamstrings* na zadovoljavajuću razinu kod oba spola, a posebice kod žena.

Postoji mnogo faktora i testova koji moraju biti zadovoljeni da bi se pojedinac mogao vratiti specifičnim aktivnostima nakon rekonstrukcije ACL-a. Gokeler, Dingenen, Hewett (2022) predlažu bateriju testova koja uključuje 4 varijante hop testa, test mišićne jakosti na trenažerima ili na izokinetičkom uređaju, biomehaničku evaluaciju specifičnih obrazaca kretanja te napominje kako psihološki faktor također ima važnu ulogu u povratku sportskim aktivnostima.

Faktor o kojem se primarno piše u ovom radu je jakost. Postoje normativni rezultati koje bi pojedinac trebao postići na izokinetičkom testiranju jakosti prije povratka specifičnim sportskim aktivnostima. Highgenboten, Jackson, Meske (1988) utvrđuju jakost *m. quadriceps femoris* i *m. hamstrings* (Nm) u odnosu na tjelesnu masu (kg) kod opće populacije od 15. do 34. godine. Rezultati kod žena su pokazali da je omjer postignute sile i tjelesne mase za *m. quadriceps femoris* 2,19, a za *m. hamstrings* 0,85. Kod muškaraca je taj omjer bio 2,76 za *m. quadriceps femoris* i 1,16 za *m. hamstrings*. Ovo su rezultati prosječne populacije i može se reći da bi rezultat sportaša rekreativaca za siguran povratak sportskim aktivnostima trebao biti minimalno kao vrijednosti navedene u tom istraživanju. Kod bilateralne usporedbe jakosti *m. quadriceps femoris* razlike kod

povratka na teren ne bi trebale biti veće od 10 %. Drugim riječima, omjer jakosti (Nm) između *m. quadriceps femoris* ozlijeđene i *m. quadriceps femoris* zdrave noge trebao bi biti 90% ili više kako bi se mogli savladavati specifični zahtjevi sportskih aktivnosti s promjenama pravca kretanja (Dvir 2004, str. 144-145).

Glavno ograničenje ovog istraživanja je mali broj ispitanika kod kojeg jedan rezultat može znatno utjecati na statističku značajnost rezultata u pojedinim varijablama. Ispitanici su bile osobe koje su se rekreativno bavile sportom 3 do 5 puta tjedno te je moguće da je razina tjelesne aktivnosti prije rupture ACL-a značajno varirala između pojedinaca. Izokinetička dinamometrija predstavlja vrlo precizno mjerenje mišićne jakosti, no radi se o testiranju jakosti u otvorenom kinetičkom lancu. U budućim bi ju istraživanjima trebalo kombinirati s testovima zatvorenog kinetičkog lanca u završnim fazama rehabilitacije poput hop testovima i biomehaničke evaluacije obrazaca kretanja te istražiti koja je baterija testova najbolji prediktor za prevenciju od ozljede ACL-a.

6. ZAKLJUČAK

Iz rezultata ovog istraživanja može se zaključiti da postoje značajni deficiti u jakosti muskulature natkoljenice 14 do 16 tjedana nakon rekonstrukcije ACL-a te da povratak sportskim aktivnostima u toj fazi rehabilitacije nije siguran. Statistički značajni deficiti u jakosti potvrđeni su kod *m. quadriceps femoris* u svim varijablama koje mjere jakost. Kod *m. hamstrings* je zabilježen statistički značajan deficit samo u jednoj varijabli, no može se reći da je kod ostalih varijabli koje mjere jakost zabilježen klinički značajan deficit. U daljnjim istraživanjima je potrebno provesti izokinetička testiranja u kasnijim fazama rehabilitacije u kombinaciji s ostalim testovima za povratak sportskim aktivnostima nakon rekonstrukcije ACL-a.

7. LITERATURA

- Anderson, M. J., Browning, W. M., 3rd, Urband, C. E., Kluczynski, M. A., i Bisson, L. J. (2016). A Systematic Summary of Systematic Reviews on the Topic of the Anterior Cruciate Ligament. *Orthopaedic journal of sports medicine*, 4(3), 2325967116634074. <https://doi.org/10.1177/2325967116634074>
- Ardern, C. L., Webster, K. E., Taylor, N. F., i Feller, J. A. (2010). Hamstring strength recovery after hamstring tendon harvest for anterior cruciate ligament reconstruction: a comparison between graft types. *Arthroscopy : the journal of arthroscopic & related surgery : official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association*, 26(4), 462–469. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2009.08.018>
- Buckthorpe, M., La Rosa, G., i Villa, F. D. (2019). Restoring knee extensor strength after anterior cruciate ligament reconstruction: A clinical commentary. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 14(1), 159–172. <https://doi.org/10.26603/ijsp20190159>
- Cavanaugh, J. T., i Powers, M. (2017). ACL Rehabilitation Progression: Where Are We Now?. *Current reviews in musculoskeletal medicine*, 10(3), 289–296. <https://doi.org/10.1007/s12178-017-9426-3>
- Cone, S. G., Howe, D., i Fisher, M. B. (2019). Size and Shape of the Human Anterior Cruciate Ligament and the Impact of Sex and Skeletal Growth: A Systematic Review. *JBJS reviews*, 7(6), e8. <https://doi.org/10.2106/JBJS.RVW.18.00145>
- Dragičević-Cvjetković, D. (2020). Efekat izokinetičkog vježbanja na funkcionalni status pacijenata nakon ligamentoplastike prednjeg ukriženog ligamenta (doktorska disertacija). Medicinski Fakultet, Banja Luka.
- Dvir, Z. (2004). *Isokinetics: Muscle testing, interpretation, and clinical applications*. Churchill Livingstone.

- Gillet, B., Blache, Y., Rogowski, I., Vigne, G., Capel, O., Sonnery-Cottet, B., Fayard, J. M., i Thauinat, M. (2022). Isokinetic Strength After ACL Reconstruction: Influence of Concomitant Anterolateral Ligament Reconstruction. *Sports health*, 14(2), 176–182. <https://doi.org/10.1177/19417381211005405>
- Gokeler, A., Dingenen, B., i Hewett, T. E. (2022). Rehabilitation and return to sport testing after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Where are we in 2022? *Arthroscopy, Sports Medicine, and Rehabilitation*, 4(1). <https://doi.org/10.1016/j.asmr.2021.10.025>
- Hewett, T. E., Myer, G. D., i Zazulak, B. T. (2008). Hamstrings to quadriceps peak torque ratios diverge between sexes with increasing isokinetic angular velocity. *Journal of science and medicine in sport*, 11(5), 452–459. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2007.04.009>
- Highgenboten, C. L., Jackson, A. W., i Meske, N. B. (1988). Concentric and eccentric torque comparisons for knee extension and flexion in young adult males and females using the Kinetic Communicator. *The American Journal of Sports Medicine*, 16(3), 234–237. <https://doi.org/10.1177/036354658801600306>
- Kaplan, Y., i Witvrouw, E. (2019). When Is It Safe to Return to Sport After ACL Reconstruction? Reviewing the Criteria. *Sports health*, 11(4), 301–305. <https://doi.org/10.1177/1941738119846502>
- Kim, H.-J., Lee, J.-H., Ahn, S.-E., Park, M.-J., i Lee, D.-H. (2016). Influence of anterior cruciate ligament tear on thigh muscle strength and hamstring-to-quadriceps ratio: A meta-analysis. *PLOS ONE*, 11(1). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146234>
- Mahajan, P. S., Chandra, P., Negi, V. C., Jayaram, A. P., i Hussein, S. A. (2015). Smaller anterior cruciate ligament diameter is a predictor of subjects prone to ligament injuries: An ultrasound study. *BioMed Research International*, 2015, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2015/845689>

- Makhmalbaf, H., Moradi, A., Ganji, S., i Omid-Kashani, F. (2013). Accuracy of lachman and anterior drawer tests for anterior cruciate ligament injuries. *The archives of bone and joint surgery*, 1(2), 94–97.
- Myer, G. D., Ford, K. R., Barber Foss, K. D., Liu, C., Nick, T. G., i Hewett, T. E. (2009). The relationship of hamstrings and quadriceps strength to anterior cruciate ligament injury in female athletes. *Clinical journal of sport medicine : official journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, 19(1), 3–8. <https://doi.org/10.1097/JSM.0b013e318190bddd>
- Pelegrinelli, A. R. M., Guenka, L. C., Dias, J. M., Dela Bela, L. F., Silva, M. F., Moura, F. A., Brown, L. E., i Cardoso, J. R. (2018). Isokinetic muscle performance after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A case-control study. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 13(5), 882–889. <https://doi.org/10.26603/ijsp20180882>
- Prodromos, C., Brown, C., Fu, F. H., Georgoulis, A. D., Gobbi, A., Howell, S. M., Johnson, D., Paulos, L. E., i Shelbourne, K. D. (2007). *The Anterior Cruciate Ligament*. Elsevier Health Sciences.
- Tang, N., Zhang, W., George, D. M., Su, Y., i Huang, T. (2021). The Top 100 Most Cited Articles on Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Bibliometric Analysis. *Orthopaedic journal of sports medicine*, 9(2), 2325967120976372. <https://doi.org/10.1177/2325967120976372>
- Thomas, A. C., Villwock, M., Wojtys, E. M., i Palmieri-Smith, R. M. (2013). Lower extremity muscle strength after anterior cruciate ligament injury and reconstruction. *Journal of athletic training*, 48(5), 610–620. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-48.3.23>
- Tsepis, E., Vagenas, G., Giakas, G., i Georgoulis, A. (2004). Hamstring weakness as an indicator of poor knee function in ACL-deficient patients. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA*, 12(1), 22–29. <https://doi.org/10.1007/s00167-003-0377-47>

PRILOZI

Slika 1a) i 1b). Početna i završna pozicija jednog ponavljanja tijekom testiranja jakosti mišića natkoljenice na izokinetičkom dinamometru marke Biodex System 4 Pro. – vlastiti izvor

Slika 2. Primjer prikaza rezultata izokinetičkog testiranja jednog od ispitanika istraživanja. – vlastiti izvor