

**UNIVERZITET U NOVOM SADU  
FAKULTET SPORTA I FIZIČKOG VASPITANJA**



**REHABILITACIONI TRETMAN NAKON  
OPERACIJE PREDNJEG UKRŠTENOG  
LIGAMENTA SA IZOKINETIČKIM I  
IZOTONIČKIM VJEŽBANJEM**

**DOKTORSKA DISERTACIJA**

Mentor: Prof. dr Borislav Obradović

Kandidat: Siniša Nikolić

Novi Sad, 2023.

**UNIVERZITET U NOVOM SADU**  
**FAKULTET SPORTA I FIZIČKOG VASPITANJA**

**KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA**

Redni broj: RBR	
Identifikacioni broj: IBR	
Tip dokumentacije: TD	<i>Monografska dokumentacija</i>
Tip zapisa: TZ	<i>Tekstualni štampani materijal</i>
Vrsta rada (dipl., mag., dokt.): VR	<i>Doktorska disertacija</i>
Ime i prezime autora: AU	<i>Siniša Nikolić</i>
Mentor (titula, ime, prezime, zvanje): MN	<i>Prof. dr Borislav Obradović red. profesor</i>
Naslov rada: NR	<i>REHABILITACIONI TRETMAN NAKON OPERACIJE PREDNJEG UKRŠTENOG LIGAMENTA SA IZOKINETIČKIM I IZOTONIČKIM VJEŽBANJEM</i>
Jezik publikacije: JP	<i>Srpski</i>
Jezik izvoda: JI	<i>srp. / eng.</i>
Zemlja publikovanja: ZP	<i>Republika Srbija</i>
Uže geografsko područje:	<i>AP Vojvodina</i>

UGP	
Godina: GO	2023.
Izdavač: IZ	<i>autorski reprint</i>
Mesto i adresa: MA	<i>Novi Sad, Lovćenska 16</i>
Fizički opis rada: FO	(Broj poglavlja: 9/ Stranica: 114/ Slika: 5/ Tabela: 25/ Grafikona: 0/ Referenci: 144 / Priloga: 0)
Naučna oblast: NO	Društveno-humanističke nauke
Naučna disciplina: ND	Osnovne naučne discipline u sportu i fizičkom vaspitanju
Predmetna odrednica, ključne reči: PO	izokinetičko vježbanje, izotoničko vježbanje, izokinetičko testiranje, rekonstrukcija ACL.
UDK	
Čuva se:	<i>Biblioteka Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Biblioteka Univerziteta u Novom Sadu</i>
Važna napomena: VN	
Izvo d: IZ	<b><i>Cilj ovog istraživanja je analiza i komparacija ishoda rehabilitacije kod pacijenata tri mjeseca nakon rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta poslije završetka šestosedmične rehabilitacije na dva različita načina–izokinetičko i izotoničko vježbanje.</i></b>
Datum prihvatanja teme od strane Senata:	

DP	
Datum odbrane: DO	
Članovi komisije: (ime i prezime / titula / zvanje / naziv organizacije / status) KO	predsednik: član: član: mentor: <i>prof. dr Borislav Obradović, redovni profesor, Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja, univerzitet u Novom Sadu</i>

University of Novi Sad  
Faculty of sport and physical education  
Key word documentation

Accession number: ANO	
Identification number: INO	
Document type: DT	<i>Monograph documentation</i>
Type of record: TR	<i>Textual printed material</i>
Contents code: CC	<i>Doctoral dissertation</i>
Author: AU	<i>Siniša Nikolić</i>
Mentor: MN	<i>PhD Borislav Obradović, professor</i>
Title: TI	<i>REHABILITATION TREATMENT AFTER ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT SURGERY WITH ISOKINETIC AND ISOTONIC EXERCISES</i>
Language of text: LT	<i>serbian</i>
Language of abstract: LA	<i>Serbian-english</i>
Country of publication: CP	<i>Serbia</i>
Locality of publication: LP	<i>Autonomous region of Vojvodina</i>
Publication year:	<i>2023</i>

PY	
Publisher: PU	<i>Author reprint</i>
Publication place: PP	<i>Novi Sad, Lovćenska 16</i>
Physical description: PD	<i>Chapters: 9/ Pages: 114/ Tables:5 / Pictures:25 / Graphs:0 / Figures: 0/ References: 144/ Appendices: 0</i>
Scientific field SF	<i>Physical Education and Sport</i>
Scientific discipline SD	<i>Fundamental scientific disciplines in sport and physical education</i>
Subject, Key words SKW	<i>isokinetic exercise, isotonic exercise, isokinetic testing, ACL reconstruction.</i>
UC	
Holding data: HD	<i>Faculty of sport and physical education library, University of Novi Sad library</i>
Note: N	
Abstract: AB	<i><b>The aim of this research</b> is analysis and comparison of rehabilitation outcomes in patients three months after anterior cruciate ligament reconstruction after completion of six-week rehabilitation in two different ways – isokinetic and isotonic exercise.</i>
Accepted on Senate on: AS	
Defended: DE	

Thesis Defend Board: DB	president: member: member:
----------------------------	----------------------------------

# SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
1.1. Prednji ukršteni ligament .....	2
1.1.1. Funkcionalne osobnosti prednjeg ukrštenog ligamenta .....	3
1.2. Biomehaničke osnove zgloba koljena .....	6
1.3. Teorijski okvir rada i dosadašnja istraživanja .....	9
1.3.1. Mehanizam nastanka povrede prednjeg ukrštenog ligamenta .....	9
1.3.2. Dijagnostički i terapijski tretman nakon povrede prednjeg ukrštenog ligamenta... 14	
1.3.2.1. Preoperativna rehabilitacija.....	14
1.3.2.2. Postoperativna rehabilitacija .....	15
1.4. Izokinetika.....	16
1.4.1. Izokinetička dinamometrija kao dijagnostika .....	18
2. CILJ ISTRAŽIVA.....	22
3. OSNOVNE HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA .....	23
4. METOD RADA .....	24
4.1. Opis i dizajn istraživanja.....	24
4.2. Uzorak ispitanika.....	24
4.2.1. Kriterijumi za uključivanje u istraživanje.....	25
4.3. Uzorak mjernih instrumenata i testova.....	26
4.4. Aparatura.....	26
4.4.1. Statički bicikl-ergocikl.....	27
4.4.2. Aparat za izokinetičko testiranje i vježbanje .....	27
4.4.3. Aparat za izotoničko vježbanje natkoljene muskulature .....	27
4.5. Dizajn studije.....	28
4.5.1. Protokol izokinetičkog testiranja .....	28
4.5.1.1. Uslovi mjerenja .....	32
4.5.2. Opis protokola rehabilitacionih tretmana.....	32



4.5.2.1. Protokol vježbanja u ispitivanoj grupi A-izokinetička.....	33
4.5.2.2. Protokol vježbanja u ispitivanoj grupi B-izotonička.....	34
4.6. Primijenjeni postupci statističke analize podataka.....	37
5. REZULTATI.....	39
5.1. Grupisanje rezultata izokinetičkih parametara–klasiranje uzorka .....	39
5.2. Inicijalno mjerenje.....	40
5.2.1. Analiza izokinetičkih parametara ekstenzora na inicijalnom mjerenju .....	40
5.2.1.1. Analiza razlika između ispitivanih grupa u odnosu na izokinetičke parametre ekstenzora na inicijalnom mjerenju .....	40
5.2.2. Analiza izokinetičkih parametara fleksora na inicijalnom mjerenju .....	42
5.2.2.1. Analiza razlika između ispitivanih grupa u odnosu na izokinetičke parametre fleksora na inicijalnom mjerenju .....	42
5.2.3. Analiza odnosa prosječnog obrtnog momenta sile agonista i antagonista (AGANR) na inicijalnom mjerenju .....	43
5.2.3.1. Analiza razlika između ispitivanih grupa za izokinetički parametar odnos prosječnog obrtnog momenta sile agonista i antagonista– AGANR na inicijalnom mjerenju .....	44
5.3. Mjerenje nakon tri sedmice (kontrolno mjerenje).....	44
5.3.1.1. Analiza razlika između pojedinih varijabli izokinetičkih parametara ekstenzora na kontrolnom mjerenju.....	44
5.3.2. Analiza izokinetičkih parametara fleksora na kontrolnom mjerenju.....	46
5.3.2.1. Analiza razlika između ispitivanih grupa u odnosu na izokinetičke parametre fleksora na kontrolnom mjerenju.....	46
5.3.1. Analiza prosječnog obrtnog momenta sile agonista i antagonista (AGANR) na kontrolnom mjerenju .....	47
5.3.1.1. Analiza razlika između ispitivanih grupa za izokinetički parametar odnos prosječnog obrtnog momenta sile agonista i antagonista–AGANR na kontrolnom mjerenju .....	47
5.4. Mjerenje nakon šest sedmica–finalno mjerenje .....	48
5.4.1. Analiza izokinetičkih parametara ekstenzora na finalnom mjerenju.....	48

5.4.1.1. Analiza razlika između pojedinih varijabli izokinetičkih parametara ekstenzora na finalnom mjerenju .....	48
5.4.2. Analiza izokinetičkih parametara fleksora na finalnom mjerenju .....	49
5.4.2.1. Analiza razlika između pojedinih varijabli izokinetičkih parametara fleksora na finalnom mjerenju .....	49
5.4.3. Odnos prosječnog obrtnog momenta sile agonista i antagonista – AGANR na finalnom mjerenju.....	51
5.5. Završna razmatranja .....	52
6. DISKUSIJA .....	55
6.1.1. Ugao fleksije koljena i ugaone brzine pri mjerenju i vježbanju .....	55
6.2. Analiza izokinetičkih parametara ekstenzora koljena operisane noge.....	55
6.2.1. Analiza izokinetičkog parametra maksimalni obrtni moment sile ekstenzora operisane noge-EXPTRQ .....	56
6.2.1.1. Analiza izokinetičkog parametra maksimalni obrtni moment sile ekstenzora operisane noge-EXPTRQ na svim mjerenjima prema ispitivanim grupama .....	56
6.2.2. Analiza izokinetičkog parametra prosječna snaga ekstenzora operisane noge-EXAVP.....	58
6.2.2.1. Analiza izokinetičkog parametra prosječna snaga ekstenzora operisane noge-EXAVP na svim mjerenjima po ispitivanim grupama .....	59
6.2.3. Analiza izokinetičkog parametra ukupni rad ekstenzora operisane noge-EXTW .	60
6.2.3.1. Analiza izokinetičkog parametra ukupni rad ekstenzora operisane noge-EXTW na svim mjerenjima prema ispitivanim grupama.....	61
6.2.4. Analiza izokinetičkog parametra deficit momenta sile ekstenzora operisane noge u odnosu na neoperisanu-EXDEF.....	62
6.2.4.1. Analiza izokinetičkog parametra deficit momenta sile ekstenzora operisane noge u odnosu na neoperisanu nogu-EXDEF na svim mjerenjima prema ispitivanim grupama.....	62
6.3. Analiza izokinetičkih parametara fleksora koljena operisane noge .....	71
6.3.1. Analiza izokinetičkog parametra maksimalni obrtni moment sile fleksora operisane noge-FLPTRQ.....	72
6.3.1.1. Analiza izokinetičkog parametra maksimalni obrtni moment sile fleksora operisane noge-FLPTRQ na svim mjerenjima po ispitivanim grupama.....	72

6.3.2.	Analiza izokinetičkog parametra prosječna snaga fleksora operisane noge– FLAVP.....	74
6.3.2.1.	Analiza izokinetičkog parametra prosječna snaga fleksora operisane noge– FLAVP .....	74
6.3.3.	Analiza izokinetičkog parametra ukupni rad fleksora operisane noge–FLTW .....	75
6.3.3.1.	Analiza izokinetičkog parametra ukupni rad fleksora operisane noge–FLTW na svim mjerenjima prema ispitivanim grupama.....	75
6.3.4.	Analiza deficita obrtnog momenta sile fleksora operisane noge u odnosu na nepovrijeđenu nogu–FLDEF .....	75
6.3.4.1.	Analiza izokinetičkog parametra deficit obrtnog momenta sile fleksora operisane noge u odnosu na neoperisanu nogu–FLDEF na svim mjerenjima prema ispitivanim grupama.....	76
6.4.	Analiza izokinetičkog parametra odnos prosječnog obrtnog momenta sile agonista i antagonista–AGANR .....	79
6.4.1.	Analiza ukupnog uzorka .....	86
6.4.2.	Analiza izokinetičkog parametra odnos prosječnog obrtnog momenta sile agonista i antagonista–AGANR na svim mjerenjima prema ispitivanim grupama.....	87
7.	ZAKLJUČAK .....	90
7.1.	Zaključci prema tematskim cjelinama istraživanja .....	90
7.2.	Generalizovani zaključak .....	94
8.	ZNAČAJ I PRAVCI BUDUĆIH ISTRAŽIVANJA.....	96
8.1.	Teorijski i praktični značaj istraživanja .....	96
8.2.	Pravci daljih istraživanja .....	96
9.	LITERATURA .....	97

# REHABILITACIONI TRETMAN NAKON OPERACIJE PREDNJEG UKRŠTENOG LIGAMENTA SA IZOKINETIČKIM I IZOTONIČKIM VJEŽBANJEM

## SAŽETAK

Generalni cilj ovog istraživanja je da se uporede učinci izokinetičkog i izotoničkog vježbanja na rezultate rehabilitacije pacijenata tri mjeseca nakon hirurške rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta. Analiziran je uzorak od 180 ispitanika podijeljen u dva subuzorka u odnosu na vrstu rehabilitacionog tretmana koji je provođen.

Ispitivanu grupu A-izokinetičku sačinjavalo je 90 muških ispitanika, prosječne starosti  $28.54 \pm 4.44$  godina. Kod njih je rehabilitacioni protokol bio zasnovan na izokinetičkom vježbanju natkoljenih mišića. Ispitivanu grupu B-izotoničku (klasičnu) sačinjavalo je 90 muških ispitanika, prosječne starosti  $27.93 \pm 4.27$  godina. Kod ovih ispitanika se u rehabilitacionom protokolu za jačanje natkoljene muskulature primjenjivao program vježbanja sa dodatnim otporom, tj. izotoničko vježbanje u trenažnoj sali.

Prije početka rehabilitacionog tretmana urađen je inicijalni izokinetički test pri ugaonoj brzini od  $60^\circ/s$  kod svih ispitanika. Nakon tri i šest sedmica rehabilitacionog tretmana rađeni su kontrolni testovi istim načinom i prateći iste parametre kao i na inicijalnom testu.

Na osnovu vrijednosti analize MANOVA i analize DISKRIMINATIVNA, nađeni su značajno bolji rezultati izokinetičkih testova u ispitivanoj grupi A - izokinetičkoj u odnosu na ispitivanu grupu B - izotoničku. Razlika između ispitivanih grupa je bila značajnija na finalnom mjerenju nakon šest sedmica rehabilitacionog tretmana u odnosu na kontrolno mjerenje nakon tri sedmice tetmana.

Na osnovu dobijenih rezultata istraživanja zaključujemo da je izokinetičko vježbanje djelotvornije po pitanju rehabilitacije natkoljenih mišića nakon rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta.

**Ključne riječi:** izokinetičko vježbanje, izotoničko vježbanje, izokinetičko testiranje, rekonstrukcija ACL.

# **REHABILITATION TREATMENT AFTER ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT SURGERY WITH ISOKINETIC AND ISOTONIC EXERCISES**

## **ABSTRACT**

General aim of this study is to compare the effects of isokinetic and isotonic exercise on the rehabilitation results in patients three months after surgical reconstruction of the anterior cruciate ligament. A sample of 180 subjects was analyzed, divided into two subsamples in relation to the type of rehabilitation treatment that was performed. The examined group A-isokinetic, consisted of 90 male subjects, at the average age of  $28.54 \pm 4.44$ . Their rehabilitation protocol was based on isokinetic exercise of the upper leg muscles. The examined group B-isotonic (classical), consisted of 90 male subjects, at average age of  $27.93 \pm 4.27$ . In the case of these subjects, an exercise program with additional resistance was applied in the rehabilitation protocol for strengthening the lower leg muscles, i.e. isotonic exercise in the gym.

Before the start of the rehabilitation treatment, an initial isokinetic test was performed at an angular velocity of  $60^\circ/s$  in all subjects. After three and six weeks of rehabilitation treatment, control tests were performed in the same way and the same parameters were followed as in the initial test. Based on the values of MANOVA analysis and DISCRIMINATIVE analysis, significantly better results of isokinetic tests were found in the examined group A – isokinetic, compared to the examined group B –isotonic. The difference between the examined groups was more significant at the final measurement after six weeks of rehabilitation treatment compared to the control measurement after three weeks of testing.

Based on the results of the research, we conclude that isokinetic exercise is more effective in terms of rehabilitation of the lower leg muscles after the reconstruction of the anterior cruciate ligament.

**Keywords:** isokinetic exercise, isotonic exercise, isokinetic testing, ACL reconstruction.



# 1. UVOD

Zglob koljena (lat. *articulatio genus*) je najveći zglob u ljudskom tijelu. Takođe se smatra i najsloženijim zglobom, od izuzetne važnosti u cjelokupnom lokomotornom sistemu. Zglob koljena predstavlja, u funkcionalnom pogledu, ključnu sponu koja obezbjeđuje uspravan hod. Koljeno ima poseban značaj za opštu stabilnost i pokretljivost tijela, a zbog svoje kompleksne i suptilne građe veoma je neotporan na štetne spoljne faktore, što često dovodi do sportskih povreda koljena. Povreda ligamenata koljena je, u posljednje vrijeme kod sportista i sportskih rekreativaca u porastu (Watt et al., 2019). U naučnoj literaturi se odomaćio termin “sportsko koljeno”. Sportista može da primijeti različite simptome i tegobe vezane za zglob koljena, a obično se radi o diskretnim i jedva primjetnim tegobama, uglavnom vezanim za bol, otok i ograničenost pokreta, mada se nekada mogu pojaviti i ozbiljnije tegobe (Deckers et al., 2019). Narastajući ekonomski faktori u profesionalnom sportu stvaraju sve veće zahtjeve koji se postavljaju pred sportiste sa ciljem postizanja vrhunskih rezultata, koji opet dovode do pojave iscrpljenosti, pretreniranosti, a nerijetko i do povređivanja. Nije to slučaj samo sa aktivnim sportistima, nego su povredama izloženi i rekreativci, zatim radnici opterećeni preteškim poslovima, učesnici u saobraćaju, takoreći cijela populacija. Izloženost lokomotornog sistema velikim spoljašnjim i unutrašnjim silama tokom sportskih aktivnosti je jedan od mnogobrojnih uzroka nastajanja povreda, a najčešće su upravo povrede koljena. Jedna od najčešćih povreda u sportu i rekreaciji je povreda prednjeg ukrštenog ligamenta koljena, a kao posljedica ovih povreda može u velikom broju slučajeva da se javi hronični osteoartritis i trajno onesposobljenje koljenog zgloba (Della Villa et al., 2021). Učestalost povrede prednjeg ukrštenog ligamenta je veoma velika, ali nije moguće u potpunosti pronaći podatke o broju povrijeđenih u određenoj populaciji i određenom vremenu, kao i o načinima povređivanja. Malo je pravih epidemioloških studija koje daju egzaktne podatke na internacionalnom nivou o učestalosti povrede ovog ligamenta. Objavljeni podaci se razlikuju od zemlje do zemlje. Epidemiološki podaci su mahom prilično nepouzdana u većini zemalja zbog neusaglašenosti metodologije praćenja određenih parametara i prijavljivanja povreda. U nekim zemljama se prijavljuje broj povreda prednjeg ukrštenog ligamenta po sportisti i po danu, drugi prijavljuju broj povreda po satu sportske aktivnosti. Postoji procjena da se u Sjedinjenim Američkim Državama dogodi 200 000 povreda prednjeg ukrštenog ligamenta godišnje, a da oko 50% pacijenata sa rupturom zahtijeva

operativno liječenje (Sanders et al., 2016). U Evropi je slična situacija, a nešto više ćemo o tome reći u poglavlju koje se odnosi na nastanak same povrede.

Nakon povrede slijedi dijagnostika, liječenje pa rehabilitacija. Što se tiče dijagnostike i liječenja, u narednim poglavljima ukratko ćemo iznijeti osnovne činjenice koje su bitne za razumijevanje ove problematike, a samoj rehabilitaciji je posvećeno cijelo ovo istraživanje.

Značajno je reći da je adekvatan program rehabilitacije zasnovan na anatomskim karakteristikama samog ligamenta, fiziološkim aspektima njegovog zarastanja, ali i morfološko-funkcionalnim osobinama natkoljene muskulature (Thoma et al., 2019). Uprkos velikom broju istraživanja na tu temu, još uvijek nije ustanovljen jedinstven standard za rehabilitaciju, zbog kompleksnosti ovog problema (Snoeker et al., 2020). Kod rehabilitacije zglobnih struktura vrlo je važno povećati inervaciju i koordinaciju zgloba, te povećati stabilizaciju zgloba vježbanjem mišićnih grupa koje ga okružuju, a konkretno se radi o natkoljenoj muskulaturi. Vrlo brzo dolazi do smanjenja mišićnog disbalansa i smanjenja slabosti mišića, kao i stvaranja stabilnog i sigurnijeg zgloba. Sve ovo doprinosi sprečavanju novih povreda i skraćuje se vrijeme postizanja vrhunske forme nakon rehabilitacije. Čini se da izokinetika daje mnoga rješenja kada su u pitanju svi ovi ciljevi.

Cilj izokinetičkog mjerenja (ili testiranja) je omogućiti fizioterapeutu detaljne, pouzdane i objektivne podatke kako bi se napravio individualni program rehabilitacije i kako bi se dobilo saznanje o funkcijama zglobova, bilateralnim disbalansima itd. Odatle je i interesovanje autora ovog istraživanja i same disertacije za temu rehabilitacije nakon operacije prednjeg ukrštenog ligamenta, jer upravo u tom području izokinetička dijagnostika i izokinetičko vježbanje imaju veliku ulogu u unapređenju kineziterapijskih programa.

Nadamo se da ćemo ovim radom dati doprinos u stvaranju što ujednačenijeg protokola u rehabilitacionom tretmanu nakon rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta, gdje izokinetičko vježbanje, svakako, ima veoma značajnu ulogu.

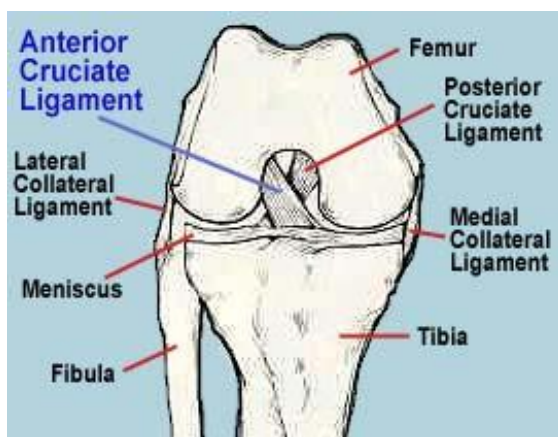
## **1.1. Prednji ukršteni ligament**

Prednji ukršteni ligament (lat. *ligamentum cruratum anterius-LCA*, engl. *anterior cruciate ligament-ACL*) je unutarzglobni ali ekstrasinovijalni zglobni element (Slika 1.). Ispunjava interkondilarnu jamu (lat. *fossa intercondylaris*) zgloba koljena, neposredno uz unutrašnji zid lateralnog kondila butne kosti. Njegova građa je uslovljena intenzitetom sila koje djeluju na



njega, a koje uvijek djeluju u istom smjeru. Sastavljen je uglavnom od kolagenih vlakana koja su postavljena paralelno u smjeru djelovanja mišića. Vrijedi ponovo napomenuti da je molekularna strukturalna organizacija prednjeg ukrštenog ligamenata takva da što bolje prenosi i neutralizuje sile istezanja koje se javljaju prilikom prenosa težine na nogu. Sadrži oko 60-70% vode koja nema biomehaničku funkciju i kolagena vlakna koja čine 70-80% suve materije tkiva koja mu daju glavnu mehaničku funkciju. Velika otpornost prednjeg ukrštenog ligamenta na sile izvlačenja i rastezanja bazirana je prvenstveno na specifičnim osobinama kolagenih vlakana, zbog toga što je njegov raspored u prostoru prilagođen mehaničkom opterećenju (Khonsary, 2017).

Prednji ukršteni ligament, u naučnoj literaturi uglavnom predstavljen skraćenicom ACL (engl. *anterior cruciate ligament*) ima ulogu u obezbjeđivanju kontrole klizanja tibije ispred femura (prednja translacija tibije) i rotatorne stabilnosti zgloba koljena tokom punog obima pokreta, pri čemu svoju funkciju stabilizatora koljena obavlja u svih šest nivoa pokretljivosti, tj. fleksije, ekstenzije, unutrašnje i spoljašnje rotacije, te prednje i zadnje translacije tibije.



Slika 1. Prednji ukršteni ligament (*ligamentum cruciatum anterius*). (Preuzeto sa: [anterior-cruciate-ligament-knee-joint-cartilage.jpg \(800×906\) \(hiclipart.com\)](#) i [acl\\_01a.jpg \(272×208\) \(kneeandshoulder.md\)](#))

### 1.1.1. Funkcionalne osobnosti prednjeg ukrštenog ligamenta

U funkcionalnom smislu ACL predstavlja primarni pasivni stabilizator koljena koji pruža otpor prednjoj translaciji tibije i zajedno sa zadnjim ukrštenim ligamentom (*lig. cruciatum posterior*), svojim zatezanjem sprečava prekomjernu ekstenziju, fleksiju, spoljašnju i unutrašnju rotaciju

koljena. Pri malim uglovima u smjeru fleksije u zglobu koljena, posterolateralni snop ACL je maksimalno zategnut, dok se sa povećanjem tog ugla zateže anteromedijalni snop.

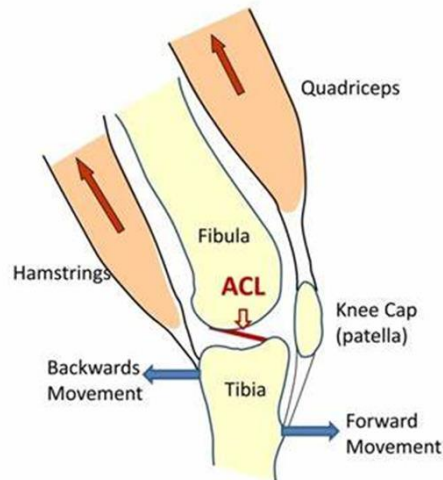
Od zadnje-gornjeg dijela interkondilarne jame vlakna ligamenta spuštaju se prema dole između vrhova interkondilarnog uzvišenja (*tuberculi medialis et lateralis eminentiae intercondylaris tibiae lat. et med.*) i medijalno, ka prednjem interkondilarnom prostoru platoa tibije (*area intercondylaris anterior*). Vlakna ACL su organizovana u tri snopa, pri čemu su anteromedijalni i posterolateralni snopovi jasno diferencirani, dok je srednji, intermedijarni nestalan ili teško uočljiv. Površina i oblik poprečnog presjeka prednjeg ukrštenog ligamenta koljena mijenjaju se od gornjeg prema donjem pripoju. Poprečni presjek prednjeg ukrštenog ligamenta je nepravilan i promjenjiv cijelom svojom dužinom. Na gornjem pripoju površina poprečnog presjeka je 34mm<sup>2</sup>. U gornjem dijelu samog ligamenta poprečni presjek ima površinu od oko 33mm<sup>2</sup>, u srednjem 35mm<sup>2</sup>, dok je u blizini donjeg pripoja površina poprečnog presjeka 42 mm<sup>2</sup>.

Prednji ukršteni ligament nije poput jednostruke trake, nego se dijeli na dva snopa: prednje-unutrašnji (anteromedijalni) i zadnjepoljašnji (posterolateralni) snop, što ima velikog značaja u funkcionalnoj i patološkoj anatomiji. Prednje-unutrašnja vlakna polaze od pripoja na butnoj kosti i završavaju se na prednje-unutrašnjem dijelu donjeg pripoja prednjeg ukrštenog ligamenta. Dominantnija, zadnje-spoljašnja vlakna pripajaju se na zadnjepoljašnjem dijelu golenjačnog pripoja. Na koštanim pripojima vlakna intermedijalnog snopa se nalaze između pripoja prednjeunutrašnjih i zadnje-spoljašnjih snopova. Prednji ukršteni ligament izrađen je od većeg broja fascikulusa gustog vezivnog tkiva koji povezuju distalni okrajak butne kosti sa proksimalnim okrajkom golenjače. Između antero-medijalnog i postero-lateralnog snopa nalazi se septum vaskularizovanog vezivnog tkiva. Postoje različite histološke karakteristike ovog ligamenta u različitim fazama njegovog razvoja. Histološka građa prednjeg ukrštenog ligamenta oslikava njegovu funkciju. U prvom redu to podrazumijeva obezbjeđivanje stabilnosti zgloba koljena i apsorpciju sila kojima je ovaj zglob kontinuirano izložen.

Međusobni odnos pripoja antero-medijalnog i postero-lateralnog snopa na femuru mijenja se u toku pokreta. Pripoj postero-lateralnog snopa koji se kod ekstenzije koljena nalazi posteriorno, pri fleksiji se pomjera anteriorno, te se na približno 90° fleksije koljena nalazi naprijed i ispod pripoja antero-medijalnog snopa (prema anatomskoj nomenklaturi). Promjena položaja pripoja snopova dovodi do zategnutosti postero-lateralnog snopa kada je koljeno u punoj ekstenziji i opuštenosti kada je u fleksiji. Zbog svojih približno izometrijskih karakteristika, antero-medijalni

snop zategnut je u skoro svim fazama pokreta, ali u fleksiji njegova vlakna pokazuju maksimalnu izduženost, pa svi nagli pokreti koji izlažu ligament velikim naprezanjima potencijalno mogu biti uzrok nastanka povreda.

Poput tetiva i mišića, prednji ukršteni ligament ima građu koja nastaje usljed sila koje djeluju na njega. Tetive i ligamenti imaju mogućnost adaptacije morfologije pod uticajem promjena u njihovom mehaničkom okruženju, koje mogu nastati nakon povrede, bolesti ili treninga. Međucelijski matriks ukrštenih ligamenata sličan je kao i kod drugih ligamenata, a čine ga paralelni snopovi kolagenih vlakana, razdvojeni tankim retikularnim vlaknima. Ligamenti spadaju u grupu hipocelularnih tkiva, a ćelije koje se mogu naći u strukturi ligamenata imaju karakteristike fibroblasta. One su utisnute između kolagenih vlakana, tako da su izdužene, dok su na poprečnom presjeku zvjezdolikog oblika. Sadržaj vode u ligamentima je 60-70%, a osim kolagenih i elastičnih vlakana, vode i fibroblasta, u ligamentima se nalazi i proteoglikanski matriks. Molekularna strukturalna organizacija ligamenata je u službi boljeg prenosa i amortizovanja sila istezanja kojima su tokom kretanja izloženi. Velika otpornost na sile istezanja koju pokazuju ligamenati i tetive zasniva se prvenstveno na specifičnim osobinama kolagenih vlakana, kao i na njihovom jedinstvenom rasporedu u prostoru koji je prilagođen mehaničkom opterećenju. Molekule kolagena čine tri polipeptidna lanca koji su međusobno uvrnuti, tako da formiraju oblik heliksa koji se sintetise u ćelijama, a izbacuje se u međucelijski prostor u obliku prokolagena koji je solubilan. Molekuli prokolagena su polučvrsti elementi sa srednjom dužinom od 280-300nm koji se u vanćelijskom prostoru razdvajaju stvarajući konačan oblik kolagena (trokolagen). Tako nastali molekuli kolagena (1-2nm) se udružuju stvarajući u prvi mah mikrofibrile (3-4nm), a potom dodatnim spajanjem subfibrile (10-20nm). Veći broj subfibrila formira fibrile (50-500nm). Elektronskom mikroskopijom je utvrđeno da je prednji ukršteni ligament sastavljen od dvije vrste kolagenih fibrila. ACL se opire translaciji tibije prema naprijed, a to je važno za prevenciju hiperekstenzije i osiguravanje stabilnosti koljena tokom pokreta (Slika 2.). U nešto manjem obimu je odgovoran za rotatornu stabilnost koljena (Noyes i Barber-Westin, 2018). Smatra se da je, kao glavni stabilizator koljena, odgovoran za čak 85% stabilnosti ovog zgloba (Abulhasan i Grey, 2017).



**Slika 2. Prednja i zadnja translacija tibije, uloga ACL, odnos mišića prednje i zadnje lože natkoljenice.**  
 (Preuzeto sa: <https://symmetryptmiami.com/acl-injury-movement-patterns/> )

Detaljno poznavanje anatomije i biomehanike prednjeg ukrštenog ligamenta koljena je osnov za unapređenje rehabilitacije njegove povrede. To se ne odnosi samo na unapređenje hirurških tehnika, nego i na same protokole rehabilitacije koji su definisani prema medicini zasnovanoj na dokazima (Filbay i Grindem, 2019).

## 1.2. Biomehaničke osnove zgloba koljena

Zglob koljena, kao najveći zglob u ljudskom organizmu predstavlja jako kompleksnu strukturu u anatomskom, ali i u biomehaničkom smislu. Koljeno je zglob po tipu šarke, zbog čega spada u grupu manje pokretnih zglobova. U zglobu koljena se obavljaju pokreti savijanja (fleksije) i opružanja (ekstenzije), a pri savijenom koljenu moguća je i spoljašnja i unutrašnja rotacija. Stabilizatori koljena se dijele na pasivne (ligamenti koljena i meniskusi) i aktivne (mišići koljena).

Ovaj zglob u procesu kretanja predstavlja važnu kariku u lancu funkcionalne cjeline čovjeka i na taj način omogućava čovjeku stajanje, hodanje, trčanje i klečanje. Bilo kakve patološke promjene u strukturi koljena dovode do poremećaja procesa kretanja, što ima velike posljedice na sve životne aktivnosti čovjeka, a na taj način i na njegov fizički i psihički integritet. Koljeno teži da se odupre sili nametnutoj od strane stopala tokom njegovog kontakta sa podlogom, kroz čitav proces hoda, toliko da može da omogući savladavanje efekta inercije noge, tokom bezpotporne faze kretanja. Građa zgloba koljena obezbjeđuje osnovne pokrete ekstenzije i fleksije, pokrete valgusa i varusa, kao i unutrašnje i spoljašnje rotacije, koji su skromnog obima.

Koljeni zglob je po funkciji trohoginglim (lat. *artculatio trochoginglymus*), što znači da su u njemu mogući pokreti oko jedne transverzalne ose-fleksija i ekstenzija, a u manjoj mjeri oko uzdužne ose, odnosno rotacija.

Funkcionalna stabilnost koljena je omogućena zajedničkim djelovanjem zglobnih tijela, ligamenata, zglobne kapsule i meniskusa koji predstavljaju pasivne stabilizatore, te okolnim mišićima, tj. njihovim pripojima koji čine aktivne stabilizatore koljena (Hassebrock et al., 2020). Centralni ligamentarni aparat, odnosno prednji i zadnji ukršteni ligament su osnovni stabilizatori koljena u sagitalnoj ravni i predstavljaju osnovu kinematike u zglobu koljena. Njihova osnovna uloga je da ograničavaju anterioposteriornu translaciju tibije (Slika 2.).

Odnos elemenata u zglobu koljena zavisi od spoljašnje sile, odnosno opterećenja. Kada je koljeno flektirano bez opterećenja, ne dolazi do unutrašnje rotacije tibije. Pri punoj fleksiji potkoljenica se nalazi u unutrašnjoj, a pri punoj ekstenziji u spoljašnjoj rotaciji. Pri fleksiji od 40-90° frontalna osovina je takoreći horizontalna, tako da se tada vrši čista fleksija i tada se koljeno ponaša kao šarkasti zglob. Smanjivanjem ili povećavanjem fleksije dolazi do rotacije potkoljenice uz mogućnost valgus ili varus položaja. Ovi pokreti su limitirani postojanjem ligamenata, kao kolateralnih tako i ukrštenih, zglobne čaure i samih artikularnih površina (Slika 1.). Centralni ligamentarni aparat je osnova pasivne stabilnosti zgloba koljena u sve tri ravni, a ne samo u sagitalnoj.

Aktivna ekstenzija moguća je do 0°, pasivna hiperekstenzija do 15°, a patološka više od 15°. Kod djece i mladih osoba moguće je izvesti za 5° veću ekstenziju. Aktivna fleksija može se izvesti od 0 do 135°, a pasivno se može povećati do 160°. Kada se koljeno nalazi u punoj ekstenziji ono postaje čvrsto i stabilno, prilikom čega se može opteretiti bez funkcije mišića, uprkos težini tijela i velikim polugama koje djeluju na njega. Ukrštene veze koljena (*ligamentum cruciatum anterior et posterior*) kao kratki ali veoma snažni ligamenti imaju jednu od najvažnijih funkcija u stabilizaciji zgloba koljena. U bilo kom položaju koljena, zahvaljujući kosim vlakanima, jedan od njih je napet i na taj način preuzima vođenje zgloba ukoliko su kolateralni ligamenti opušteni. Takođe, oni ograničavaju unutrašnju rotaciju koljena pri čemu se napinju i vlakna bočne veze (*lig. collaterale tibiale*), dok vanjsku rotaciju ograničava sama unutrašnja bočna veza (*lig. colateralle tibiale*), a pomaže mu vanjska bočna veza (*lig. colateralle fibulare*)..

Mišići prednje i zadnje lože buta, koji spadaju u grupu dvozglonih mišića i povezuju karlicu sa gornjim okrajcima tibije i fibule, ispoljavaju svoje dejstvo na zglob kuka i koljena. Ovi mišići svojim koordinisanim radom regulišu odnos u zglobu kuka i koljena i fiksiraju ih u potrebnom međusobnom položaju. Dvozglonni mišići svojim zatezanjem i kontrakcijom obezbjeđuju stabilnost položaja koljena i normalnu funkciju u ovom zglobu (Slika 3.). Uporedo sa osnovnom ulogom, a to je fleksija u zglobu koljena i ekstenzija u zglobu kuka, mišići zadnje lože buta vrše i rotatorne pokrete u zglobu koljena. Dvoglavi mišić buta (*m. biceps femoris*) vrši spoljašnju rotaciju, a poluopnasti mišić (*m. semimembranosus*) i polutetivni mišić (*m. semitendinosus*) vrše unutrašnju rotaciju potkoljenice (Kang et al., 2019).

U prednjem ukrštenom ligamentu nalaze se integrisani nervni završeci i mehanoreceptori (proprioceptori) koji šalju signale mozgu i centralnom nervnom sistemu o položaju zgloba koljena. Kada su ovi nervni završeci stimulisani, centralni nervni sistem aktivira mišiće oko koljena, sa ciljem da postave zglob u što stabilniju poziciju. Prema tome, primarna funkcija prednjeg ukrštenog ligamenta je da omogući zglobu koljena stabilnost prilikom pokreta.



Slika 3. Zaštitna uloga natkoljenih mišića. (Preuzeto sa:

[https://www.eorthopod.com/sites/default/files/images/knee\\_tendonitis\\_quadriceps\\_anatomy01.jpg](https://www.eorthopod.com/sites/default/files/images/knee_tendonitis_quadriceps_anatomy01.jpg))

### **1.3. Teorijski okvir rada i dosadašnja istraživanja**

Kao što je već rečeno, povrede prednjeg ukrštenog ligamenta spadaju u najčešće povrede koljena, kao i najčešće povrede u sportu uopšte. Terapija i rehabilitacija ove povrede umnogome zavise od mehanizma nastanka same povrede.

#### **1.3.1. Mehanizam nastanka povrede prednjeg ukrštenog ligamenta**

Stabilnost koljena zavisi od združenog djelovanja aktivnih i pasivnih stabilizatora koljena. Aktivni stabilizatori su mišići i njihove tetive koje ga okružuju ili se pripajaju u predjelu koljena, dok su pasivni stabilizatori ligamenti, zglobna kapsula, meniskusi i zglobna tijela (Noyes i Barber-Westin, 2018).

Od povreda ligamenata koljena u sportsko-medicinskoj i fizioterapijskoj praksi po učestalosti najčešće su:

- povreda kolateralnih ligamenata,
- povreda prednjih ukrštenih ligamenata,
- povreda zadnjih ukrštenih ligamenata.

Povrede ligamenata koljena koje najčešće imaju za posljedicu potpuno kidanje (rupturu) prednjeg ukrštenog ligamenta (Slika 4.) najčešće se javljaju kada dođe do:

- prekoračenja pozicije stabilnosti koljenog zgloba,
- nagle promjene smijera pri trčanju,
- naglog usporavanja,
- doskoka i slično.

Na osnovu mehanizma nastanka, povrede ACL se dijele na kontaktne i nekontaktne. Mehanizam nastanka kontaktnih povreda je poznat i jasan: sila djeluje na spoljašnju stranu koljena, uzrokujući valgus stres i često prateću leziju medijalnog kolateralnog ligamenta i medijalnog meniskusa (tzv. nesrećna trijada).

Za razliku od kontaktnih povreda ACL, mehanizmi nekontaktnih povreda nisu u potpunosti jasni i u stručnoj literaturi nema saglasnosti o značaju dejstava pojedinih sila i ravni u kojoj djeluju. Ipak, kod nekih pacijenata teško je povući jasnu granicu između dva mehanizma nastanka povrede.

Često je povreda jednog ligamenta udružena sa povredama drugih dijelova koljena tj. drugih ligamenata, same zglobne kapsule, meniskusa ili hrskavice.

Nessler i sar. (2017) identifikovali su mehanizme koji dovode do povrede ACL, ali tvrde da i dalje postoji u sportskoj populaciji mogućnost ponovnog povređivanja. Svrha njihovog istraživanja je bila da se identifikuju faktori rizika povezani sa povredom ACL i istraže programi za njihovo sprečavanje. Posebno ističu da su pokreti u frontalnoj ravni, koje obično nazivamo “bočno proklizavanje” veoma problematični kada je u pitanju povreda ACL. Pojedini autori još krajem šezdesetih godina prošlog vijeka objavljuju rezultate istraživanja rotatorne nestabilnosti koljena kao i povreda koje nastaju u položaju abdukcije flektiranog koljena i vanjske rotacije potkoljenice. Osnovna povreda koja se javljala kod svih njihovih ispitanika je bila ruptura unutrašnjeg ligamentarnog kompleksa.

Nadalje, drugi autori ukazuju na ulogu interkondilarnog udubljenja u nastanku povreda prednjeg ukrštenog ligamenta i uvode pojam „sindrom suženog interkondilarnog udubljenja“. Kako je vrijeme odmicalo, a tehnologija dijagnostike napredovala, naučnici su nastavili da se bave ovom sve savremenijom tematikom.

Zatim je važan umor, naročito jedne strane tijela ili samo jednog ekstremiteta. Nadalje, bave se stabilnošću trupa, kao i simetrijom desne i lijeve strane tijela. Ovdje bismo istakli da se ovo istraživanje zasniva na važnosti što veće ujednačenosti snage i izdržljivosti desne i lijeve natkoljene muskulature, odnosno dominantne i nedominantne strane, a što je u veoma bliskoj vezi sa navedenim istraživanjem.

Studija koju su objavili Van Dyk i sar. (2016) na 614 profesionalnih fudbalera iz 14 različitih timova pokazuje da povećana apsolutna snaga ekstenzora i snaga fleksora koljena, kao i smanjen odnos između njih i dalje ne ide u prilog smanjenju rizika od povrede koljena. Uzroke povrede bi trebalo tražiti individualno, recimo u poziciji koju igrač igra itd.



**Slika 4. Pucanje–ruptura prednjeg ukrštenog ligamenta.** (Preuzeto sa:

<https://www.jorgechahlamd.com/knee/acl-injuries-chicago-il/>)



Kao što vidimo iz analize navedenih radova, veliki uticaj na nastanak povrede prednjeg ukrštenog ligamenta imaju spoljašnje i unutrašnje sile koje djeluju na samo koljeno. Inače, u prirodi postoji mnogo vrsta sila, ali većina sila koje susrećemo u biomehaničkim analizama ljudskog pokreta mogu se svrstati u dvije kategorije: spoljašnje i unutrašnje sile. Tijelo je izloženo spoljašnjoj sili ako neko drugo tijelo djeluje na njega određenom silom. Unutrašnja sila je bilo koja sila kojom jedan segment tijela djeluje na drugi segment istog tijela. Nije uvijek očigledno koje su sile spoljašnje, a koje su unutrašnje sile (Lansdown i Ma, 2018).

Povrede ACL mogu biti svježije ili zastarjele (ako nisu prepoznate i liječene na vrijeme). Ruptura može biti na femoroalnoj i tibijalnoj inserciji (kod mladih sportista može doći do avulzije tibijalne eminencije) kao i na centralnom dijelu ACL (McCarty et al., 2018). Izolovana povreda ACL nastaje već opisanima mehanizmima, pri kojim dolazi do nagle i snažne hiperekstenzije koljena ili direktnim udaracem u femoralne kondile pri flektiranom koljenu i fiktiranoj tibiji uz pomjeranje femura unazad. Povreda ACL može nastati i kao udružena sa povredama ostalih struktura koljena. Često se dešava da pri abdukciji potkoljenice (valgus stres) i njenoj spoljašnjoj rotaciji prilikom hiperekstendiranog koljena dođe do rupture kolateralnog medijalnog ligamenta i medijalnog meniskusa, što nazivamo “nesrećna trijada”, a u nekoj literaturi se još sreće i pojam “zlokobni trijas“. To se dešava i kada dođe do udarca u lateralnu stranu zgloba. Pri varus stresu i unutrašnjoj rotaciji potkoljenice takođe može doći do udruženih povreda. Na taj način ruptura ACL može biti povezana sa sa rupturom srednje trećine lateralnih kapsularnih ligamenata (McCarty et al., 2018). Avulzijska fraktura lateralne kapsule (Segondova fraktura) je patognomonična za rupturu ACL.

Pitanje mehanizma nastanka povrede prednjeg ukrštenog ligamenta još uvek je kontroverzna tema u sportskoj traumatologiji, ortopediji i rehabilitaciji. Poznavanje etiologije rupturu ACL od suštinskog je značaja za kreiranje programa prevencije, a što bi doprinijelo smanjenju broja povrijeđenih. Što se tiče evropskih zemalja, samo Norveška, Danska i Švedska imaju nacionalne registre o broju izvedenih rekonstrukcija prednjeg ukrštenog ligamenta, te se njihovi epidemiološki podaci uzimaju kao najpouzdaniji. Imajući u vidu podatke iz navedenih registara, slučajevi hiruškog liječenja prednjeg ukrštenog ligamenta koljena se kreću od 34 na 100.000 stanovnika u Norveškoj, 32 na 100.000 stanovnika u Švedskoj i 38 na 100.000 stanovnika u Danskoj (Svantesson et al., 2019). U Njemačkoj je incidenca ovih povreda zadnjih dvadeset godina bila na nivou Švedske. Poredeći dostupne podatke može se reći da je

broj izvedenih rekonstrukcija prednjeg ukrštenog ligamenta u rasponu od 29 do 38 na 100.000 stanovnika godišnje u evropskim zemljama (Shafizadeh et al., 2016). Postoje prospektivne studije iz kojih je moguće izračunati učestalost povrede prednjeg ukrštenog ligamenta, ali postoje i retrospektivne, koje informišu samo o broju ukupnih slučajeva povrede tokom perioda istraživanja i predstavljaju ih kao procenete ukupnih povreda.

Incidenca povrede ACL je najveća tokom srednje škole i fakulteta i postepeno raste naročito kod ženske populacije. Sportistkinje u srednjoj školi imaju 2,1 do 3,1 puta veći rizik za pojavu povreda ACL u sportovima koji se mogu porediti po polu. Razlika učestalosti kod sportistkinja je multidimenzionalna i kompleksna, a vjerovatno nastaje zbog genetske predispozicije, nivoa hormona, užeg interkondilarnog raspona i razlika u biomehanici doskoka i pokreta promjena smjera. Prema većini studija najviše povreda ACL nastaje pri nekontaktnim mehanizmima. Najviše povreda ACL se dešava prilikom doskoka, tokom pokreta zaustavljanja i pri pokretima nagolog mijenjanja smjera (engl. *plant and cut maneuvers*) (Kaeding et al., 2017).

Kada je riječ o stanju zgloba koljena i njegovom uticaju na silu natkoljene muskulature, može se reći da su usko povezani. Svaka povreda koljenog zgloba negativno utiče na silu natkoljene muskulature, dolazi do deficita sile određene grupe mišića i do tzv. atrofije, gdje mišić postepeno gubi svoju aktivnost i gdje pritom dolazi do kompenzacije funkcije, pa funkciju određenog deficitarnog mišića preuzima neki drugi mišić ili mišićna grupa i tako dolazi do još većeg oštećenja već povređenog zgloba i do gubitka njegove osnovne funkcije.

Doskok obično nije na puno stopalo i u potpuno uspravnom stavu sa koljenom u punoj ekstenziji, nego u blagoj fleksiji. Zatim, naglo zaustavljanje na mjestu u jednom koraku (ekscentrična kontrakcija kvadricepsa) umjesto sa više kraćih koraka uz fleksiju koljena. Često je i naglo mijenjanje smjera sa koljenom u valgus položaju sa fiksiranim stopalom, umjesto da se pokret vrši polukružnom kretnjom sa flektiranim koljenom. Dominacija kvadricepsa je termin koji opisuje neravnotežu između snage ekstenzora koljena i fleksora kao i redosljeda aktivacije i koordinacije istih. Dominacija kvadricepsa pri doskoku u skoro potpunoj ekstenziji uzrokuje veće opterećenje na ACL (Burnham & Wright, 2017). Naime, vježbom određenog pokreta koljena dolazi do povećanja učinkovitosti samog koljena smanjenjem koaktivacije mišića antagonista (čime se povećava maksimalni obrtni moment sile koje koljeno može proizvesti). Pri doskoku, kao rizični faktori (nezavisni prediktori rizika) nađeni su i povećani abdukcioni ugao koljena ( $8^\circ$ ), veći abdukcioni moment koljena ( $2,5\times$ veći) i veća reakcija površine podloge (20%).

U pokretu promjene smjera adukcija kuka dovodi do povećane abdukcije koljena (Kaeding et al., 2017).

Zadovoljavajuća snaga i pravilan odnos snage među mišićima osiguravaju pravilan rad i stabilnost zglobova i cijelog tijela, ali i očuvanje hrskavice i ligamenata od prekomernog trošenja, prenaprezanja i oštećenja. Nedovoljna snaga ili poremećen odnos snaga među mišićnim grupama koje pokreću pojedine dijelove tijela uzrokuje otežano kretanje, preopterećenje zglobnih hrskavica i ligamenata, artrozu, bol i nepokretljivost zgloba, često i cijelog tijela. Bez obzira na uzroke smanjenja mišićne snage, u svim slučajevima tretman je usmjeren na mobilisanje, aktiviranje i sistematsko treniranje motornih jedinica koje se mogu aktivirati u kontrakciji.

Funkcionalnim treningom koji se fokusira na jačanje zadnje lože tako možemo poboljšati valgus kontrolu koljena i smanjiti uzrok dominacije kvadricepsa koji su pronađeni kod žena. Jačanjem glutealnih mišića možemo zaštititi koljeno od valgusa zbog toga što m. gluteus medius drži kuk u abdukciji pri doskoku i pokretima nagle promjene smjera (Burnham & Wright, 2017). Zbog unutrašnje rotacije kuka može postojati valgus koljena, a unutrašnja rotacija tibije i prekomjerna pronacija stopala uzrokuju značajno povećanje napetosti ACL (Kaeding, 2017; Burnham & Wright, 2017). Uspravan stav tijela koji je takođe češći kod žena poboljšava biomehničke uslove pod kojima djeluje kvadriceps, a mišiće zadnje lože stavlja u biomehnički lošiji položaj jer oni tek u flektiranom koljenu djelotvorno povlače tibiju nazad i na taj način predstavljaju zaštitu za ACL. Ako bi ove promjene spojili u jednu ravan, tipična nekontaktna povreda ACL kod sportistkinja pojavila bi se pri doskoku sa kukom u blagoj ekstenziji i unutrašnjoj rotaciji, koljenom skoro potpuno ekstenziranom u valgusu sa unutrašnjom rotacijom tibije i ukopanim stopalom. To je česta povreda kod doskoka nakon šuta u košarci. (Kaeding et al., 2017; McCarty et al., 2018). Anatomska konfiguracija kostiju kao faktor rizika takođe može biti od značaja za povredu, a to su: manja interkondilarna širina femura i veći zadnji nagib lateralnog dijela tibije (Burnham i Wright, 2017). Pacijenti koji su već imali povrede ACL i imali su rekonstrukciju prednjeg ukrštenog ligamenta imaju značajno povećan rizik od ponovne povrede. Vraćanje u trenažni proces sporta sa visokim nivoom fizičkih zahtjeva je veliki rizični faktor za ponovnu rupuru ACL (Kaeding et al., 2017). Budući da je značajni postotak povreda ACL uzrokovan nekontaktnim mehanizmima, ponovljenim biomehničkim stresom koljena uzrokovanog deficitom neuromuskularne koordinacije natkoljenih mišića, potrebno je u trenažnom procesu

dodati preventivne vježbe kojima se može smanjiti incidenca ove povrede, naročito ako se uvedu u ranom razvoju sportiste, prije nego što sportista razvije nepravilne, odnosno patološke obrasce i kinematiku (Burnham i Wright, 2017). Ispostavilo se da snažni i fleksibilni mišići natkoljenice ipak nisu dovoljni u sprečavanju pojave povrede ACL, već se ovi mišići, koje još nazivamo i stabilizatorima koljena moraju aktivirati u pravom trenutku. Zato je uz treninge snage potrebno uključiti i poseban trening koji povećava neuromišićnu kontrolu tijela preko treninga propriocepcije, ravnoteže i koordinacije. Trenažni programi bi trebali uključivati jačanje posturalne muskulature trupa, jačanje mišića zadnje lože natkoljenice i mišića kuka, funkcionalne vježbe za uspostavljanje mišićne kontrole, trening mišića potkoljenica (zbog osiguravanja kritične stabilnosti skočnog zgloba), vježbe posturalne kontrole zbog stabilizacije koljena prilikom naglog zaustavljanja, pliometrijske vježbe, kao i uvježbavanje pravilnih tehnika doskoka i apsorbovanja sila prilikom doskoka (Burnham & Wright, 2017).

Na osnovu dobijenih rezultata trenažni proces se može usmjeriti na ciljano poboljšanje sile natkoljene muskulature, kao i stabilizaciju koljenog zgloba, što znatno može poboljšati rezultate u određenim sportskim granama i smanjiti učestalost povređivanja.

### **1.3.2. Dijagnostički i terapijski tretman nakon povrede prednjeg ukrštenog ligamenta**

Liječenje rupture prednjeg ukrštenog ligamenta značajno je unapređeno posljednjih nekoliko decenija. Bolje razumijevanje biomehanike koljena i uloge prednjeg ukrštenog ligamenta u stabilnosti i kinematici zgloba, rezultiralo je značajno naprednijim tehnikama hirurške rekonstrukcije oštećenog ligamenta.

#### **1.3.2.1. Preoperativna rehabilitacija**

Poslije rupture prednjeg ukrštenog ligamenta, da bi se smanjile posljedice koje su vezane za progresivnu fiziološku disfunkciju koljena, moguće je primjeniti konzervativni ili operativni način liječenja, u zavisnosti od stepena rupture ligamenta, prisustva nestabilnosti koljena i mogućnosti učešća u fizičkim aktivnostima.

Konzervativno liječenje, koje podrazumijeva dobro rukovođenu i doziranu fizikalnu terapiju uz dodatak jačanja natkoljenih mišića (dinamičkih stabilizatora koljena), obično se primjenjuje kod aktivnih sportista koji su u stanju da nastave učešće u takmičarskim aktivnostima bez potrebe za operativnim liječenjem (Carter et al., 2020). Drugi stepen povrede podrazumijeva prekid

kontinuiteta većeg broja fibrila ligamenta, narušena je funkcije i adekvatna reakcije struktura zgloba, ali i dalje ne postoji nestabilnost. Kod ovakve povrede, da bi oštećeni fibrili dobili šansu za reparaciju, nužna je primjena natkoljene imobilizacije sa ili bez obuhvatanja stopala, u trajanju od četiri do šest sedmica. Teško je polemisati o tome da li je bolje konzervativno ili hirurško liječenje povreda prednjeg ukrštenog ligamenta. Postoje oprečne tvrdnje i nekih autora, gdje vidimo da je nekad konzervativno liječenje u prednosti kada je u pitanju povratak sportu u što skorijem roku, s druge strane postoje dokazane činjenice da operativno liječenje rupture (a naročito totalne rupture) predstavlja jedino moguće rješenje, a da je povratak sportu takođe brži nego da je nastavljeno sa konzervativnim liječenjem. Najteža komplikacija kod kasno dijagnostikovanih povreda prednjeg ukrštenog ligamenata i neadekvatnog liječenja (konzervativnog), javlja se nestabilnost koljena (bilo da je subjektivna ili objektivno detektovana) a ona uz bolove i povremene izlive u koljeno znatno komplikuje obavljanje svakodnevnih fizičkih aktivnosti. Posebno je važno napomenuti da je aktivno bavljenje sportom gotovo nemoguće, zbog nemogućnosti izvođenja odskoka i doskoka, trčanja sa promjenama pravca, pa u nekim slučajevima i pravolinijskog trčanja.

### **1.3.2.2. Postoperativna rehabilitacija**

Kvalitetna postoperativna rehabilitacija je neophodna za uspješan ishod rekonstrukcije. Trenutni trend u rehabilitaciji nakon rekonstrukcije ACL je tzv. „ubrzan protokol”. Upotreba protokola ubrzane rehabilitaciji koja se poklapa sa hirurškim tehnikom ima zadatak da u postoperativnom ishodu postigne takav funkcionalni oporavak pacijenata koji ga vraća na nivo prije povrede.

Ipak, i pored velikog napretka u operativnom pristupu, cjelokupan ishod liječenja ove povrede zavisi od rehabilitacionih procedura koje je neophodno sprovesti nakon rekonstrukcije, uz intenzivan i individualizovan pristup. Iako brojni specifični aspekti rehabilitacionih protokola još uvijek nisu precizno definisani, uopšteno je prihvaćen značaj intenzivne rehabilitacije za oporavak zglobne pokretljivosti, neuromišićne funkcije (mišićne jačine, snage i dr.) i kontrole operisane noge, kao preduslov za što raniji povratak sportu i profesionalnim aktivnostima (Łyp et al., 2018). U Zavodu se koristi protokol po Strobelu, ali se insistira na individualnom pristupu svakom pacijentu (Heitkamp, 2020; Diermeier, 2020). Ciljevi postoperativne rehabilitacije usmjereni su ka obnavljanju morfologije zgloba koljena i jačanju aktivnih i pasivnih stabilizatora radi postizanja statičke i dinamičke stabilnosti koljena, i omogućavanja što ranijeg povratka svakodnevnim aktivnostima i sportu. Većina nedoumica i specifičnosti savremenog programa

rehabilitacije nakon rekonstrukcije ACL se odnose na pronalaženje efikasnih metoda treninga, čiji je cilj što brže obnavljanje neuromišićne funkcije mišića natkoljenice. Time se značajno utiče i na načine praćenja oporavka funkcije tih mišića, kao i na unapređenje testova za procjenu jačine mišića. Sve navedeno samo po sebi zahtijeva dalja istraživanja. Nadamo se da ćemo ovim istraživanjem doprinijeti razvoju protokola za rehabilitaciju nakon operacije prednjeg ukrštenog ligamenta.

#### **1.4. Izokinetika**

Savremeni trenažni proces danas je nezamisliv bez kvalitetne dijagnostike treniranosti sportista. Na taj način fizioterapeut ili sportski stručnjak upoznaje se sa funkcionalnim statusom sportiste i spreman ulazi u trenažni proces sa njim.

Sam izraz izokinetika potiče od grčkog „το ίδιο” [iso] što znači isto / stalno i „κίνηση” [kinon] što znači kretanje / pokret i moglo bi se slobodno prevesti kao *kretanje fiksnom brzinom*.

Izokinetika je postupak mjerenja koji se još šezdesetih godina prošlog vijeka razvio kao koncept suprotan klasičnom načinu vježbanja, koji je koristio uvijek jednaku tj. konstantnu težinu, za razliku od izokinetike kojoj je glavna karakteristika konstantna ugaona brzina sa promijenjivim otporom. Koncept izokinetike osmislio je James Perrine, biomehanički inženjer iz New York-a te razvio spravu koja omogućava mjerenje snage obrtanja u zglobovima, koju stvara snaga mišića iz svih različitih uglova. Ako bi brzina segmenta prelazila unaprijed određenu brzinu sprave, elektronički kontrolisani mehanizam počeo bi povećavati otpor (akcija) proporcijalan snazi mišića pacijenta (reakcija). Parametri koji se dobiju kao rezultat vježbe na izokinetičkom aparatu, koriste se za identifikaciju i kvalifikaciju maksimalno funkcionalnog dinamičkog mišićno–skeletnog rezultata. Rizik opterećenja testiranog zgloba je minimalan, baš zato što se izokinetički otpor prilagođava snazi koju osoba / ispitanik može proizvesti. Upravo zbog tih razloga, dijagnostika na izokinetičkoj spravi predstavlja u današnje vrijeme početni i završni dio svakog rehabilitacionog procesa, a vježbanje na izokinetičkom aparatu postaje sastavni dio treninga zglobova i mišića.

Mjerenjem snage pojedinih mišićnih grupa koji pokreću određene dijelove ekstremiteta, dobijaju se parametri koji definišu taj pokret. Jedan od osnovnih parametara je, svakako, obrtni moment sile (torque), odnosno vrijednost sile koju testirani mišić razvija oko osovine rotacije tokom mjerenog pokreta.

Za vrijeme izvođenja pokreta razvija se konstantan obrtni moment sile, tako da parametar maksimalni obrtni moment sile (peak torque)- (Nm) predstavljaju maksimalnu vrijednost rotacione sile prednje lože (EXPTRQ) i zadnje lože natkoljenice (FLPTRQ) ostvarene u toku mjerenog pokreta pri određenoj ugaonoj brzini. Potrebno je napomenuti da je pri testiranju mišićne snage neophodno da jedan od parametara samog pokreta bude konstantan, što je upravo i moguće postići jedino izokinetičkim dinamometrom. Brzina kretanja nastavka za potkoljenicu (poluge) za koju je fiksiran ekstremitet za vrijeme testiranja, ili ugaona brzina (angular velocity) je konstantna i unaprijed određena. Izražava se u stepenima/sekundi ( $^{\circ}/s$ ), dok je ugao u odnosu na koji je postignut maksimalni obrtni moment sile (angle to peak torque) ( $^{\circ}$ ) i govori o eksplozivnoj komponenti mišićne akcije. Još su od značaja ostvareni ukupni mišićni rad (total work) prednje lože natkoljenice (EXTW) i zadnje lože natkoljenice (FLTW) u toku vremena za koji se izvodi pokret i izražava se u džulima (J), te ukupna snaga snaga (power) mišića prednje lože natkoljenice (EXTP) i zadnje lože natkoljenice (FLTP), izražena u vatima (W). Iz ovih parametara izračunavaju se svi ostali, o čemu će biti više riječi u narenim poglavljima.

Izokinetika je metoda vježbanja mišića kod koje se odabire konstantna brzina pokreta, a otpor se prilagođava voljom osobe koja izvodi vježbu, dakle automatski. Postoje dvije osnovne primjene izokinetike, tj. u dijagnostici i u rehabilitaciji. Najvažnija primjenaje upravo u dijagnostici, jer svaka osoba ima jedinstvene izokinetičke parametre. U kompjuterski sistem se unose podaci (visina, starost, težina, pol, istorija fizičke aktivnosti, dominantnost ekstremiteta, dijagnoza i dr.), tako da se izokinetički parametri mogu porediti i sa svim ovim podacima. Nakon toga se izvodi izokinetički test koji se vrši pokretom određenog segmenta ekstremiteta ili trupa. Pomoću ličnih podataka i dobijenih rezultata računar vrši obradu, dajući detaljne podatke o tome u kakvom se stanju nalazi određeni segment lokomotornog sistema. Podaci prikupljeni na ovaj način mogu se koristiti za poređenje efekata terapijskih procedura kod rehabilitacije sportskih povreda, u ovom slučaju nakon operacije prednjeg ukrštenog ligamenta ali i za analizu efekata različitih trenažnih protokola. Glavne prednosti ove metode u odnosu na druge u evaluaciji funkcije lokomotornog sistema su efikasnost, pouzdanost, objektivnost i neinvazivnost.

Kao što vidimo, izokinetika ima značajnu ulogu u rehabilitaciji pacijenata nakon sportskih povreda. Primjena izokinetike se kroz istoriju mijenjala, pa je i interesovanje za istraživanjima iz ove oblasti variralo zadnjih tridesetak godina. Početkom šezdesetih godina prošlog vijeka, David Perrin je pojasnio prve fiziološke i biomehaničke osnove za primjenu izokinetike u rehabilitaciji,

a nastavio je da objavljuje radove na tu temu i kasnije. U ranim osamdesetim godinama dvadesetog vijeka izlazi i prva knjiga o primjeni izokinetike u rehabilitaciji koja se bazirala na pregledu objavljenih publikacija, dakle više na kliničkom iskustvu.

Funkcionalno izokinetičko testiranje na izokinetičkom dinamometru je jedan od najobjektivnijih postupaka za detaljnu dijagnostiku funkcija mišića i zglobova, jer osigurava detaljan uvid u stanje lokomotornog aparata svake osobe, uzimajući u obzir starost, pol, tjelesnu masu, visinu, nivo fizičke aktivnosti i druge parametre.

Izokinetička metoda omogućuje definisanje maksimalne sile u zavisnosti od ugla između segmenata (koljeno), odnos sile između agonista i antagonista, u ovom istraživanju se odnosi na prednju ložu natkoljenice-m. quadriceps i zadnju ložu natkoljenice-m. biceps femoris, što pozitivno korelira sa istraživanjem koje su objavili Śliwowski i sar. (2020).

#### **1.4.1. Izokinetička dinamometrija kao dijagnostika**

Izokinetička dinamometrija kao savremena medicinska dijagnostika predstavlja tehnološki izuzetno napredan postupak za evaluaciju relevantnih parametara koštano-mišićnog sistema. Ujedno, to je najbolji način da se odredi kakva je maksimalna snaga mišića, mišićna izdržljivost, koje su jake, a koje slabe tačke osoba koje se testiraju, bilo da se radi o aktivnim sportistima, povrijeđenim licima ili osobama nakon operacije pojedinih segmenata lokomotornog aparata.

Imajući u vidu da su izokinetički dinamometri konstruisani tako da se u kontrolisanim uslovima može procjenjivati funkcija velikog broja različitih mišićnih grupa, postali su sastavni dio procjene mišićne funkcije u procesima rehabilitacije nakon povreda lokomotornog aparata, a naročito u praćenju rehabilitacije poslije operacija koljena.

Uzimajući u obzir specifičnosti povrede i operacije (rekonstrukcije) prednjeg ukrštenog ligamenta, kontrola snage natkoljene muskulature je od veoma velikog značaja, kako u prevenciji povreda, tako i u samom kreiranju trenažnog procesa u svrhu rehabilitacije.

Izokinetička dijagnostika predstavlja izrazito napredan tehnološki postupak za evaluaciju traženih parametara mišićno-koštanog sistema. Izokinetički uređaj omogućava testiranoj osobi razvijanje maksimalne sile tokom cijelog obima pokreta uz prilagođavanje otpora na bol ili zamor, zbog čega se prilikom mjerenja ne može pojaviti preopterećenje mišića ili zglobnih struktura.

Aparat za izokinetičku dijagnostiku omogućava testiranje osobe u dinamičkim ali izuzetno sigurnim uslovima rada (Slika 5.). Izokinetička dijagnostika se koristi u kineziterapiji u svrhu



evaluacije inicijalnog stanja, evaluacije trenutnih efekata provednog modaliteta rada i evaluacije dugoročnih efekata kineziterapijskog programa vježbanja. Osim toga, kada je riječ o prevenciji sportskih povreda, upotreba izokinetičkog aparata omogućava evaluaciju uspješnosti preventivnih procesa kondicione pripreme, kao i longitudinalno praćenje i ispitivanje zajedničkih karakteristika određene grupe sportista. Ovo je od velike važnosti za pravovremeno otkrivanje mišićnih disbalansa karakterističnih za neke sportiste koji su nastali kao posljedica dugogodišnjeg bavljenja datim aktivnostima. Takvi podaci su veoma korisni za planiranje i programiranje preventivnih programa vježbanja specifičnih grupa sportista i osoba na rehabilitaciji, ali se takođe mogu uzeti u obzir prilikom odlučivanja o povratku sportista ili sportskih rekreativaca redovnom treningu i takmičenjima nakon završetka rehabilitacionog tretmana.

Izokinetički dinamometar predstavlja aparaturu koja u toku svog rada aktivno učestvuje u izvođenju pokreta ispitivane osobe. Aparatura se sastoji od tri glavna dijela: sjedište (stolica), glava dinamometra i kompjuterska jedinice za prijem i obradu podataka. Sjedište je tako dizajnirano da omogućava fiksiranje ispitanika trakama, čime se omogućava izolovanje mišićne akcije samo odgovarajuće grupe agonista i antagonista pojedinih zglobova (Slika 5.). Razvojem kompjuterske tehnologije, omogućen je i razvoj savremenih medicinskih uređaja koji su osposobljeni za obradu velikog broja ulaznih informacija, koje se uz pomoć specijalizovanih softvera prerađuju i pružaju informacije od značaja za dijagnostiku i terapiju pacijenata. Izokinetički aparat omogućava testiranoj osobi razvijanje maksimalne sile tokom cijelog obima pokreta uz prilagođavanje otpora na bol ili zamor, zbog čega se prilikom mjerenja ne može pojaviti preopterećenje mišića ili zglobnih struktura. Ovo je pogotovo važno za fizioterapiju u okviru sportske medicine ili kineziterapiju kod funkcionalne rehabilitacije sportskih povreda, jer takav sistem testiranja omogućava mjerenje povrijeđenog sportiste bez rizika preopterećenja ili ponovnog povređivanja.

Glavna zamjerka izokinetičkom testiranju je to što se mjerenje odvija u uslovima otvorenog kinetičkog lanca, dok su realne sportske situacije najčešće takve da se naizmjenično smjenjuju momenti otvorenog i zatvorenog kinetičkog lanca. Taj problem je moguće riješiti upotrebom specijalnih nastavaka koji omogućuju testiranje u uslovima zatvorenog kinetičkog lanca.



**Slika 5. Izokinetički dinamometar Biodex 4 Pro.** (iz arhive autora S.N.)

Kod izokinetičkog dinamometra informacije o kretanju i aktivnosti mišića stižu od glave dinamometra, koja predstavlja centralni deo dinamometra. U glavi dinamometra su smješteni senzori i servomotori, dok od glave kreće poluga dinamometra sa kojom se uz pomoć specijalnih nastavaka za svaki segment povezuje ispitanik pričvršćivanjem testiranog ekstremiteta. Mišićna akcija ispitivanog ekstremiteta ostvaruje ugaono kretanje čija je osovina podidarna sa osovinom glave dinamometra. U toku rada u mišiću se indukuje odgovarajuća napetost, tj. mišićna sila. Usljed povezanosti izokinetičkog uređaja sa računarom u kome su pohranjeni svi podaci o ispitivanoj osobi, izokinetičko testiranje omogućava egzaktno bilježenje promjena pod uticajem kineziterapijskog programa vježbanja u trenutku izvođenja testa, kao i momentalno poređenje rezultata testirane osobe sa očekivanom normom (normativnim vrijednostima za odgovarajuće parametre).

Izokinetičko testiranje je dakle ispitivanje izokinetičkih funkcionalnih parametara mišića u aktivnom pokretu i u realnom vremenu u odnosu na uzrast, pol, tjelesnu težinu, dijagnozu, dominantnost ekstremiteta, svakodnevnu fizičku aktivnost i individualne potrebe. Izokinetika se primjenjuje u svrhu mjerenja–dijagnostike, vježbanja–treninga i rehabilitacije. Ono što je bitno za izokinetički pokret je to da osoba koja izvodi pokret nikada nije suprostavljena otporu koji ne može da savlada, jer je otpor cijelo vrijeme jednak primjenjenoj sili. To znači da je izokinetički trening siguran (Mikić i sar., 2018).

Mjerenjem snage pojedinih mišićnih grupa koji pokreću određene dijelove ekstremiteta, dobijaju se parametri koji definišu taj pokret. Jedan od osnovnih parametara je, svakako, obrtni moment sile (torque), odnosno vrijednost sile koju testirani mišić razvija oko ose rotacije tokom mjerenog pokreta. U toku izvođenja pokreta ne razvija se konstantan obrtni moment sile, tako da parametar srednja vrijednost momenta sile (Nm)-(mean torque) predstavlja prosječnu vrijednost rotacione sile ostvarene u toku mjerenog pokreta za određenu vrijednost ugaone brzine. Maksimalni obrtni moment sile-peak torque (Nm) predstavlja maksimalnu vrijednost rotacione sile ostvarene u toku mjerenja pokreta pri određenoj ugaonoj brzini.

Rezultati izokinetičkog testiranja nam pružaju egzaktnu uvid u omjerni odnos jačine mišića agonista i antagonista jednog ekstremiteta, te mogućnost bilateralnog poređenja istih mišićnih grupa dva ekstremiteta. Pošto se rezultati osim numerički, prikazuju i grafički, na dobijenoj krivulji moguće je vidjeti položaj testiranog dijela tijela (izraženog u stepenima) u kome mišić pokazuje najveću moguću silu. Takav podatak nam, pored poznavanja očekivanog stepena indukcije maksimalne mišićne sile, pruža informaciju i o eksplozivnoj snazi testiranih mišića.

Pored toga, na osnovu zabilježenih funkcija, na izokinetičkom aparatu se mogu očitavati odgovarajuće maksimalne vrijednosti različitih parametara, kao i vremenski indeksi. Takođe, veoma je bitno poređenje rezultata agonista i antagonista, kao i rezultata kontralateralnih ekstremiteta.

Iako je izokinetička dijagnostika tehnološki vrlo napredna, ona ne može i ne smije potpuno zamjeniti dosadašnje standardne mjerne postupke u kineziterapiji kao što su specifične medicinske pretrage, mjerenja obima pokreta i obima ekstremiteta, manuelni mišićni test, te bazične i specifične funkcionalno-motoričke testove koji pružaju potpunije informacije o mišićnoj efikasnosti u svakodnevnim fizičkim aktivnostima ili sportskim uslovima.

## 2. CILJ ISTRAŽIVANJA

Sve veći nivo raznih poslovnih i privatnih dnevnih aktivnosti savremenog načina života, kao i intenziviranje svih oblika saobraćaja, ali i učešće u mnogobrojnim vidovima sportsko–rekreativnih aktivnosti, doveli su do sveukupnog povećanja traumatizma. Profesionalizacija sporta je tokom zadnjih decenija učinila da se veliki klubovi suočavaju sa ogromnim ekonomskim gubicima usljed gubitka igrača nakon ove povrede. Problem rupture prednjeg ukrštenog ligamenta je tako postao aktuelan usljed ekspanzije profesionalnog sporta u svijetu i povećanja ekstremnih fizičkih zahtjeva koji se stavljaju pred igrače, ali i kod nesportske populacije. Veliki dio ruptura prednjeg ukrštenog ligamenta završi hirurškim liječenjem, a najčešća metoda je rekonstrukcija u kojoj se koriste kalemovi tetiva određenih mišića, a u ovom istraživanju je se radilo o rekonstrukciji metodom hamstring grafta.

Neposredno nakon operacije dolazi do hipotrofije kvadricepsa za 30% i zadržava se do šestog mjeseca nakon operacije, a deficit snage mišića zadnje lože natkoljenica tj. fleksora koljena povrijeđene noge kreće od 10-30% tri mjeseca nakon operacije. Hipotrofija natkoljenih mišića nastaje naglo nakon povrede prednjeg ukrštenog ligamenta i izražena je u ranom postoperativnom periodu nakon rekonstrukcije. Period od prva tri mjeseca je najkritičniji zbog fiziologije zarastanja samog grafta.

Cilj ovog istraživanja predstavlja analiza i komparacija ishoda rehabilitacije kod pacijenata tri mjeseca nakon rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta poslije završetka šestosedmične rehabilitacije na dva različita načina–izokinetičko i izotoničko vježbanje.

### 3. OSNOVNE HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA

Uzimajući u obzir prethodna iskustva i cilj istraživanja, kao i metodološki pristup u ovom istraživanju, može se postaviti osnovna hipoteza.

**H<sub>0</sub>** Ne postoji razlika između ispitivanih grupa u odnosu na:

- 1) izokinetičke parametre ekstenzora na inicijalnom mjerenju,
- 2) izokinetičke parametre fleksora na inicijalnom mjerenju,
- 3) izokinetički parametar odnos prosječnog obrtnog momenta sile agonista i antagonista–AGANR na inicijalnom mjerenju,
- 4) izokinetičke parametre ekstenzora na kontrolnom mjerenju,
- 5) izokinetičke parametre fleksora na kontrolnom mjerenju,
- 6) izokinetički parametar odnos prosječnog obrtnog momenta sile agonista i antagonista–AGANR na kontrolnom mjerenju,
- 7) izokinetičke parametre ekstenzora na finalnom mjerenju,
- 8) izokinetičke parametre fleksora na finalnom mjerenju i
- 9) izokinetički parametar odnos prosječnog obrtnog momenta sile agonista i antagonista–AGANR na finalnom mjerenju.

**A<sub>0</sub>** Postoji razlika između ispitivanih grupa, u odnosu na:

- 1) izokinetičke parametre ekstenzora na inicijalnom mjerenju,
- 2) izokinetičke parametre fleksora na inicijalnom mjerenju,
- 3) izokinetički parametar odnos prosječnog obrtnog momenta sile agonista i antagonista–AGANR na inicijalnom mjerenju,
- 4) izokinetičke parametre ekstenzora na kontrolnom mjerenju,
- 5) izokinetičke parametre fleksora na kontrolnom mjerenju,
- 6) izokinetički parametar odnos prosječnog obrtnog momenta sile agonista i antagonista–AGANR na kontrolnom mjerenju,
- 7) izokinetičke parametre ekstenzora na finalnom mjerenju,
- 8) izokinetičke parametre fleksora na finalnom mjerenju i
- 9) izokinetički parametar odnos prosječnog obrtnog momenta sile agonista i antagonista–AGANR na finalnom mjerenju.

## 4. METOD RADA

### 4.1. Opis i dizajn istraživanja

Istraživanje je provedeno na Odjeljenju VII (Banja Slatina), Zavoda za fizikalnu medicinu i rehabilitaciju „Dr Miroslav Zotović” u Banjaluci. Urađeno je retrospektivno, eksperimentalno, longitudinalno i vremenski određeno (šest sedmica) istraživanje na ispitanicima, odnosno pacijentima Zavoda koji su operisani od strane istog hirurškog tima, istom metodom i rehabilitovani u Zavodu u periodu 2019. do 2022. god.

### 4.2. Uzorak ispitanika

Analiziran je uzorak od 180 ispitanika podijeljen u dva subuzorka u odnosu na vrstu rehabilitacionog tretmana: A-izokinetička (90) i B-izotonička (90).

Nakon tri mjeseca od operacije birani su pacijenti koji imaju pun obim pokreta u operisanom koljenu i nivo snage mišića natkoljenice koji mu omogućava pravilan hod, po mogućnosti i lagano pravolinijsko trčanje i skokove (Rambaud et al., 2018). U ovom periodu vježbe snage se provode u izokinetičkom kabinetu i trenažnoj sali (teretani), što uz kontinuirani nadzor fizioterapeuta i ostale fizikalne procedure čini cjelinu rehabilitacije pacijenata.

I dalje je jedan je od primarnih rehabilitacionih ciljeva u ovoj fazi (12-16 sedmica nakon operacije) održavanje već postignutog punog obima pokreta u operisanom koljenu. Sada je graft stabilan, tako da se slobodno može pojačati intenzitet vježbi jačanja natkoljene muskulature. Izbjegava se pojava bola i otoka jer je to znak preopterećenja, a ovaj problem se prevezilazi modifikovanjem intenziteta vježbi jačanja.

**Ispitivanu grupu A-izokinetičku** sačinjavali su pacijenti koji su se nalazili na stacionarnom liječenju ili u dnevnoj bolnici na Odjeljenju VII Zavoda, 90 muških ispitanika, prosječne starosti  $28.54 \pm 4.44$  godina. Kod njih je rehabilitacioni protokol bio zasnovan na standardnim vježbama za povećanje pokretljivosti koljena, kao i vježbama stabilnosti, ali je pored toga još dodato i izokinetičko vježbanje jačanja natkoljenih mišića, s obzirom da su pacijenti u stanju da redovno, svakodnevno dolaze na izokinetički trening pet puta sedmično.

**Ispitivanu grupu B-izotoničku** (klasičnu) sačinjavalo je 90 ispitanika, prosječne starosti  $27.93 \pm 4.27$  godina. Činili su ih pacijenti koji su u Zavodu provodili medicinsku rehabilitaciju sa identičnim kineziterapijskim protokolom kao i pacijenti iz grupe A, samo što iz raznih opravdanih razloga (nisu stacionirani na Odjeljenju VII, nisu u mogućnosti da svakodnevno

dolaze u Dnevnu bolnicu ili kao eksterni pacijenti) nisu mogli da dolaze redovno na izokinetičke treninge, te im se za dodatno jačanje natkoljene muskulature primjenjivao program vježbanja kojim dominiraju vježbe sa dodatnim otporom, tj. izotoničko vježbanje u trenažnoj sali (teretani) Odjeljenja VII ili u nadležnim lokalnim Ustanovama fizikalne medicine i rehabilitacije (Službe za fizikalnu i sportsku medicinu Domova Zdravlja i sl.). Nakon tri i šest sedmica rehabilitacionog tretmana rađeni su kontrolni testovi istim načinom i prateći iste parametre kao i na inicijalnom testu.

Sve testove je radio isti fizioterapeut, tj. autor ovog istraživanja.

Ispitanici su blagovremeno upoznati sa svrhom i pojedinostima o istraživanju i potpisali su Saglasnost za učešće u istraživanju.

Za ovo istraživanje posjedujemo Odobrenje Etičkog Odbora Zavoda za fizikalnu medicinu i rehabilitaciju „Dr Miroslav Zotović” Banjaluka, čije je Rješenje priloženo prilikom predaje rukopisa doktorske disertacije Komisiji Fakulteta i Univerziteta i nalazi se u Prilozima.

#### **4.2.1. Kriterijumi za uključivanje u istraživanje**

Odabirani su pacijenti koji ispunjavaju sljedeće uslove:

- da je pacijent bio primljen na Odjeljenje za ortopedsku hirurgiju i traumatologiju Zavoda za fizikalnu medicinu i rehabilitaciju „Dr Miroslav Zotović” u Banjaluci radi operativnog liječenja prekida prednjeg ukrštenog ligamenta koljena najmanje tri i najviše četiri mjeseca prije dolaska na Odjeljenje VII Zavoda na rehabilitaciju;
- da je prošlo između četiri i pet mjeseci od operacije do prvog (inicijalnog) mjerenja (izokinetičkog testiranja);
- da je upućen od nadležnih ljekara na pregled u Zavod za fizikalnu medicinu i rehabilitaciju „Dr Miroslav Zotović” i nalazili su se na rehabilitaciji na Odjeljenju VII Zavoda (kao stacionarni pacijenti, eksterni pacijenti ili pacijenti u Dnevnoj bolnici) ili su zbog raznih razloga (udaljenost mjesta stanovanja ili drugi) poslani na rehabilitaciju u druge zdravstvene Ustanove (Odjeljenja za fizikalnu medicinu ili sportsku medicinu Domova Zdravlja ili slično);
- da je potpisao/la informisani pristanak za uključivanje;
- da je starosne dobi od 20 do 40 godina;
- da se rekreativno bavi fizičkom aktivnošću umjerenog intenziteta;
- da je fleksija zgloba koljena najmanje 100°, a ekstenzija 0°;
- studija je izvedena u skladu sa etičkim standardima Helsinške deklaracije.

### 4.3. Uzorak mjernih instrumenata i testova

Za potrebe ekperimenta, kako bi se procijenili efekti izokinetičkog treninga u odnosu na efekte izotoničnog treninga na mišićnu snagu korišćeni su mjerni instrumenti za:

- Procjenu mišićne snage prednje lože natkoljenice (ekstenzori koljena),
- Procjenu mišićne snage zadnje lože natkoljenice (fleksori koljena),
- Međusobni odnos prednje i zadnje lože natkoljenice (odnos agonista i antagonista).

Mjerni instrumenti za procjenu mišićne snage prednje lože natkoljenice (ekstenzori koljena):

- maksimalni obrtni moment sile ekstenzora (Nm) operisane noge–EXPTRQ,
- prosječna snaga ekstenzora (W) operisane noge–EXAVP,
- ukupni rad ekstenzora (J) operisane noge–EXTW,
- deficit momenta sile ekstenzora (%) operisane noge u odnosu na neoperisanu nogu –EXDEF.

Mjerni instrumenti za procjenu mišićne snage zadnje lože natkoljenice (fleksori koljena):

- maksimalni obrtni moment sile fleksora (Nm) operisane noge–FLPTRQ,
- prosječna snaga fleksora (W) operisane noge–FLAVP,
- ukupni rad fleksora (J) operisane noge–FLTW,
- deficit momenta sile fleksora (%) operisane noge u odnosu na neoperisanu nogu –FLDEF.

Mjerni instrumenti za procjenu odnosa prednje i zadnje lože natkoljenice (agonista i antagonista):

- odnos prosječnog obrtnog momenta sile agonista i antagonista (%)–AGANR.

### 4.4. Aparatura

Sva mjerenja i sve rehabilitacione terapijske procedure, uključujući sve procedure koje su rađene u ovom istraživanju provodile su se u Zavodu za fizikalnu medicinu i rehabilitaciju „Dr Miroslav Zotović” Banjaluka, na Odjeljenju VII koje se nalazi na lokaciji Banja Slatina kod Banjaluke. Aparat za izokinetičko testiranje i vježbanje koristio se kod svih ispitanika obje ispitivane grupe za testiranje, a za vježbanje samo u grupi A (izokinetičkoj). Statički bicikl korišćen je u obe ispitivane grupe. Aparat za izotoničko vježbanje natkoljenih mišića je korišćen za izotoničko vježbanje u grupi B (izotoničkoj). Korišćena aparatura, za potrebe ovog istraživanja, je vlasništvo Zavoda za fizikalnu medicinu i rehabilitaciju „Dr Miroslav Zotović” Banjaluka.



#### **4.4.1. Statički bicikl-ergocikl**

Za zagrijavanje koje je rađeno prije testiranja i prije vježbanja u obe ispitivane grupe, korišćen je statički bicikl (Kettler Axiom indoor exercise and training bike), koji još nazivamo i ergocikl, jer je uz pomoć mikro-računarskog sistema koji je povezan sa mehanizmom bicikla i ekranom, omogućeno praćenje nekih medicinskih parametara kao što je puls (broj otkucaja srca/min.), ali i parametara koji su vezani za određivanje dinamike vježbanja kao što su: vrijeme (min.), brzina (km/h), opterećenje (W). Proizvođač je Kettler, Merse Road, North Moons Moat, Redditch, Worcestershire, B98 9HL, Velika Britanija.

#### **4.4.2. Aparat za izokinetičko testiranje i vježbanje**

Za izokinetičko testiranje je korišćen kompjuterizovani dinamometar Biodex™ Multi Joint System 4 Pro proizvođača Biodex Medical Systems, Inc., 20 Ramsay Road, Shirley, New York, 11967-4704, Sjedinjene Američke Države.

Dinamometar ima kontrolisanu brzinu od 10°/s do 500°/s, nezavisno, odvojeno prilagođavanje za agonist/antagonist pokrete, minimalni interval povećavanja od 1°/s, podešavanje obima pokreta (ROM) sa mehaničkim ili digitalnim zaustavljanjem u rasponima od 0°-360° (koljeno 0°-120°) uz minimalni interval mehaničkog prilagođavanja od 10°, minimalni interval elektronskog prilagođavanja od 1°, rezoluciju momenta opterećenja od 1Nm, rezoluciju goniometra od 1°, a maksimalni moment opterećenja je 680Nm.

Program za rukovođenje testiranjem, vježbom, arhivom i drugim važnim podacima je kreiran i razvijen u „Biodex Advantage BX Software®“ okruženju.

Rezultati i vizuelne bio-povratne informacije se prikazuju na monitoru instaliranom na dijagnostičkoj konzoli, uz mogućnost pohranjivanja u bazi podataka.

Referentni vodič u računaru za ovo istraživanje je bila izokinetička jedinica za test ili vježbanje, podjedinica-koljeno.

#### **4.4.3. Aparat za izotoničko vježbanje natkoljene muskulature**

Za izotoničko vježbanje u ispitivanoj grupi B-izotoničkoj korišćen je aparat EN Dynamic za jačanje mišića natkoljenica. Proizveden je 2015. Proizvođač je Enraf-Nonius B.V. Vereseweg 127, 3047 AT Rotterdam, the Netherlands. Sastoji se iz sjedala, nastavka za noge prenosnika opterećenja koji je povezan sa pneumatičkim kompresorom i displeja na kojem se vrše podešavanja opterećenja i broja ponavljanja. Posjeduje eksterni niskonaponski adapter za struju i

interno napajanje strujom sa strujnim kablom. Obim sile/otpora za vježbanje je 0-200×10N (kgf), dimenzije: 140×90×140cm, težina: 105kg.

Sjedište je u obliku stolice koja se može podešavati u svim smjerovima. Nagib sjedišta se također može prilagođavati, a posjeduje i poseban dodatak za potporu u lumbalnom dijelu kičme. Nastavak za noge je spojen sa obrtnim mehanizmom putem kojeg se indukuje sila koja predstavlja otpor prilikom izotoničkog vježbanja. Na nastavku se nalaze spužvom presvučeni valjci koji se postavljaju iznad gležnja sa prednje strane za vježbe ekstenzije, odnosno sa zadnje strane za vježbe fleksije koljena. Moguće je vježbanje unilateralno i bilateralno („Enraf Nonius“, bez dat.).

## **4.5. Dizajn studije**

### **4.5.1. Protokol izokinetičkog testiranja**

Tri mjeseca nakon operacije (12-16 sedmica) snaga mišića natkoljenice, tj. ekstenzora koljena (prednja loža) i fleksora koljena (zadnja loža) je uglavnom oko 70% snage zdravog ekstremiteta. To se na izokinetičkom testu očituje tako što se primjećuje deficit obrtnog momenta sile fleksora od oko 30%. U ovom periodu postoperativne rehabilitacije toleriše se do 15% deficita obrtnog momenta sile natkoljenih mišića (prednje i zadnje lože), što bi i bio cilj rehabilitacionog tretmana. Međutim, faktičko stanje u ovom periodu rehabilitacije je drastično drugačije, tako da imamo i preko 50% deficita. Svaka razlika iznad 15% deficita maksimalnog obrtnog momenta sile operisanog ekstremiteta u odnosu na zdravi predstavlja asimetriju u snazi ekstremiteta. Cilj je bio da taj deficit maksimalnog obrtnog momenta sile ekstenzora i fleksora koljena (EXDEF i FLDEF) svedemo na ispod 15% u šest sedmica rehabilitacionog tretmana. To bi istovremeno odgovaralo očekivanom stanju mišićne snage natkoljenica od 22 sedmice nakon operativnog zahvata.

Imajući u vidu činjenicu da je prošao proces ligamentizacije grafta i da je evidentna stabilnost grafta, u cilju procjene mišićne snage tj. određivanja bilateralne razlike u jačini i snazi mišića primjenjivali smo izokinetičko testiranje natkoljene muskulature (Pelegrinelli et al., 2018). Ovo testiranje se, inače, primjenjuje radi planiranja ciljanog treninga mišićne snage. Dakle, izokinetičko testiranje i ciljani trening omogućavaju postizanje optimalnog rezultata liječenja i rehabilitacije pacijenata nakon rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta u za to predviđenom vremenu koje diktira fiziologija zarastanja grafta.

Nakon procjene bilateralne razlike u jačini i snazi prednje i zadnje lože natkoljenice provodi se ciljani izokinetički trening (grupa A) ili izotonični trening snage u teretani za iste mišićne grupe (grupa B) i vršili smo dalje praćenje napretka rehabilitacionog rezultata pomoću izokinetičkog testa.

Izokinetičko testiranje je rađeno svakom ispitaniku na početku istraživanja, nakon tri sedmice i nakon šest sedmica rehabilitacionog tretmana.

Zagrijavanje se vrši na statičkom biciklu (ergociklu) Kettler Axiom. Okretanjem pedala prema naprijed vrši se priprema za test (zagrijavanje) u trajanju od 15 minuta, što se kontroliše na displeju pri brzini od 20–30km/h, opterećenja između 50 i 70W, pređene dužine puta približno između 6,1–6,7km. Puls ispitanika je držan do nivoa kada se od 180 oduzme broj godina života ( $180 - \text{Age} \pm 20$ ), a očitavan je na displeju ergocikla. Broj okretaja u minuti je bio približno 65–80rep./min., što se takođe očitava na displeju. Veoma je važno da se zglob koljena prilikom okretanja pedala flektira do 90° ili čak malo više, a što je uslov za uključivanje u istraživanje. Vježba se prekida u slučaju bola ili bilo kakve nelagode u zglobu koljena.

Nakon kraćeg odmora od dva minuta slijedi dinamičko istežanje i prednje i zadnje lože natkoljenice obe noge, prvo operisane, zatim neoperisane. Dinamičko istežanje se vrši izvođenjem umjerenih vježbi u sagitalnoj ravni, sa pretklonima trupa i naizmjeničnim podizanjima nogu do visine karlice (antefleksija kuka) postepeno, bez jakih trzaja, do krajnje tačke fleksije koljena (za prednju ložu), odnosno do krajnje tačke anterofleksije kuka sa ekstendiranim koljenom uz postepene i lagane pokrete (za zadnju ložu). U krajnjim tačkama se zadržava 1–3 sekunde, zatim se vraća u početni položaj i ponavlja, te se sve ponavlja desetak puta. Dinamičko istežanje ne traje duže od pet minuta. Time se završava priprema za testiranje.

Testiranje je izvedeno prema standardnom protokolu, na identičan način svim ispitanicima u obe ispitivane grupe. Rađeno je na ugaonoj brzini od 60°/s (Pelegrielli, 2018). Prije svakog testiranja aparat je bio kalibrisan. Za vrijeme kalibracije pacijent ne smije biti na mjernoj stolici niti nastavci za mjerenje smiju biti postavljeni na glavu dinamometra. Nakon što Biodex System 4 Pro završi kalibraciju izokinetičkog dinamometra unosimo generalije pacijenta–ispitanika. Kada je završen unos osnovnih podataka, potvrdi se unos novog pacijenta i otvaramo opciju za biranje vrste i načina testa. Pošto su osnovni antropološki i ostali podaci preneseni u funkciju za testiranje, sada imamo spremne podatke o novom pacijentu koji su potrebni u programu radi raznih matematičkih operacija koje procesor vrši u svrhu izračunavanja parametara i postavljanja

referentnih vrijednosti na osnovu kojih se izračunavaju deficiti (DEF), odnosi agonista i antagonista (AGANR-u literaturi često predstavljen kao H/Q ratio) koje smo koristili kao izokinetičke parametre u ovom istraživanju. Odabiramo zglob koji želimo da testiramo, a to je koljeno. Odmah nakon toga biramo vrstu testa sa podvrstom za obostrano mjerenje. Mi smo birali na 60°/s. Zatim se bira režim rada, a rađeno je u koncentrično–koncentričnom režimu.

Sada imamo spreman Biodex Advantage sistem povezan sa dinamometrom i možemo pristupiti pozicioniranju ispitanika. Ispitanik je prošao mjerenje tjelesne visine i mase, zagrijan je na ergociklu, završio je dinamičko istežanje, te nakon kraćeg odmora od dvije-tri minute sjeda na stolicu aparata Biodex System 4 Pro. Ova stolica ima mogućnost podešavanja u svim smjerovima, tako da je moguće podesiti jako precizno i udobno za svakog ispitanika ponaosob, bez obzira na morfološke osobine ispitanika. Sam dinamometar se podešava na 90° rotacije, 0° nagiba, a visina se prilagodi ispitaniku i fiksira uz pomoć zavrtnja. Ispitanik se smješta u stolicu udobno, do kraja, tako da su donji i srednji dio leđa u potpunosti priljubljeni za naslon, a glava naslonjena na naslonjač koji se takođe može mehanički podesiti. Noge vise sa stolice, a granica prednje ivice stolice treba da bude oko 1 cm udaljena od zatkoljene jame. Zatim se uz pomoć traka pričvršćenih za postolje stolice vrši fiksiranje karlice, grudnog koša i natkoljenice. Ovdje smo bili jako oprezni kod fiksiranja grudnog koša da ne bi došlo do opstrukcije disanja (inspirijuma), tako da ispitanik prvo duboko udahne, pa sek onda pričvrste dvije ukrštene trake preko grudnog koša. Takođe, i kod fiksiranja natkoljenice, prvo ispitanik uradi statičku kontrakciju ekstenzora koljena, pa se onda pričvrsti traka oko distalnog dijela natkoljenice. Zatim slijedi određivanje ose pokreta u koljenom zglobu, koja odgovara projekciji zglobne pukotine koljena, odnosno centra zgloba. Povučte se prstima linija od donje ivice čašice (patella) unazad, sve do lateralnog kondila golenjače (condilus lateralis tibiae) i jedan prst prema gore se nalazi projekcija centra koljenog zgloba. On treba da se podudara sa centrom glave dinamometra, tako što se postavi jedan prst na glavu dinamometra, drugi na centar koljenog zgloba i moraju biti u istoj ravni. Ta ravan se koriguje pomjeranjem stolice u svim pravcima, kao i prilagođavanjem nastavka koji je podesiv prema dužini ekstremiteta. Takođe se može podešavati visina i blizina dinamometra. Kada je noga u potpunosti fiksirana i kada je podešena osovina pokreta, biramo opciju za postavljanje obima pokreta u koljenu. Obim pokreta koljena ispitivanog ekstremiteta iznosio je 60° (De Ste Croix et al., 2017). Početni položaj je bio 90° fleksije, i taj položaj označimo kao kao maksimalnu fleksiju, odnosno krajnji položaj prema nazad, a 30° fleksije kao

maksimalnu ekstenziju, odnosno krajnji položaj prema naprijed. Tako dobijemo ukupnu pokretljivost od 60°.

Neposredno prije izvođenja testa obavljena je kratka obuka ispitanika za pravilno izvođenje testa, koja obuhvata instruktazu pravilnih pokreta, zaštitu pacijenta prilikom neželjenih situacija (pojava bola, nelagodnosti, „žuljanja“ – trenja na mjestu gdje se pričvršćuje nastavak za donji dio potkoljenice ili pojasa za natkoljenicu, karlicu, grudni koš i sl.), te jasno predstavljanje ispitaniku šta se od njega traži i da od sebe pruži maksimum prilikom izvođenja testnih pokreta. Ispitanik u ruci ili pored ruke ima taster kojim može u svakom momentu da zaustavi test, ali i fizioterapeut ima pred sobom drugi taster kojim uvijek može da zaustavi dinamometar i oslobodi ispitanikovu nogu. Prilikom rada na ovom istraživanju nije bila nijedna takva situacija.

Kada je ispitanik razumio šta se od njega zahtijeva, pristupa se zagrijavanju na samom Biodex aparatu. Čim se startuje aparat, ispitanik izvodi pokrete ekstenzije i fleksije, ali postepeno, dok se adaptira i tek tada mu se sugerije da pokuša da radi pokrete što brže, dok ne dođe do zadate ugaone brzine (60°/s). Zatim se od ispitanika traži da uradi nekoliko maksimalnih pokreta, bez pauze između ekstenzije i fleksije, onako kako će raditi na testu. Kada ih ispitanik izvede, fizioterapeut prihvata metalni nastavak u blizini skočnog zgloba i svojom rukom vrši pokrete, na taj način relaksirajući ispitanika jer se nastavak kreće u naizmjeničnim smjerovima fleksija-ekstenzija, a pacijent opušta mišiće tako da se vrši pasivno istezanje koje je prijatno. Time se imitira proba, tako da sistem ne počinje sa testom dok god se glava dinamometra ne umiri. Čim ispitanik kaže da je spreman, fizioterapeut umiri potkoljeni nastavak u početnom položaju od 90° fleksije, sačeka se zvučni signal i test počinje. Ispitanik vrši pet uzastopnih pokreta ekstenzije i fleksije bez pauza između pokreta, maksimalno, što brže i što jače može. Za to vrijeme fizioterapeut glasno bodri ispitanika, dajući mu glasnu podršku, auditivnu i vizuelnu povratnu informaciju tzv, „feedback“. Kada se test nepovređene noge završi, potpuno istim sistemom se testira povrijeđena noga. Ovdje treba napomenuti da se prilikom testiranja povrijeđene noge mora obratiti više pažnje kada se zahtijeva od ispitanika da vrši maksimalne kontrakcije, da ukoliko ne može ili osjeti pojavu bola, radi onoliko koliko može.

Nakon kraćeg odmora od dva minuta slijedi statičko istezanje i prednje i zadnje lože natkoljenice obe noge, prvo operisane, zatim neoperisane. Istezanje se vrši postepeno, bez trzaja, do krajnje tačke fleksije koljena (za prednju ložu), odnosno do krajnje tačke anterofleksije kuka sa ekstendiranim koljenom uz postepeno guranje trupa prema naprijed (za zadnju ložu). U krajnjim

tačkama se zadržava 5–10 sekundi, zatim se popušta, te sve ponavlja desetak puta. Istezanje ne traje duže od pet minuta.

Ista osoba je sprovodila obuku ispitanika pravilnom izvođenju pokreta prije testiranja, kao i samo mjerenje.

#### **4.5.1.1. Uslovi mjerenja**

Za potrebe istraživanja stvoreni su neophodni optimalni uslovi prilikom mjerenja svih parametara.

- Sva mjerenja su realizovana u jutarnjim časovima, između 8.00 i 9.30, na istom mjestu, u dobro provjetrenim i temperiranim prostorijama, ujednačene temperature 21–24° C,
- Instrumenti su standardne izrade, čija je tačnost provjeravana i baždarenje vršeno prije istraživanja,
- Ista tehnika mjerenja je bila primjenjena na inicijalnom i na oba kontrolna mjerenja,
- Ispitivač koji upisuje rezultate je isti na inicijalnom i na oba kontrolna mjerenja.

#### **4.5.2. Opis protokola rehabilitacionih tretmana**

Kada govorimo o protokolima vježbanja, važno je napomenuti da ne postoji ustaljen protokol za rehabilitaciju pacijenata nakon rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta, ali postoje određene zakonitosti koje su uglavnom vezane za zarastanje rane i prilagođavanje samog grafta koji sada predstavlja „novi ligament”. U Zavodu se postoperativna rehabilitacija provodi primjenom standardnog rehabilitacionog protokola modifikovanog po Štrobela (Weiler et al., 2022). Ipak, bolje bi bilo reći da se primjenjuje modifikovani protokol („Rehabilitation Protocol for Anterior Cruciate Ligament (ACL) Reconstruction”, bez dat.). Mnogi fizioterapeuti su radili određene modifikacije ovog i drugih protokola, što korelira i sa ovim istraživanjem, te su već potvrđena i mnoga pozitivna iskustva kada je u pitanju restauracija mišićne snage natkoljenih mišića. S tim u vezi, na osnovu pozitivnih iskustava i preko trinaest godina rada sa ovim pacijentima uz korišćenje izokinetičkog, a preko dvadeset i pet godina uz korišćenje izotoničkog jačanja natkoljenih mišića, želimo da radimo na sopstvenom protokolu, koji treba da predstavlja modifikovane protokole koji su već u upotrebi. Poštovali smo sve protokole koji su podijeljeni po sedmicama nakon operacije, s tim da smo na osnovu pozitivnih iskustava prilagođavali određene segmente, prije svega držeći se individualnog pristupa svakom pacijentu. Takođe, nismo odstupili od principa medicine zasnovane na dokazima (van Melick et al., 2016). Kao što

je već rečeno, željeli smo da damo doprinos stvaranju što jedinstvenijih protokola u rehabilitaciji nakon rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta.

Tokom izrade protokola rehabilitacionih tretmana koristili smo protokole koje već koristimo u radu sa pacijentima, ali smo htjeli da ih dopunimo ili prilagodimo svakom pacijentu ponaosob, s obzirom da su pacijenti vrlo različiti po pitanju preoperativne pripreme, stanja lokomotornog aparata prije povrede, vrsta posla koje obavljaju, te navika kretanja i upražnjavanja sportsko-rekreativnih aktivnosti, starosti, pola itd.

#### **4.5.2.1. Protokol vježbanja u ispitivanoj grupi A-izokinetička**

U ispitivanoj grupi A-izokinetičkoj ispitanici su provodili kineziterapiju prema izokinetičkom protokolu vježbanja koji se sastojao od jednodnevnog izokinetičkog treninga u trajanju od 45 minuta, koncentrično/koncentričnim kontrakcijama pri više ugaonih brzina. Počinjalo se laganim vježbama zagrijavanja, zatim je slijedio uvodni dio treninga koji se sastojao iz vožnje statičkog bicikla sa opterećenjem od 45 do 65 W u trajanju od 10 do 15 minuta. Zatim je slijedilo dinamičko istezanje, pa glavni dio treninga koji se provodio na aparatu Biodex System 4 Pro. Protokol je koncipiran tako da ima progresiju po danima i sedmicama. Svakog dana se može povećati broj ponavljanja pokreta (ne više od 2-3), ali ne i serija (one su iste prema ugaonoj brzini tokom jedne sedmice). Svake naredne sedmice se povećava broj serija u prosjeku za po 1 na većim ugaonim brzinama (spuštajući od 210°/s prema 120°/s), te za po 2 na nižim ugaonim brzinama (spuštajući od 90°/s do 60°/s), a na najnižim (45°/s) od treće sedmice samo za 1 seriju, te za 2 serije pri ugaonoj brzini 30°/s od četvarte sedmice. Svako povećanje broja serija prati smanjenje broja ponavljanja pokreta, što je takođe individualno, vršeći permanentnu evaluaciju svakog pacijenta (Tabela 1.).

Izokinetički trening počinjao je pri većoj ugaonoj brzini (od 280°/s), u samo jednoj seriji ali sa većim brojem ponavljanja (25 do 30), zatim se ugaona brzina smanjivala (240, 210, 180, 150, 120, 90, 60°/s), broj ponavljanja se smanjivao, a broj serija povećavao dok se ne dođe do brzine od 60°/s u 3-4 serije od 6-8 ponavljanja. Tek od druge sedmice se dolazilo do ugaone brzine od 45°/s u 4-5 serija ali svega 6-8 ponavljanja, a od treće sedmice 30°/s 4-6 ponavljanja. Pauze između serija su 20 sekundi, a između promjena ugaonih brzina 40 sekundi. Od druge sedmice pauze između serija su bile 10 sekundi, a između promjena brzina 30 sekundi, s tim da su se mogle prilagoditi ukoliko postoji potreba. Zatim, sa najmanje ugaone brzine, nakon pauze od 30 sekundi, prelazilo se na najveću ugaonu brzinu od 280°/s, uz veći broj ponavljanja (20 do 30) i

time se završavao glavni dio treninga. Na taj način se aktivirala „mišićna pumpa” i pospješivao oporavak mišića. Nakon toga, na isti način su se radile vježbe na suprotnoj (zdravoj) nozi. Nakon kraćeg odmora od dva minuta slijedilo je statičko istezanje i prednje i zadnje lože natkoljenice obe noge, prvo operisane, zatim neoperisane. Istezanje se vršilo postepeno, bez trzaja, do krajnje tačke fleksije koljena (za prednju ložu), odnosno do krajnje tačke anterofleksije kuka sa eksteniranim koljenom uz postepeno guranje trupa prema naprijed (za zadnju ložu). U krajnjim tačkama se zadržavalo 5–10 sekundi, zatim se popuštalo, te sve ponavljalo desetak puta. Istezanje nije trajalo duže od pet minuta. Izokinetički trening se provodio pet puta sedmično u toku šest sedmica.

#### **4.5.2.2. Protokol vježbanja u ispitivanoj grupi B-izotonička**

Ispitanici iz grupe B su provodili jačanje natkoljenih mišića bazirane na standardnim izotoničnim vježbama za povećanje mišićne snage uz dodatni otpor. Dodatni otpor se progresivno povećavao svake sedmice za 2-5% BM tj. cca 1-5kg, a na dnevnom nivou u toku sedmice se mogao povećati samo broj ponavljanja, a ne opterećenje.

Uvodni dio treninga provodi se na ergobiciklu, i istovjetno je kao kao i u grupi A, na istom aparatu, u potpuno identičnim uslovima, sa opterećenjem od 45 do 65W.

Nakon zagrijavanja na statičkom biciklu (ergociklu), te nakon kraćeg odmora od dva minuta slijedilo je dinamičko istezanje i prednje i zadnje lože natkoljenice obe noge, prvo operisane, zatim neoperisane. Dinamičko istezanje se vršilo izvođenjem umjerenih vježbi u sagitalnoj ravni, sa pretklonima trupa i naizmjeničnim podizanjima nogu do visine karlice (antefleksija kuka) postepeno, bez jakih trzaja, do krajnje tačke fleksije koljena (za prednju ložu), odnosno do krajnje tačke anterofleksije kuka sa eksteniranim koljenom uz postepene i lagane pokrete (za zadnju ložu). U krajnjim tačkama se zadržavalo 1–3 sekunde, zatim se vraćalo u početni položaj i ponavljalo, te se sve ponavljalo desetak puta. Dinamičko istezanje nije trajalo duže od pet minuta.

Time se završavalo uvodni dio, zatim je slijedio odmor u trajanju dva minuta, pa je ispitanik počinjao sa glavnim dijelom treninga, tj. vježbanjem na aparatu za natkoljene mišiće EN Dynamic.

Vježbe na aparatu EN Dynamic ukupno su trajale oko 30 minuta. Počinjalo se sa nižim opterećenjem od 5% tjelesne mase (BM), do 20 ponavljanja u jednoj seriji. Slijedilo je zatim postepeno povećanje opterećenja za po 3% BM u prvoj sedmici, dok od druge sedmice se



povećavalo za 5% BM, ali se smanjivao broj ponavljanja i povećava broj serija, tako da se dođe do submaksimalnog opterećenja od 30% BM u 5 serija po svega 5–8 ponavljanja. Kada se završilo sa submaksimalnim opterećenjem, nakon pauze od 30 sekundi, vraćalo se na minimalno opterećenje od 3-5% BM i radio veći broj ponavljanja u jednoj seriji do pojave zamora, najčešće do 20 puta, čime se aktivira „mišićna pumpa” i pospješuje oporavak mišića. Od treće sedmice se povećavao i broj ponavljanja na manjem opterećenju na cca 30 ponavljanja, a na većim opterećenjima (15-40% BM) svake sedmice za 1 ponavljanje, dok se ne dođe do 12-16 ponavljanja u 6 serija. Nakon toga, poslije pauze od 2 do 3 minuta, te podešavanja aparata za vježbe zadnje lože natkoljenica i pozicioniranja ispitanika, istim sistemom su se radile vježbe za mišiće zadnje lože buta, tj. fleksore koljena. Razlika je samo u stepenu opterećenja. Za fleksore koljena smo koristili minimalno opterećenje od 2 do 3% BM a submaksimalno opterećenje 15 do 20% BM. Takođe, sve vježbe su rađene obostrano, ali istovremeno za razliku od izokinetičkog vježbanja gdje se radi posebno svaka strana. Zbog toga je izotonički protokol bio nešto kraći od izokinetičkog. Pauze između serija su se smanjivale po sedmicama od 2 min. prve dvije sedmice, pa na 1 min. u ostalim sedmicama (Tabela 1.). Poslije završetka glavnog dijela treninga slijedila je kraća pauza do 60 sekundi, a onda su se radile vježbe istezanja, ali ovog puta statičkog istezanja i prednje i zadnje lože natkoljenice, prvo operisane pa neoperisane noge. Istezanje se vršilo postepeno, bez trzaja, do krajnje tačke fleksije koljena (za prednju ložu), odnosno do krajnje tačke anterofleksije kuka sa eksteniranim koljenom uz postepeno guranje trupa pema naprijed (za zadnju ložu). U krajnjim tačkama se zadržavalo 5–10 sekundi, zatim se popuštalo, te sve ponavljalo desetak puta. Istezanje nije trajalo duže od pet minuta. Zatim su slijedile vježbe relaksacije i disanja, ili jednostavno odmor.

**Tabela 1** Protokoli vježbanja po grupama i po sedmicama.

Protokoli vježbanja								
Izokinetički protokol (grupa A)					Izotonički protokol (grupa B)			
<i>Sedmice</i>	<i>Br. serija</i>	<i>Ugaona brzina</i>	<i>Br. ponavljanja</i>	<i>Pauza (sec.)</i>	<i>Br. serija</i>	<i>opterećenje (% BM)</i>	<i>Br. ponavljanja</i>	<i>Pauza (sec.)</i>
I	1	280 °/s	20-25	30	1	3-5	20-25	60
	1	240 °/s	20-22	30	2	8	18-20	60
	1	210 °/s	20-22	30	2	12	15-18	120
	2	180 °/s	18-20	30	3	15	12-15	120
	3	150 °/s	15-18	30	5	20	10-12	120
	3	120 °/s	15-18	30	5	25	8-10	120
	3	90 °/s	15-18	30	6	30	6-8	120

	3	60 %/s	6-8	30	1	3	20-25	120
II	1	280 %/s	25-30	30	1	5	20-25	60
	1	240 %/s	20-25	30	2	10	15-18	60
	1	210 %/s	20-25	30	2	15	12-15	120
	3	180 %/s	15-20	30	3	20	10-12	120
	3	150 %/s	15-18	30	5	25	8-10	120
	4	120 %/s	12-15	30	6	30	6-8	120
	4	90 %/s	15-18	30	7	35	5-8	120
	4	60 %/s	6-8	30	1	3	20-25	120
	1	280 %/s	25-30	30				
III	1	280 %/s	25-30	25	1	5	20-25	30
	1	240 %/s	20-25	25	2	10	15-18	30
	1	210 %/s	20-25	25	3	15	10-12	60
	3	180 %/s	15-20	25	4	20	8-10	60
	3	150 %/s	15-18	25	5	26	8-10	60
	4	120 %/s	12-15	25	7	31	6-8	60
	5	90 %/s	12-15	25	8	36	4-7	60
	5	60 %/s	5-8	25	1	3	20-25	60
	4	45 %/s	3-5	25				
1	280 %/s	25-30	25					
IV	1	280 %/s	25-30	20	1	5	20-25	30
	1	240 %/s	20-25	20	2	12	15-18	30
	1	210 %/s	20-25	20	3	18	10-12	60
	3	180 %/s	20-25	20	5	22	6-8	60
	4	150 %/s	20-25	20	6	28	6-8	60
	5	120 %/s	18-20	20	8	33	6-8	60
	6	90 %/s	15-18	20	9	38	4-7	60
	6	60 %/s	8-10	20	1	5	20-25	60
	5	45 %/s	5-8	20				
	4	30 %/s	4-6	20				
1	280 %/s	30	20					
V	1	280 %/s	25-30	20	1	5	20-25	30
	1	240 %/s	20-25	20	2	15	15-18	30
	1	210 %/s	20-25	20	3	20	10-12	30
	3	180 %/s	20-25	20	5	25	5-8	30
	4	150 %/s	20-25	20	7	30	5-8	60
	6	120 %/s	22-25	20	8	35	5-8	60
	7	90 %/s	15-20	20	9	40	4-7	60
	7	60 %/s	10-12	20	1	5	20-25	60
	6	45 %/s	6-8	20				
	5	30 %/s	5-7	20				
	1	280 %/s	30	20				

VI	1	280 %/s	25-30	20	1	5	20-25	30
	1	240 %/s	22-25	20	2	15	15-18	30
	1	210 %/s	22-25	20	3	20	10-12	30
	3	180 %/s	22-25	20	5	25	5-8	30
	4	150 %/s	22-25	20	8	30	5-8	30
	6	120 %/s	22-25	20	9	35	5-8	30
	7	90 %/s	18-22	20	10	40	4-7	60
	7	60 %/s	10-15	20	1	5	20-25	60
	7	45 %/s	8-10	20				
	6	30 %/s	6-8	20				
	1	280 %/s	30	20				

Analiza rezultata rehabilitacije je objektivizovana koncentrično-koncentričnim izokinetičkim testom pri ugaonoj brzini od 60°/s na početku tretmana, zatim nakon tri i nakon šest sedmica tretmana.

#### 4.6. Primijenjeni postupci statističke analize podataka

Korišćeni su multivarijantni postupci MANOVA i diskriminativna analiza. Od univarijantnih postupaka primijenjen je Roy-ev test.

Da bi se izbjeglo gubljenje informacija, pronalaženjem najfinijih veza i saznanja, na neparametrijskim veličinama, izvršeno je skaliranje podataka na tabelama kontigencije. Ovim postupkom se, na osnovu učestalosti, svakoj klasi pridružuje realan broj. Činjenica da je na skaliranim vrijednostima moguća primjena postupaka vezanih za skalu razmjere, ukazuje da na ovaj način dolazi do novih saznanja u istraživačkom radu, do kojih se ne bi došlo primjenom postupaka i metoda vezanih za neparametrijske skale. Skaliranje podataka ne isključuje primjenu neparametrijskih testova. Na osnovu izloženog vidi se da je na skaliranim podacima moguća primjena multivarijantne analize varijanse (MANOVA), diskriminativne analize i drugih parametrijskih postupaka i metoda. Od univarijantnih postupaka primijenjen je Roy-ev test, Pirsonov koeficijent kontingencije ( $\chi$ ) i koeficijent multiple korelacije (R).

Izračunavanjem koeficijenta diskriminacije izdvajaju se oni rezultati izokinetičkog testiranja koji određuju specifičnost subuzoraka i rezultati izokinetičkog testiranja koji su isključeni iz dalje obrade, odnosno vršila se redukcija posmatranog prostora.

Svrha primjene matematičko-statističke analize imala je za cilj da se odrede karakteristike svakog subuzorka (ispitivane grupe), distanca između njih u odnosu na izvedene karakteristike, kako bi se izvršila pouzdana i precizna prognoza sa određenom pouzdanošću.

Obradu podataka za potrebe ove doktorske disertacije uradila je Agencija Smart Line.

## 5. REZULTATI

### 5.1. Grupisanje rezultata izokinetičkih parametara–klasiranje uzorka

Uzorak od 180 ispitanika koji su podijeljeni u dvije ispitivane grupe od po 90 ispitanika, testirani tri puta izokinetičkim testom mišića natkoljenice prije početka, nakon tri sedmice i nakon šest sedmica rehabilitacionog tretmana, sačinjavaju uzorak (540 na sva tri mjerenja) i analizirani su na devet izokinetičkih parametara. Ovi parametri su podijeljeni na tri tematske cjeline istraživanja:

- 1) izokinetički parametri prednje lože natkoljenice (ekstenzori koljena) operisane noge,
  - 2) izokinetički parametri zadnje lože natkoljenice (fleksori koljena) operisane noge i
  - 3) odnos prednje i zadnje lože natkoljenice (odnos prosječnog obrtnog momenta sile agonista i antagonista).
- Izokinetički parametri ekstenzora:
    - 1) Maksimalni obrtni moment sile ekstenzora (Nm) operisane noge–EXPTRQ,
    - 2) Prosječna snaga ekstenzora (W) operisane noge–EXAVP,
    - 3) Ukupni rad ekstenzora (J) operisane noge–EXTW,
    - 4) Deficit momenta sile ekstenzora (%) operisane noge u odnosu na neoperisanu nogu - EXDEF.
  - Izokinetički parametri fleksora:
    - 1) Maksimalni obrtni moment sile fleksora (Nm) operisane noge–FLPTRQ,
    - 2) Prosječna snaga fleksora (W) operisane noge–FLAVP,
    - 3) Ukupni rad fleksora (J) operisane noge–FLTW,
    - 4) Deficit momenta sile fleksora (%) operisane noge u odnosu na neoperisanu nogu - FLDEF.
  - Odnos prednje i zadnje lože:
    - 1) Odnos prosječnog obrtnog momenta sile agonista i antagonista–AGANR.

Za procjenu normaliteta distribucije pojedinih varijabli primjenili smo Kolmogorov-Smirnov test i Shapiro-Wilk's-ov test. S obzirom da po navedenim testovima u svim varijablama i vremenskim trenucima mjerenja rezultati cjelokupnog uzorka nemaju normalnu distribuciju na ispitivanom nivou ( $p < .05$ ), pristupili smo podjeli cjelokupnog uzorka na podgrupe–klase prema

veličinama izmjerenih vrijednosti, od najmanje ka najvećoj na: „najmanja”, „manja”, „umjerena”, „veća” i „najveća”.

## 5.2. Inicijalno mjerenje

### 5.2.1. Analiza izokinetičkih parametara ekstenzora na inicijalnom mjerenju

#### 5.2.1.1. Analiza razlika između ispitivanih grupa u odnosu na izokinetičke parametre ekstenzora na inicijalnom mjerenju

U ovom poglavlju smo željeli dokazati ili odbaciti tvrdnju da postoji značajna razlika između ispitivanih grupa, u odnosu na izokinetičke parametre ekstenzora na inicijalnom mjerenju.

**Tabela 2. Značajnost razlike između pojedinih varijabli izokinetičkih parametara ekstenzora na inicijalnom mjerenju.**

analiza	n	F	p
MANOVA	4	1.113	.352
DISKRIMINATIVNA	3	28568.550	.000

Na osnovu vrijednosti  $p=.352$  (analize MANOVA) i  $p=.000$  (analize DISKRIMINATIVNA), znači da **ne postoji značajna razlika** između izokinetičkog parametra deficit momenta sile ekstenzora (%) operisane noge u odnosu na neoperisanu nogu–EXDEF između ispitivanih grupa, no i pored toga postoji jasno definisana granica između deficit momenta sile ekstenzora (%) operisane noge u odnosu na neoperisanu nogu –EXDEF između ispitivanih grupa, ali **razlika je veoma mala** (Tabela 2.). Ova činjenica ukazuje da vjerovatno postoje latentni izokinetički parametri (latentna obilježja) koji u sadejstvu sa ostalim obilježjima (sintetizovano) doprinose diskriminaciji izokinetičkog parametra deficit momenta sile ekstenzora (%) operisane noge u odnosu na neoperisanu nogu –EXDEF.

Polazna cjelina, odnosno sistem od 4 izokinetička parametra, redukovan je u sistem od 3 izokinetička parametra na kojima postoji razlika i egzistira granica između izokinetičkog parametra deficit momenta sile ekstenzora (%) operisane noge u odnosu na neoperisanu nogu – EXDEF prema ispitivanim grupama.

**Tabela 3. Značajnost razlike između pojedinih varijabli izokinetičkih parametara ekstenzora na inicijalnom mjerenju, svi parametri posebno.**

IK parametri EX	$\chi$	R	F	p	k.dsk
<b>EXPTRQ</b>	.102	.102	1.855	.171	.065
<b>EXAVP</b>	.053	.054	.506	.485	-
<b>EXTW</b>	.116	.117	2.438	.116	77.187
<b>EXDEF</b>	.093	.094	1.566	.210	.233

*Legenda:* IK–izokinetički; EX–ekstenzori, k.dsk je koeficijent diskriminacije.

Kako je  $p > .1$ , nije uočena značajna razlika između ispitivanih grupa na inicijalnom mjerenju kod pojedinih izokinetičkih parametara ekstenzora. U Tabeli 3. se vidi statistički značaj razlike za sljedeće parametre: maksimalni obrtni moment sile ekstenzora (Nm) operisane noge–EXPTRQ (.171), prosječna snaga ekstenzora (W) operisane noge–EXAVP (.485), ukupni rad ekstenzora (J) operisane noge–EXTW (.116).

Koeficijent diskriminacije upućuje da je najveći doprinos diskriminaciji između izokinetičkog parametra deficit momenta sile ekstenzora (%) operisane noge u odnosu na neoperisanu nogu–EXDEF u odnosu na izokinetičke parametre ekstenzora na inicijalnom mjerenju, odnosno da je razlika najveća kod: izokinetičkog parametra ukupni rad ekstenzora (J) operisane noge–EXTW (77.187), deficit momenta sile ekstenzora (%) operisane noge u odnosu na neoperisanu nogu–EXDEF (.233), maksimalni obrtni moment sile ekstenzora (Nm) operisane noge–EXPTRQ (.065).

Potrebno je napomenuti da je latentno obilježje, obilježje po kojem nije utvrđena razlika izokinetičkog parametra deficit momenta sile ekstenzora (%) operisane noge u odnosu na neoperisanu nogu–EXDEF između ispitivanih grupa, a diskriminativna analiza ga je uključila u strukturu po kojoj postoji značajna razlika ovog parametra između ispitivanih grupa. Latentna obilježja imaju: maksimalni obrtni moment sile ekstenzora (Nm) operisane noge–EXPTRQ (.171), ukupni rad ekstenzora (J) operisane noge–EXTW (.116), deficit momenta sile ekstenzora (%) operisane noge u odnosu na neoperisanu nogu–EXDEF (.210).

**Tabela 4. Distanca (Mahalanobisova) između ispitivanih grupa u odnosu na izokinetičke parametre ekstenzora na inicijalnom mjerenju.**

Ispitivane grupe	A-izokinetička	B-izotonička
A-izokinetička	.00	.32
B-izotonička	.32	.00

Distance iz Tabele 4. ukazuju da je rastojanje između ispitivanih grupa **jako malo**, što potvrđuje da je razlika između ispitivanih grupa, kada su u pitanju izokinetički parametri ekstenzora na inicijalnom mjerenju **beznačajna**.

## 5.2.2. Analiza izokinetičkih parametara fleksora na inicijalnom mjerenju

### 5.2.2.1. Analiza razlika između ispitivanih grupa u odnosu na izokinetičke parametre fleksora na inicijalnom mjerenju

U ovom poglavlju smo željeli dokazati ili odbaciti tvrdnju da postoji značajna razlika između pojedinih izokinetičkih parametara fleksora na inicijalnom mjerenju u odnosu na ispitivane grupe.

**Tabela 5. Značajnost razlike između pojedinih varijabli izokinetičkih parametara fleksora na inicijalnom mjerenju.**

analiza	n	F	p
MANOVA	4	13.342	.000
DISKRIMINATIVNA	4	13.266	.000

Na osnovu vrijednosti  $p=.000$  (analize MANOVA) i  $p=.000$  (analize DISKRIMINATIVNA), znači da **postoji razlika i jasno definisana granica** između ispitivanih grupa u odnosu na izokinetičke parametre fleksora na inicijalnom mjerenju (Tabela 5.).

**Tabela 6. Značajnost razlike između pojedinih varijabli izokinetičkih parametara fleksora na inicijalnom mjerenju, svi parametri posebno.**

IK parametri FL	$\chi$	R	F	p	k.dsk
FLPTRQ	.107	.107	2.055	.149	.027
FLAVP	.011	.011	.022	.855	.000
FLTW	.421	.464	48.281	.000	.269
FLDEF	.150	.152	4.174	.040	.003

*Legenda:* IK–izokinetički, FL–fleksori, k.dsk je koeficijent diskriminacije.



Kako je  $p < .1$ , postoji značajna razlika između nekih izokinetičkih parametara fleksora u odnosu na ispitivane grupe, i to konkretno kod izokinetičkog parametra ukupni rad fleksora (J) operisane noge–FLTW (.000).

Kako je  $p > .1$ , nije uočena značajna razlika između izokinetičkih parametara fleksora u odnosu na ispitivane grupe kod: maksimalnog obrtnog momenta sile fleksora (Nm) operisane noge–FLPTRQ (.149) i prosječne snage fleksora (W) operisane noge–FLAVP (.855).

Koeficijent diskriminacije upućuje da je doprinos diskriminaciji između pojedinih izokinetičkih parametara fleksora u odnosu na ispitivane grupe na inicijalnom mjerenju sljedeći: ukupni rad fleksora (J) operisane noge–FLTW (.269), maksimalni obrtni moment sile fleksora (Nm) operisane noge–FLPTRQ (.027), deficit momenta sile fleksora (%) operisane noge u odnosu na neoperisanu nogu–FLDEF (.003), dok kod izokinetičkog parametra prosječna snaga fleksora (W) operisane noge–FLAVP ne postoji (.000).

Potrebno je napomenuti, da je latentno obilježje, obilježje po kojem nije utvrđena razlika između pojedinih izokinetičkih parametara fleksora, a diskriminativna analiza ga je uključila u strukturu po kojoj postoji značajna razlika između navedenih parametara (Tabela 6.). Latentna obilježja imaju: maksimalni obrtni moment sile fleksora (Nm) operisane noge–FLPTRQ (.149), prosječna snaga fleksora (W) operisane noge–FLAVP (.855).

**Tabela 7. Distanca (Mahalanobisova) između ispitivanih grupa u odnosu na izokinetičke parametre fleksora na inicijalnom mjerenju.**

	A-izokinetička	B-izotonička
A-izokinetička	.00	1.10
B-izotonička	1.10	.00

Distance iz Tabele 7. ukazuju da rastojanje između izokinetičkih parametara fleksora ispitivanih grupa **malo veća** nego između izokinetičkih parametara ekstenzora.

### **5.2.3. Analiza odnosa prosječnog obrtnog momenta sile agonista i antagonista (AGANR) na inicijalnom mjerenju**

U ovom dijelu istraživanja je analiziran izokinetički parametar odnos prosječnog obrtnog momenta sile agonista i antagonista–AGANR na inicijalnom mjerenju po ispitivanim grupama.

### 5.2.3.1. Analiza razlika između ispitivanih grupa za izokinetički parametar odnos prosječnog obrtnog momenta sile agonista i antagonista– AGANR na inicijalnom mjerenju

U ovom poglavlju smo nastojali dokazati ili odbaciti tvrdnju da postoji značajna razlika između ispitivanih grupa u odnosu na odnos prosječnog obrtnog momenta sile agonista i antagonista–AGANR na inicijalnom mjerenju.

**Tabela 8. Značajnost razlike odnosa prosječnog obrtnog momenta sile agonista i antagonista–AGANR u odnosu na ispitivane grupe na inicijalnom mjerenju**

	$\chi$	R	F	p
<b>AGANR</b>	.149	.151	4.163	.040

Analiza pokazuje da **postoji razlika** između ispitivanih grupa **A–izokinetičke** i **B–izotoničke** na inicijalnom mjerenju (Tabela 8.) za izokinetički parametar odnos prosječnog obrtnog momenta sile agonista i antagonista–AGANR.

**Tabela 9. Distanca (Mahalanobisova) između ispitivanih grupa u odnosu na odnos obrtnog momenta sile agonista i antagonista AGANR na inicijalnom mjerenju.**

	A-izokinetička	B-izotonička
<b>A-izokinetička</b>	.00	.30
<b>B-izotonička</b>	.30	.00

Distance iz Tabele 9. pokazuju rastojanje između ispitivanih grupa A-izokinetičke i B-izotoničke i vidi se da je ta distanca **jako mala**.

## 5.3. Mjerenje nakon tri sedmice (kontrolno mjerenje)

### 5.3.1.1. Analiza razlika između pojedinih varijabli izokinetičkih parametara ekstenzora na kontrolnom mjerenju

U ovom poglavlju smo željeli dokazati ili odbaciti tvrdnju da postoji značajna razlika između ispitivanih grupa u odnosu na izokinetičke parametre ekstenzora na kontrolnom mjerenju.

**Tabela 10. Značajnost razlike između pojedinih varijabli izokinetičkih parametara ekstenzora u odnosu na ispitivane grupe na kontrolnom mjerenju.**

analiza	n	F	p
<b>MANOVA</b>	4	27.878	.000
<b>DISKRIMINATIVNA</b>	4	27.719	.000

Na osnovu vrijednosti  $p=.000$  (analize MANOVA) i  $p=.000$  (analize DISKRIMINATIVNA), **postoji razlika i jasno definisana granica** između ispitivanih grupa (Tabela 10.).

**Tabela 11. Značajnost razlike između pojedinih izokinetičkih parametara ekstenzora u odnosu na ispitivane grupe na kontrolnom mjerenju.**

IK parametri	$\chi$	R	F	p	k.dsk
<b>EXPTRQ</b>	.156	.158	4.481	.034	.000
<b>EXAVP</b>	.155	.157	4.432	.035	.001
<b>EXTW</b>	.525	.617	108.153	.000	.542
<b>EXDEF</b>	.248	.256	12.351	.001	.021

*Legenda: IK–izokinetički; k.dsk je koeficijent diskriminacije.*

Kako je  $p < .1$ , **postoji značajna razlika** između pojedinih izokinetičkih parametara ekstenzora ispitanika (Tabela 11.), i to kod izokinetičkih parametara: maksimalni obrtni moment sile ekstenzora (Nm) operisane noge–EXPTRQ (.034), prosječna snaga ekstenzora (W) operisane noge–EXAVP (.035) i ukupni rad ekstenzora (J) operisane noge–EXTW (.000). Koeficijent diskriminacije upućuje da je najveći doprinos diskriminaciji između pojedinih varijabli izokinetičkih parametara ekstenzora na kontrolnom mjerenju, odnosno da je razlika najveća kod izokinetičkih parametara: ukupni rad ekstenzora (J) operisane noge–EXTW (.542), deficit momenta sile ekstenzora (%) operisane noge u odnosu na neoperisanu nogu –EXDEF (.021), prosječna snaga ekstenzora (W) operisane noge–EXAVP (.001), maksimalni obrtni moment sile ekstenzora (Nm) operisane noge–EXPTRQ (.000).

**Tabela 12. Distanca (Mahalanobisova) između ispitivanih grupa u odnosu na izokinetičke parametre ekstenzora na kontrolnom mjerenju.**

ispitivana grupa	A-izokinetička	B-izotonička
<b>A-izokinetička</b>	.00	1.59
<b>B-izotonička</b>	1.59	.00

Distance iz Tabele 12. ukazuju da je rastojanje između ispitivanih grupa A-izokinetičke i B-izotoničke **povećano**.

Posmatrajući dobijenu distancu između ispitivanih grupa uočava se da je ona veća nego izračunate distance na inicijalnom mjerenju, tako da možemo uočiti da je već u ovoj fazi (kontrolno mjerenje) došlo do formiranja razlike između izokinetičkih parametara ekstenzora između ispitivanih grupa.

### 5.3.2. Analiza izokinetičkih parametara fleksora na kontrolnom mjerenju

#### 5.3.2.1. Analiza razlika između ispitivanih grupa u odnosu na izokinetičke parametre fleksora na kontrolnom mjerenju

U ovom poglavlju smo željeli dokazati ili odbaciti tvrdnja da postoji značajna razlika između ispitivanih grupa, u odnosu na izokinetičke parametre fleksora na kontrolnom mjerenju.

**Tabela 13. Značajnost razlike između pojedinih varijabli izokinetičkih parametara fleksora na kontrolnom mjerenju.**

analiza	n	F	p
MANOVA	4	24.071	.000
DISKRIMINATIVNA	4	23.934	.000

Na osnovu vrijednosti  $p=.000$  (analize MANOVA) i  $p=.000$  (analize DISKRIMINATIVNA), **postoji razlika i jasno definisana granica** između ispitivanih grupa prema izokinetičkom parametru deficit momenta sile fleksora (%) operisane noge u odnosu na neoperisanu nogu–FLDEF na kontrolnom mjerenju (Tabela 13.). Možemo primjetiti da se na ovom mjerenju (kontrolnom, nakon tri sedmice rehabilitacionog tretmana) ispitivane grupe već razlikuju po pitanju ovog parametra.

**Tabela 14. Značajnost razlike između pojedinih varijabli izokinetičkih parametara fleksora na kontrolnom mjerenju, svi parametri posebno.**

IK parametri	$\chi$	R	F	p	k.dsk
FLPTRQ	.235	.241	10.898	.001	.000
FLAVP	.225	.231	9.895	.002	.021
FLTW	.504	.583	90.758	.000	.451
FLDEF	.107	.108	2.077	.147	.008

*Legenda:* IK–izokinetički; k.dsk je koeficijent diskriminacije.

Kako je  $p < .1$ , **postoji značajna razlika** između pojedinih izokinetičkih parametara fleksora između ispitivanih grupa kod: maksimalni obrtni moment sile fleksora (Nm) operisane noge–FLPTRQ (.001), prosječna snaga fleksora (W) operisane noge–FLAVP (.002) i ukupni rad fleksora (J) operisane noge–FLTW (.000).

Koeficijent diskriminacije upućuje da je najveći doprinos diskriminaciji između pojedinih izokinetičkih parametara fleksora u odnosu na ispitivane grupe na kontrolnom mjerenju, odnosno

da je razlika najveća kod sljedećih parametara: ukupni rad fleksora (J) operisane noge–FLTW (.451), prosječna snaga fleksora (W) operisane noge–FLAVP (.021), deficit momenta sile fleksora (%) operisane noge u odnosu na neoperisanu nogu–FLDEF (.008), maksimalni obrtni moment sile fleksora (Nm) operisane noge–FLPTRQ (.000). Potrebno je napomenuti da je latentno obilježje, obilježje po kojem nije utvrđena razlika između ispitivanih grupa, a diskriminativna analiza ga je uključila u strukturu po kojoj postoji značajna razlika između ispitivanih grupa prema izokinetičkim parametrima fleksora na kontrolnom mjerenju (Tabela 14.). Latentno obilježje je izokinetički parametar deficit momenta sile fleksora (%) operisane noge u odnosu na neoperisanu nogu–FLDEF (.147).

**Tabela 15. Distanca (Mahalanobisova) između ispitivanih grupa u odnosu na izokinetičke parametre fleksora na kontrolnom mjerenju.**

Ispitivana grupa	A-izokinetička	B-izotonička
A-izokinetička	.00	1.48
B-izotonička	1.48	.00

Distance iz Tabele 15. ukazuju da je rastojanje između ispitivanih grupa A-izokinetičke i B-izotoničke **veliko**.

### **5.3.1. Analiza prosječnog obrtnog momenta sile agonista i antagonista (AGANR) na kontrolnom mjerenju**

#### **5.3.1.1. Analiza razlika između ispitivanih grupa za izokinetički parametar odnos prosječnog obrtnog momenta sile agonista i antagonista–AGANR na kontrolnom mjerenju**

U ovom poglavlju smo nastojali dokazati ili odbaciti tvrdnju da postoji značajna razlika između ispitivanih grupa prema izokinetičkom parametru odnos prosječnog obrtnog momenta sile agonista i antagonista na kontrolnom mjerenju.

**Tabela 16. Značajnost razlike između ispitivanih grupa za odnos obrtnog momenta sile agonista i antagonista ispitanika za odnos agonista i antagonista -AGANR na kontrolnom mjerenju.**

IK parametar	$\chi$	R	F	P
<b>AGANR</b>	.125	.125	2.847	.089

Nisu izdvojene karakteristike ispitivanih grupa za ovo obilježje, tačnije, nije moguće izdvojiti posebne karakteristike za pojedine ispitivane grupe prema izokinetičkom parametru odnos prosječnog obrtnog momenta sile agonista i antagonista na kontrolnom mjerenju (Tabela 16.).

**Tabela 17. Distanca (Mahalanobisova) između ispitivanih grupa za izokinetički parametar odnos prosječnog obrtnog momenta sile agonista i antagonista–AGANR na kontrolnom mjerenju.**

Ispitivana grupa	A-izokinetička	B-izotonička
<b>A-izokinetička</b>	.00	.25
<b>B-izotonička</b>	.25	.00

Distance iz Tabele 17. ukazuju da je između ispitivanih grupa **rastojanje malo**.

## **5.4. Mjerenje nakon šest sedmica–finalno mjerenje**

### **5.4.1. Analiza izokinetičkih parametara ekstenzora na finalnom mjerenju**

U ovom dijelu istraživanja smo analizirali izokinetičke parametre ekstenzora na finalnom mjerenju (nakon šest sedmica rehabilitacionog tretmana) po ispitivanim grupama.

#### **5.4.1.1. Analiza razlika između pojedinih varijabli izokinetičkih parametara ekstenzora na finalnom mjerenju**

U ovom poglavlju smo željeli dokazati ili odbaciti tvrdnju da li postoji značajna razlika između izokinetičkih parametara u odnosu ispitivane grupe na finalnom mjerenju.

**Tabela 18. Značajnost razlike između ispitivanih grupa u odnosu na izokinetičke parametare ekstenzora na finalnom mjerenju.**

analiza	n	F	p
<b>MANOVA</b>	4	204.830	.000
<b>DISKRIMINATIVNA</b>	4	203.660	.000

Na osnovu vrijednosti  $p=.000$  (analize MANOVA) i  $p=.000$  (analize DISKRIMINATIVNA), **postoji razlika i jasno definisana granica** između ispitivanih grupa u odnosu na izokinetički parametar deficit momenta sile ekstenzora (%) operisane noge u odnosu na neoperisanu nogu–EXDEF na finalnom mjerenju (Tabela 18.).

**Tabela 19. Značajnost razlike između pojedinih varijabli-izokinetičkih parametara ekstenzora na finalnom mjerenju u odnosu na ispitivane grupe.**

IK parametri	$\chi$	R	F	p	k.dsk
EXPTRQ	.642	.837	412.670	.000	.153
EXAVP	.629	.809	332.337	.000	.656
EXTW	.662	.884	627.954	.000	1.081
EXDEF	.549	.657	133.658	.000	.147

Legenda: k.dsk je koeficijent diskriminacije.

Kako je  $p < .1$ , **postoji značajna razlika** između nekih izokinetičkih parametara ekstenzora, i to kod: maksimalni obrtni moment sile ekstenzora (Nm) operisane noge–EXPTRQ (.000), prosječna snaga ekstenzora (W) operisane noge–EXAVP (.000) i ukupni rad ekstenzora (J) operisane noge–EXTW (.000).

Koeficijent diskriminacije upućuje da je najveći doprinos diskriminaciji između pojedinih varijabli izokinetičkih parametara ekstenzora na finalnom mjerenju (Tabela 19.), odnosno da je razlika najveća, kod izokinetičkih parametara: ukupni rad ekstenzora (J) operisane noge–EXTW (1.081), prosječna snaga ekstenzora (W) operisane noge–EXAVP (.656), maksimalni obrtni moment sile ekstenzora (Nm) operisane noge–EXPTRQ (.153), deficit momenta sile ekstenzora (%) operisane noge u odnosu na neoperisanu nogu–EXDEF (.147).

**Tabela 20. Distanca (Mahalanobisova) između ispitivanih grupa u odnosu na izokinetičke parametre ekstenzora na finalnom mjerenju.**

	A-izokinetička	B-izotonička
A-izokinetička	.00	4.30
B-izotonička	4.30	.00

Distance iz Tabele 20. ukazuju da je rastojanje između ispitivanih grupa A-izokinetičke i B - izotoničke **veoma povećano**.

Na ovom mjestu je izračunata do sada najveća distanca u odnosu na prethodne distance, što nam ukazuje da su u ovoj cjelini istraživanja veoma dobro izražene karakteristike ispitivanih grupa.

## **5.4.2. Analiza izokinetičkih parametara fleksora na finalnom mjerenju**

### **5.4.2.1. Analiza razlika između pojedinih varijabli izokinetičkih parametara fleksora na finalnom mjerenju**

U ovom poglavlju smo nastojali dokazati ili odbaciti tvrdnja da postoji značajna razlika između ispitivanih grupa u odnosu na izokinetičke parametre fleksora na finalnom mjerenju.

**Tabela 21. Značajnost razlike između ispitivanih grupa u odnosu na izokinetičke parametre fleksora na finalnom mjerenju.**

analiza	n	F	p
<b>MANOVA</b>	4	745.035	.000
<b>DISKRIMINATIVNA</b>	4	740.778	.000

Na osnovu vrijednosti  $p=.000$  (analize MANOVA) i  $p=.000$  (analize DISKRIMINATIVNA), **postoji razlika i jasno definisana granica** između ispitivanih grupa u odnosu na izokinetičke parametre fleksora na finalnom mjerenju (Tabela 21.).

**Tabela 22. Značajnost razlike između pojedinih varijabli-izokinetičkih parametara fleksora na finalnom mjerenju u odnosu na ispitivane grupe.**

IK parametri	$\chi$	R	F	p	k.dsk
<b>FLPTRQ</b>	.653	.863	513.821	.000	.338
<b>FLAVP</b>	.695	.967	2569.598	.000	11.481
<b>FLTW</b>	.668	.897	728.222	.000	1.214
<b>FLDEF</b>	.596	.743	216.615	.000	.758

*Legenda:* IK–izokinetički; k.dsk je koeficijent diskriminacije.

Kako je  $p < .1$ , **postoji značajna razlika** između ispitivanih grupa kod sljedećih izokinetičkih parametara fleksora na finalnom mjerenju: maksimalni obrtni moment sile fleksora (Nm) operisane noge–FLPTRQ (.000), prosječna snaga fleksora (W) operisane noge–FLAVP (.000) i ukupni rad fleksora (J) operisane noge–FLTW (.000).

Koeficijent diskriminacije upućuje da je najveći doprinos diskriminaciji između ispitivanih grupa u odnosu na izokinetičke parametre fleksora na finalnom mjerenju (Tabela 22.), odnosno da je razlika najveća kod sljedećih izokinetičkih parametara: prosječna snaga fleksora (W) operisane noge–FLAVP (11.481), ukupni rad fleksora (J) operisane noge–FLTW (1.214), deficit momenta sile fleksora (%) operisane noge u odnosu na neoperisanu nogu–FLDEF (.758), maksimalni obrtni moment sile fleksora (Nm) operisane noge–FLPTRQ (.338).

**Tabela 23. Distanca (Mahalanobisova) između ispitivanih grupa u odnosu na izokinetičke parametre fleksora na finalnom mjerenju.**



	A-izokinetička	B-izotonička
A-izokinetička	.00	8.21
B-izotonička	8.21	.00

Distance iz Tabele 23. ukazuju da je rastojanje između ispitivanih grupa A-izokinetičke i B-izotoničke **veoma veliko**.

Posmatrajući dobijenu distance između ispitivanih grupa uočava se da je ona najveća u cijelom istraživanju, računajući sva mjerenja i sve tematske cjeline istraživanja.

Tako možemo jasno uočiti da je distanca dvostruko povećana na finalnom mjerenju u odnosu na kontrolno, te da su dvostruko više izražene karakteristike ispitivane grupe A-izokinetičke. Sada već možemo konkretno vidjeti da je izokinetički trening upravo najviše doprinio razlici među ispitivanim grupama upravo u ovoj tematskoj cjelini (izokinetičkim parametrima fleksora) i to na finalnom mjerenju, odnosno na mjerenju nakon šest sedmica rehabilitacionog tretmana.

### 5.4.3. Odnos prosječnog obrtnog momenta sile agonista i antagonista – AGANR na finalnom mjerenju

U ovom dijelu istraživanja je analiziran izokinetički parametar odnos prosječnog obrtnog momenta sile agonista i antagonista na finalnom mjerenju (nakon šest sedmica rehabilitacionog tretmana) po ispitivanim grupama sa rasponom i zastupljenošću klasa-modaliteta.

**Tabela 24. Značajnost razlike odnosa prosječnog obrtnog momenta sile agonista i antagonista (%)–AGANR u odnosu na ispitivane grupe na finalnom mjerenju.**

IK parametar	$\chi$	R	F	p
AGANR	.540	.641	122.832	.000

Iz navedenih rezultata se vidi da postoji jasno definisana razlika između ispitivanih grupa na finalnom mjerenju po pitanju izokinetičkog parametra odnos prosječnog momenta sile agonista i antagonista (Tabela 24.). U ispitivanoj grupi A-izokinetičkoj su vrijednosti AGANR mnogo bliže referentnoj vrijednosti (34.4%) u odnosu na ispitivanu grupu B-izotoničku (0%).

**Tabela 25. Distanca (Mahalanobisova) između ispitivanih grupa za odnos prosječnog obrtnog momenta sile agonista i antagonista (%)–AGANR na finalnom mjerenju.**

Ispitivane grupe	A-izokinetička	B-izotonička
A-izokinetička	.00	1.66
B-izotonička	1.66	.00

Distance iz Tabele 25. ukazuju da je rastojanje između ispitivanih grupa **veliko**.

### **5.5. Završna razmatranja**

**1) Nije utvrđena razlika između ispitivanih grupa (.352) u odnosu na izokinetičke parametre ekstenzora na inicijalnom mjerenju.**

**Egzistencija granice (.000)** je potvrđena za sljedeće izokinetičke parametre:

ukupni rad ekstenzora (J) operisane noge–EXTW, deficit momenta sile ekstenzora (%) operisane noge u odnosu na neoperisanu nogu –EXDEF, maksimalni obrtni moment sile ekstenzora (Nm) operisane noge–EXPTRQ;

**Postoji latentna razlika** kod sljedećih izokinetičkih parametara: ukupni rad ekstenzora (J) operisane noge–EXTW (.116), maksimalni obrtni moment sile ekstenzora (Nm) operisane noge–EXPTRQ (.171), deficit momenta sile ekstenzora (%) operisane noge u odnosu na neoperisanu nogu –EXDEF (.210).

**2) Utvrđena je razlika između ispitivanih grupa (.000) u odnosu na izokinetičke parametre fleksora na inicijalnom mjerenju.**

Ukupni rad fleksora (J) operisane noge–FLTW (.000), deficit momenta sile fleksora (%) operisane noge u odnosu na neoperisanu nogu–FLDEF (.040);

**Nije utvrđena razlika** kod izokinetičkih parametara: maksimalni obrtni moment sile fleksora (Nm) operisane noge–FLPTRQ (.149) i prosječna snaga fleksora (W) operisane noge–FLAVP (.855).

**Egzistencija granice (.000)** je potvrđena za izokinetičke parametre: ukupni rad fleksora (J) operisane noge–FLTW, maksimalni obrtni moment sile fleksora (Nm) operisane noge–FLPTRQ, deficit momenta sile fleksora (%) operisane noge u odnosu na neoperisanu nogu–FLDEF i prosječna snaga fleksora (W) operisane noge–FLAVP;

**Postoji latentna razlika** kod izokinetičkih parametara: maksimalni obrtni moment sile fleksora (Nm) operisane noge–FLPTRQ (.149) i prosječna snaga fleksora (W) operisane noge–FLAVP (.855).

**3) Utvrđena je razlika između ispitivanih grupa (.041) u odnosu na izokinetički parametar odnos prosječnog obrtnog momenta sile agonista i antagonista–AGANR na inicijalnom mjerenju. (.040). Potvrđena je egzistencija granice (.041).**

**4) Utvrđena je razlika između ispitivanih grupa (.000) u odnosu na izokinetičke parametre ekstenzora na kontrolnom mjerenju–mjerenju nakon tri sedmice rehabilitacionog tretmana.**

ukupni rad ekstenzora (J) operisane noge–EXTW (.000), deficit momenta sile ekstenzora (%) operisane noge u odnosu na neoperisanu nogu –EXDEF (.001), maksimalni obrtni moment sile ekstenzora (Nm) operisane noge–EXPTRQ (.034), prosječna snaga ekstenzora (W) operisane noge–EXAVP (.035);

**Egzistencija granice (.000)** je potvrđena za sljedeće izokinetičke parametre: ukupni rad ekstenzora (J) operisane noge–EXTW, deficit momenta sile ekstenzora (%) operisane noge u odnosu na neoperisanu nogu –EXDEF, prosječna snaga ekstenzora (W) operisane noge–EXAVP, maksimalni obrtni moment sile ekstenzora (Nm) operisane noge–EXPTRQ.

**5) Utvrđena je razlika između ispitivanih grupa (.000) u odnosu na izokinetičke parametre fleksora na kontrolnom mjerenju–mjerenju nakon tri sedmice rehabilitacionog tretmana.**

Ukupni rad fleksora (J) operisane noge–FLTW (.000), maksimalni obrtni moment sile fleksora (Nm) operisane noge–FLPTRQ (.001), prosječna snaga fleksora (W) operisane noge–FLAVP (.002);

**Nije utvrđena razlika** kod sljedećih izokinetičkih parametara: deficit momenta sile fleksora (%) operisane noge u odnosu na neoperisanu nogu–FLDEF (.147);

**Egzistencija granice (.000)** je potvrđena za sljedeće izokinetičke parametre: ukupni rad fleksora (J) operisane noge–FLTW, prosječna snaga fleksora (W) operisane noge–FLAVP, deficit momenta sile fleksora (%) operisane noge u odnosu na neoperisanu nogu–FLDEF i maksimalni obrtni moment sile fleksora (Nm) operisane noge–FLPTRQ;

**Postoji latentna razlika** kod izokinetičkog parametra deficit momenta sile fleksora (%) operisane noge u odnosu na neoperisanu nogu–FLDEF (.147).

**6) Utvrđena je razlika između ispitivanih grupa (.089) u odnosu na izokinetički parametar odnos prosječnog obrtnog momenta sile agonista i antagonista–AGANR na kontrolnom mjerenju–mjerenju nakon tri sedmice rehabilitacionog tretmana (.089).**

Potvrđena je egzistencija granice (.089).

**7) Utvrđena je razlika između ispitivanih grupa (.000) u odnosu na izokinetičke parametre ekstenzora na finalnom mjerenju–mjerenju nakon šest sedmica rehabilitacionog tretmana.**

Maksimalni obrtni moment sile ekstenzora (Nm) operisane noge–EXPTRQ (.000), prosječna snaga ekstenzora (W) operisane noge–EXAVP (.000), ukupni rad ekstenzora (J) operisane noge–EXTW (.000), deficit momenta sile ekstenzora (%) operisane noge u odnosu na neoperisanu nogu –EXDEF (.000);

**Egzistencija granice (.000)** je potvrđena za sljedeće izokinetičke parametre: ukupni rad ekstenzora (J) operisane noge–EXTW, prosječna snaga ekstenzora (W) operisane noge–EXAVP, maksimalni obrtni moment sile ekstenzora (Nm) operisane noge–EXPTRQ i deficit momenta sile ekstenzora (%) operisane noge u odnosu na neoperisanu nogu –EXDEF.

**8) Utvrđena je razlika između ispitivanih grupa (.000) u odnosu na **izokinetičke parametre fleksora na finalnom mjerenju–mjerenju nakon šest sedmica rehabilitacionog tretmana.****

Maksimalni obrtni moment sile fleksora (Nm) operisane noge–FLPTRQ (.000), prosječna snaga fleksora (W) operisane noge–FLAVP (.000), ukupni rad fleksora (J) operisane noge–FLTW (.000), deficit momenta sile fleksora (%) operisane noge u odnosu na neoperisanu nogu–FLDEF (.000);

**Egzistencija granice (.000)** je potvrđena za sljedeće izokinetičke parametre: prosječna snaga fleksora (W) operisane noge–FLAVP, ukupni rad fleksora (J) operisane noge–FLTW, deficit momenta sile fleksora (%) operisane noge u odnosu na neoperisanu nogu–FLDEF i maksimalni obrtni moment sile fleksora (Nm) operisane noge–FLPTRQ.

**9) Utvrđena je razlika između ispitivanih grupa (.000) u odnosu na **izokinetički parametar odnos prosječnog obrtnog momenta sile agonista i antagonista–AGANR na finalnom mjerenju–mjerenju nakon šest sedmica rehabilitacionog tretmana (.000).**** Potvrđena je egzistencija granice (.000).

## **6. DISKUSIJA**

### **6.1.1. Uglao fleksije koljena i ugaone brzine pri mjerenju i vježbanju**

Savremeni izokinetički dinamometri su uređaji za pružanje validnih informacija o parametrima koji opisuju mišićne kontrakcije, dobijene tokom samog mjerenja. Dinamometri su konstruisani tako da mogu da vrše testiranja pri rasponu brzine od 0°/s do 500°/s, pri čemu nulta brzina odgovara izometričkoj kontrakciji. U istraživanjima koja su sprovedena na većim grupama ispitanika, za testiranje natkoljenih mišića primjenjivana je ugaona brzina od 60°/s, pa je i u ovom istraživanju primijenjena ista ugaona brzina i standardni protokol testiranja, kako bi se utvrdile analitičke, funkcionalne i kliničke karakteristike izokinetičkih parametara mišića ekstenzora i fleksora koljena. Odlučili smo se za izokinetičko mjerenje pri ugaonoj brzini od 60°/s, iako se testiranje u Zavodu uobičajeno radi pri ugaonim brzinama od 60°/s i 180°/s. Razlog za to je mišljenje da su vrijednosti parametara dobijeni testiranjem pri ugaonoj brzini od 60°/s sasvim dovoljni za utvrđivanje promjena obrtnog momenta (EXPTRQ, FLPTRQ), mišićne snage (EXAVP, FLAVP), ukupnog rada (EXTW i FLTW) i određenih deficita, kao i poređenja agonističkih i antagonističkih grupa mišića koji su vezani za temu i interesovanja u ovom istraživanju. To su potvrdila i neka dosadašnja istraživanja brojnih svjetskih autora, tako da još Kada je u pitanju istraživanje odnosa prednje i zadnje lože natkoljenice (AGANR), kao i deficita operisane i neoperisane noge (EXDEF i FLDEF), autori koriste uglavnom ugaonu brzinu od 60°/s, dok veće ugaone brzine više služe za ispitivanje izdržljivosti mišića (Shalaj et al., 2020), što je razlog zbog koga smo i mi odabrali upravo tu ugaonu brzinu. Ipak, sve je više autora koji, kao i mi, koriste samo ugaonu brzinu od 60°/s, jer njenom analizom mogu da dobiju uvid u sve mišićne performanse koje ih interesuju (Su et al., 2017). Analiza vrijednosti maksimalnog obrtnog momenta sile mišića pri specifičnim uglovima otkrila je značajno niže vrijednosti za operisanu nogu pri ugaonoj brzini od 60°/s tokom ekstenzije i fleksije koljena tokom cijelog obima pokreta koljena (Read et al., 2022). Rezultati ovog istraživanja su u skladu sa ovom i drugim studijama, koje su takođe pronašle izokinetičke asimetrije snage i vrijednosti momenta zavisne od brzine kod pacijenata nakon rekonstrukcije ACL.

### **6.2. Analiza izokinetičkih parametara ekstenzora koljena operisane noge**

Nakon operacije prednjeg ukrštenog ligamenta, pored ostalih simptoma, jedan od najznačajnijih je zaostajanje ekstenzije koljena, koje se ponekad produžava na nekoliko mjeseci poslije

operacije. Kao što smo već vidjeli u rezultatima, pokazana je statistički značajna promjena u vrijednostima svih posmatranih parametara nakon sprovedene rehabilitacije tri mjeseca poslije rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta, međutim, u većini slučajeva se te vrijednosti razlikuju od vrijednosti zdrave noge. Deficiti snage, disbalans natkoljenih mišića i inhibicija ekstenzora koljena redovni su poslije hirurške rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta, čak i nakon povratka pacijenta u sport. Budući da je nakon tri mjeseca od rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta obim pasivnog pokreta u potpunosti obnovljen, pomenuto zaostajanje ekstenzije bi moglo biti pripisano slabosti ekstenzora koljena (*m. quadriceps*). Izmjene u performansama mišića mogu biti neurološkog i mehaničkog porijekla.

### **6.2.1. Analiza izokinetičkog parametra maksimalni obrtni moment sile ekstenzora operisane noge-EXPTRQ**

Mišićne insuficijencije praćene smanjenjem maksimalnog obrtnog momenta mišića nakon rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta najvidljivije su na mišićima prednje lože natkoljenice. Obrtni moment ekstenzora operisane noge je nakon rupture ACL više smanjen u odnosu na fleksore zbog oštećenja proprioceptivnih elemenata koljena i navikavanja povrijeđenog na tzv. izbjegavanje kvadricepsa prilikom hoda. Kod pacijenata nakon rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta duplo je izraženije slabljenje mišića prednje u odnosu na zadnju ložu natkoljenice, što je naročito evidentno u ranoj fazi rehabilitacije (Novaretti et al., 2018).

#### **6.2.1.1. Analiza izokinetičkog parametra maksimalni obrtni moment sile ekstenzora operisane noge-EXPTRQ na svim mjerenjima prema ispitivanim grupama**

Neposredno nakon operacije ACL dolazi do hipotrofije *m. quadriceps*-a za 30%, koja se zadržava i do šest mjeseci nakon operacije. Hipotrofija *m. quadriceps*-a nastaje veoma brzo nakon same povrede, a izražena je u ranom postoperativnom periodu nakon rekonstrukcije ACL. Iz rezultata istraživanja se uočava da se ovaj izokinetički parametar povećava kod obje ispitivane grupe na kontrolnom i finalnom mjerenju, s tim da je kod ispitivane grupe A-izokinetičke na finalnom mjerenju ovo povećanje značajno izraženije. Na kraju istraživanja, analizirajući izokinetički parametar maksimalni obrtni moment sile ekstenzora operisane noge-EXPTRQ, posmatrane su distance između rezultata ovog parametra nakon tri i nakon šest sedmica rehabilitacionog tretmana. Uočava se da su najbliže ispitivane grupe A-izokinetička na

inicijalnom mjerenju i ispitivana grupa B–izotonička na inicijalnom mjerenju sa distancom od 0.11, što znači da je razlika između ispitivanih grupa bila beznačajna, odnosno da su ispitanici obje ispitivane grupe imali približne polazne vrijednosti pred sam početak rehabilitacionog tretmana. Najveća razlika u rezultatima ovog parametra je između ispitivane grupe A–izokinetičke na inicijalnom i ispitivane grupe A–izokinetičke na finalnom mjerenju, sa distancom od 9.50, što jasno objašnjava da je izokinetičko vježbanje dalo ubjedljivo bolje rezultate u prirastu obrtnog momenta sile mišića prednje lože natkoljenice. Sublimirajući rezultate izokinetičkog parametra maksimalni obrtni moment sile ekstenzora operisane noge–EXPTRQ na svim mjerenjima, vidimo da je došlo do očite razlike prema ispitivanim grupama kako je vrijeme trajanja rehabilitacionog tretmana odmicalo. Razlika između ispitivanih grupa A i B na inicijalnom mjerenju je bila beznačajna. U Tabeli 13. se uočava da je na **inicijalnom mjerenju** razlika između ispitivanih grupa za ovaj izokinetički parametar na inicijalnom mjerenju bila latentna (0.171), pa se može reći da je za ovo istraživanje beznačajna. Možemo potvrditi da su ispitanici obje ispitivane grupe (A i B) imali sličnu „polaznu tačku“, odnosno slične mogućnosti za napredovanje i dalje poređenje izokinetičkog parametra maksimalni obrtni moment sile ekstenzora (Nm) operisane noge–EXPTRQ.

Na **kontrolnom mjerenju**, nakon tri sedmice rehabilitacionog tretmana, došlo je do primjetnih promjena u obje ispitivane grupe. To bi svakako bio dobar rezultat, ali ipak je to nizak procenat pacijenata koji su postigli EXPTRQ približan nivou zdrave noge. Razlika po ispitivanim grupama postoji (0.034), mada gledano po klasama, čini se da ni jedna ispitivana grupa još nije dostigla značajno poboljšanje izokinetičkog parametra.

Na **finalnom mjerenju**, odnosno mjerenju nakon šest sedmica rehabilitacionog tretmana razlika između ispitivanih grupa je bila izuzetno vidljiva i značajna (0.000). Evidentno je da je na kraju rehabilitacionog tretmana u ispitivanoj grupi A–izokinetičkoj bio značajno dominantniji oporavak m. quadriceps-a, odnosno izokinetički parametar maksimalni obrtni moment sile ekstenzora operisane noge–EXPTRQ je imao mnogo značajnije uvećanje nego u ispitivanoj grupi B–izotoničkoj. Izgleda da je tek nakon šest sedmica tretmana došlo do potpune dominacije izokinetičkog vježbanja, odnosno trebalo je više od tri sedmice da bi došlo do hipertrofije m. quadriceps-a. Matta i sar. (2017) su potvrdili efikasnost četrnaestosedmične primjene izokinetičkog vježbanja u odnosu na konvencionalno, sa ciljem postizanja selektivne hipertrofije ekstenzora koljena. Rezultati su pokazali neujednačene promjene debljine između mišića koji

čine m. quadriceps femoris. U konvencionalnoj grupi vidljivo je značajno veće zadebljanje m. rectus femoris-a u odnosu na sve ostale dijelove m. quadriceps-a (14%). Za izokinetičku grupu, porast debljine (11%) bio je značajno veći u odnosu samo na m. vastus intermedius. Iako se debljina mišića nije povećala za sve sastavne dijelove m. quadriceps-a, relativna adaptacija m. rectus femoris-a je sugerisala da je došlo do selektivne hipertrofije koja pogoduje ovom načinu vježbanja (izokinetičkom) primijenjenom na natkoljenu, što je u direktnoj saglasnosti sa ovim istraživanjem. Iako je rehabilitacioni tretman u ovom istraživanju trajao dosta kraće, postignuti rezultati su vrlo bliski rezultatima u navedenim istraživanjima kada je u pitanju maksimalni obrtni moment sile mišića natkoljenica. Navedeno istraživanje i rezultati ovog istraživanja imaju veću sličnost na finalnom mjerenju nego na kontrolnom, što govori u prilog konstataciji da je period od šest sedmica rehabilitacionog tretmana ipak mnogo povoljniji za oporavak mišićne funkcije ekstenzora koljena nakon rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta. Takođe, oba istraživanja potvrđuju dominantnost izokinetičkog protokola vježbanja u odnosu na izotonički.

Obrtni moment sile mišića ekstenzora koljena, koji je u ovom istraživanju označen sa EXPTRQ može smatrati indeksom mišićne snage ili slobodnije rečeno indeksom napretka mišića tokom rehabilitacije.

Analiza samo maksimalnog obrtnog momenta sile ekstenzora, odnosno samo jednog izokinetičkog parametra, ima izvjesnih ograničenja.

### **6.2.2. Analiza izokinetičkog parametra prosječna snaga ekstenzora operisane noge-EXAVP**

Ovaj parametar pokazuje prosječnu snagu mišića ekstenzora koljena operisane noge koju mišići pružaju prilikom izokinetičkog testa. Snaga mišića bi, ukoliko, bila mogućnost ili sposobnost mišića da proizvede određenu silu protiv izvjesnog otpora. Eksplozivna snaga mišića je dio sistema mišićne snage, ali se može posmatrati kao sistem u kome vodeću ulogu ima miotatički refleks, odnosno refleks istežanja. Ovaj refleks se ogleda u tome što se poslije istežanja mišić snažno kontrahuje. Eksplozivna snaga koja se ispoljava reaktivnom sposobnošću može se podijeliti na eksplozivnu snagu udarnog karaktera i eksplozivnu snagu oštrog udarnog karaktera. Mehanizam kojim se ispoljava eksplozivna snaga udarnog i oštrog karaktera je isti, osim što je kod oštrog potrebno amortizovati veću silu (Veličković i sar., 2018). Prosječna snaga ekstenzora koljena operisane noge u neposrednoj je vezi sa stepenom rezultata rehabilitacije nakon rekonstrukcije ACL, tako da je ona dobar pokazatelj napredovanja rehabilitacije. Istraživači su u



više navrata pokazali da je povećanje snage ekstenzora koljena uticalo na brže vraćanje povrijeđenog na nivo fizičkih aktivnosti prije povrede (Cristiani et al., 2019), a ovo istraživanje potvrđuje da snaga mišića prati napredovanje ostalih izokinetičkih parametara koje smo analizirali. Izokinetički parametar prosječna snaga ekstenzora operisane noge–EXAVP je na početku istraživanja bio na relativno nižem nivou, što smo utvrdili podjelom varijabli u modalitete–klase po veličini.

#### **6.2.2.1. Analiza izokinetičkog parametra prosječna snaga ekstenzora operisane noge–EXAVP na svim mjerenjima po ispitivanim grupama**

Analizirajući promjene koje su se desile sa izokinetičkim parametrom prosječna snaga ekstenzora operisane noge–EXAVP, uočava se da je u prve tri sedmice rehabilitacionog tretmana bio niži nivo prosječne snage ekstenzora u odnosu na kraj tretmana i istraživanja, tj. nakon šest sedmica.

Na **inicijalnom mjerenju** nije postojala značajna razlika između ispitivanih grupa. Rezultati  $\chi^2$ -testa ( $p=.772$ ) pokazuju da nema statistički značajne razlike između ispitivanih grupa. To ukazuje na činjenicu da je stepen slabljenja mišića prednje lože natkoljenice operisane noge nakon operacije bio jako blizak u obje ispitivane grupe.

Na **kontrolnom mjerenju** takođe nije bilo rezultata koji bi ukazivali na značajne razlike između ispitivanih grupa.

Na **finalnom mjerenju** je evidentna dominacija izokinetičkog vježbanja koja ostvaruje mnogo veći doprinos ostvarivanju mogućnosti mišića da proizvede određenu silu protiv otpora, odnosno pri konstantnoj ugaonoj brzini. Ovo govori da se u ispitivanoj grupi B–izotoničkoj desio prilično značajan skok snage ekstenzora operisanog koljena, te da je rehabilitacija dala dobar efekat kada je u pitanju restauracija snage mišića ekstenzora koljena. Ali, procjenjujući rezultate izokinetičkih testova u ispitivanoj grupi A–izokinetičkoj može se uočiti iznenađujući skok snage mišića ekstenzora, što se očitovalo do sada najvećim povećanjem. **Veoma značajno povećanje mišićne snage rezultat je upravo izokinetičkog vježbanja, a ne vremenskog faktora.** Naime, neka istraživanja potvrđuju da nakon šest do devet mjeseci nakon rekonstrukcije ACL dolazi do izjednačavanja efekata izokinetičkog i izotoničkog vježbanja (Cristiani et al., 2019). Moguće je da linearnom progresijom dolazi do ujednačavanja rezultata nakon dužeg vremenskog perioda, ali u ovom, relativno kratkom periodu (šest sedmica) izokinetičko vježbanje je omogućilo izuzetno bolji efekat, što potvrđuju i navedena istraživanja. Na taj način su u potpunosti

opravdani rezultati ovog istraživanja na inicijalnom, ali posebno na kontrolnom i finalnom mjerenju, koji su u relativnoj nesaglasnosti sa prethodno navedenim istraživanjem. Dugotrajna insuficijencija ekstenzora koljena (*m. quadriceps*) je česta nakon rekonstrukcije ACL. Nadalje, u jednom istraživanju autori ispituju ugao pod kojim se indukuje najveća snaga prednje lože (*m. quadriceps*), nalazeći da je to 60° stepeni ( $P < 0.01$ ,  $d \geq 0.892$ ). Ovo se u potpunosti poklapa sa ovim istraživanjem, tako da se može potvrditi da je referentna snaga mišića ekstenzora koljena upravo u tom obimu pokreta koljena (Huang et al., 2017). Na osnovu redovnog rehabilitacionog protokola uz korišćenje izokinetičkog sistema treninga, autori zaključuju da je izokinetika veoma korisna u ranom oporavku snage mišića, zarastanju grafta, pa čak i u dugoročnim histološkim rezultatima nakon rekonstrukcije ACL (Liu et al., 2019). Rezultati ovog istraživanja su u pozitivnoj korelaciji sa navedenim. Izokinetička snaga ekstenzora značajno opada sa povećanjem brzine kontrakcije. To je u skladu sa mnogim studijama (Maly et al., 2016). Uopšteno govoreći, što se više povećava brzina pokreta prilikom koncentrične kontrakcije, sila koju je mišić u stanju da izvrši opada, pa samim tim i snaga. Na osnovu ove krive za očekivati je veća proizvodnja mišićne sile pri manjim ugaonim brzinama, a manju pri većim. Pri visokim ugaonim brzinama (240°/s i više), dolazi do potencijalno veće neuro–mišićne adaptacije usmjerene na značajnu proizvodnju sile u relativno kratkom vremenskom periodu. Razlog bržeg oporavka mišićne snage tim je veći, a u ovom istraživanju se jasno uočava da izokinetičko vježbanje to postiže. Na kraju istraživanja imamo veliku razliku između ispitivanih grupa sa vrijednošću diskriminativne analize od 0.656. U svakom slučaju vidi se da prosječna snaga mišića prati maksimalni obrtni moment, ali ne uvijek linearno, što je uslovljeno stepenom napretka rehabilitacije, ali i fiziološkim osnovama zarastanja operativnog polja koljena i postepenom hipertrofijom mišića.

Posmatranjem hoda uviđamo smanjenu mišićnu snagu *m. quadriceps*–a, naročito *m. vastus medialis*–a koji vrši posljednjih 10–15° ekstenzije koljena. Biomehaničke promjene koljena i noge u cjelini dovode do toga da osobe sa rekonstrukcijom ACL imaju veći stepen fleksije koljena za vrijeme faze oslonca u poređenju sa hodom zdravih osoba. Razlog za to je smanjenje snage *m. quadriceps*–a. (Kaur et al., 2016).

### **6.2.3. Analiza izokinetičkog parametra ukupni rad ekstenzora operisane noge–EXTW**

U ovom istraživanju mjereni su izokinetički parametri koji precizno definišu ukupni rad mišića (*total work / TW–J*), a koji su izmjereni pomoću izokinetičkog dinamometra (Biodex<sup>TM</sup>Multi

JointSystem 4 Pro). Korišćenje ovog parametara u svrhu istraživanja ishoda rehabilitacije pacijenata nakon rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta nalazimo kod manjeg broja autora koji se bave ovom problematikom. U ovom istraživanju smo ga koristili da bismo dobili što jasniju sliku razlike izokinetičkog i izotoničkog vježbanja, smatrajući da količina ukupnog rada koju obavi mišić utiče na promjene morfologije i funkcije mišića nakon rehabilitacionog tretmana. Kod nekih vrsta mišićnog rada nastoji se postići maksimalni efekat bez obzira na faktor izdržljivosti, dok je kod drugih vrsta mišićnog rada bitno da se održi optimalni efekat kroz određeno vremensko razdoblje. Prvi tip rada često nalazimo kod zahtjevnih sportskih aktivnosti, a sa drugim tipom se susrećemo u svakodnevnom životu i smatramo ga mišićnim radom u užem smislu riječi. Ukupni rad–TW (J) koji se mjeri na izokinetičkom testu bliži je prvom tipu.

#### **6.2.3.1. Analiza izokinetičkog parametra ukupni rad ekstenzora operisane noge–EXTW na svim mjerenjima prema ispitivanim grupama**

Iz rezultata ovog istraživanja se vidi da se ukupni rad ekstenzora mijenjao kako se mijenjala sila koju je indukovao mišić, a manje je uticao pređeni put jer je ugaona brzina bila određena i ograničena (60°/s). Kod ispitivanih grupa (A–izokinetičke i B–izotoničke) nisu definisana posebna svojstva.  $\chi^2$ –test ( $p=.772$ ) pokazuje da ne postoji povezanost između ispitivanih grupa i EXTW, a s obzirom da je  $\chi=.053$  povezanost je vrlo niska–beznačajna. Vidimo da se ukupni rad ne razlikuje po karakteristikama ispitivanih grupa od obrtnog momenta, čime pokazuje da je proizašao iz indukovane sile mišića ekstenzora.

Na **inicijalnom mjerenju** su kod obje ispitivane grupe vrijednosti ukupnog rada bile relativno niske. Razlika između ispitivanih grupa je bila beznačajna.

Na **kontrolnom mjerenju** se može uočiti da je bilo pomaka u obje ispitivane grupe, ali nedovoljno je za tvrdnju da postoji razlika između izokinetičkog i izotoničkog vježbanja. Ukupni rad mišića ekstenzora pri ugaonoj brzini od 180°/s je, zapravo, pokazatelj izdržljivosti tih mišića. Snaga mišića je njegova sposobnost da proizvede silu protiv otpora, dok je mišićna izdržljivost sposobnost mišića da izvodi neku određenu aktivnost duže vrijeme. Snaga mišića se unapređuje primjenom većih opterećenja, ali sa manjim brojem ponavljanja. Izdržljivost i snaga ekstenzora koljena nakon rekonstrukcije ACL koreliraju sa nivoom rezultata rehabilitacije.

Na **finalnom mjerenju** vidimo jasnu dominaciju ispitivane grupe A–izokinetičke. Ovdje treba istaći da bi bilo dobro u budućim istraživanjima potencirati praćenje ispitivanih grupa na nivoima od šest, odnosno devet i dvanaest mjeseci, kako bi se analizirali rezultati koji upućuju na

eventualne promjene tokom dužeg vremenskog perioda, tj. izjednačavanje funkcionalnog statusa ispitanika podvrgnutih različitim modulima vježbi sa otporom. Za očekivati je da se vremenom svi rezultati približe, da distance budu sve kraće, ali ostaje zaključak da postoji velika prednost izokinetike u periodu od mjesec do dva mjeseca rehabilitacije, počevši od tri mjeseca nakon hirurške rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta.

#### **6.2.4. Analiza izokinetičkog parametra deficit momenta sile ekstenzora operisane noge u odnosu na neoperisanu–EXDEF**

Bazično objašnjenje za pojavu hipotrofije i atrofije mišića ekstenzora koljena moglo bi biti da ograničena ili totalna nepokretljivost i bol u koljenu utiče prvenstveno na mišiće ekstenzore koljena, što dovodi do amiotrofije m. quadriceps–a i s tim u vezi smanjenja performansi cijelog ekstenzornog lanca mišića. Oporavak funkcije mišića natkoljenice nakon rekonstrukcije ACL najčešće se izražava kao razlika između povrijeđenog i nepovrijeđenog ekstremiteta pomoću indeksa simetrije ekstremiteta (LSI) ili deficita povrijeđenog ekstremiteta u odnosu na nepovrijeđeni (deficit–DEF), kao što je to u ovom istraživanju.

U zadnjih dvadeset godina postoji značajan broj naučnih radova na temu smanjenja deficita mišića ekstenzora koljena operisane noge nakon rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta. Razlika obrtnog momenta sile ekstenzora operisane u odnosu na neoperisanu nogu je jako bitna za funkcionisanje koljena, ali se vremenom taj nedostatak reflektuje i na ostale zglobne sisteme (De Ste Croix et al., 2017). Ovo istraživanje potvrđuje pomenute činjenice koje nalazimo i kod niza drugih autora (Goetschius & Hart, 2016).

##### **6.2.4.1. Analiza izokinetičkog parametra deficit momenta sile ekstenzora operisane noge u odnosu na neoperisanu nogu–EXDEF na svim mjerenjima prema ispitivanim grupama**

Na osnovu dobijenih rezultata ovog istraživanja može se uočiti da je na početku istraživanja ispitvana grupa A–izokinetička imala blago veći deficit m. quadriceps–a (EXDEF), a s obzirom da je  $\chi=0.093$  povezanost sa ispitivanom grupom B–izotoničkom je vrlo niska. Imajući u vidu rezultat  $\chi^2$ –testa ( $p=.811$ ), može se reći da nije postojala povezanost između ispitivanih grupa i izokinetičkog parametra deficit momenta sile ekstenzora operisane noge u odnosu na neoperisanu nogu–EXDEF na inicijalnom mjerenju.

Jedan od problema koji se ponavljaju nakon povrede, a zatim rekonstrukcije ACL je rezidualni deficit m. quadriceps–a operisane noge u odnosu na zdravu (Harkey et al., 2016; Kuenze et al.,

2016;; Thomas et al., 2016). Cilj je smanjenje deficita mišića ekstenzora koljena operisane noge koji je uočen u ovom istraživanju prilikom inicijalnog mjerenja (EXDEF). Vrijednost EXDEF u ispitivanoj grupi A–izokinetičkoj se kretala od 12.3–76.8% a u ispitivanoj grupi B–izotoničkoj od 12.2–80.2%. Da bi oporavak bio uspješan, trebao je biti nadoknađen prilično veliki procenat deficita.

Na **inicijalnom mjerenju** je razlika između ispitivanih grupa bila beznačajna. Bilateralne razlike ekstenzora koljena (m. quadriceps) pri ugaonoj brzini od 60°/s bile su veće pri uglu fleksije koljena većem od 50° u poređenju sa istim testom pri ugaonoj brzini od 180°/s. Dakle, sposobnost da se proizvede visok obrtni moment sile ekstenzora koljena je narušen kod operisane noge, a posebno pri većim uglovima savijanja koljena.

Smanjenje mišićne snage, bilateralni deficiti natkoljenih mišića i inhibicija m. quadriceps–a su nezaobilazni nakon hirurške rekonstrukcije ACL, čak i nakon što se pacijent vrati u sport. Pokazalo se da je indeks simetrije ekstremiteta 73,7% za snagu m. quadriceps–a kod pacijenata koji su imali rekonstrukciju ACL. Ovo je slično prethodnim nalazima od 25% i 30% deficita snage m. quadriceps–a u zavisnosti od toga da li se pacijent mogao vratiti na nivo sporta prije povrede ACL nakon njegove rekonstrukcije (Novaretti et al., 2018). Grapar Žargi i sar. (2017) navode da su deficiti snage m. quadriceps–a zbog atrofije ovog mišića tokom postoperativnog perioda povezani sa promjenama koje se javljaju već od dvanaeste sedmice nakon operacije, što odgovara rezultatima ovog istraživanja na inicijalnom mjerenju. Kuenze i sar. (2016) zaključuju da je za proces oporavka potrebno čak pet godina nakon operacije.

Na **kontrolnom mjerenju** je došlo do raslojavanja među ispitivanim grupama, tako da primjećujemo razliku među njima. Vidimo da se deficit ekstenzora u obje ispitivane grupe polako smanjuje, tj. da stanje ekstenzora koljena operisane noge postaje sve sličnije stanju istih mišića neoperisane noge.

Na **finalnom mjerenju** je došlo do veoma jasne granice između ispitivanih grupa, odnosno vidjela se dominantnost izokinetike po pitanju nadoknade mišićnog deficita ekstenzora koljena.

Na osnovu dobijenih rezultata  $\chi^2$ -testa ( $p=.000$ ) vidimo da **postoji povezanost** između ispitivanih grupa i izokinetičkog parametra deficit momenta sile ekstenzora (%) operisane noge u odnosu na neoperisanu nogu–EXDEF, a s obzirom da je  $\chi=.549$ , **povezanost je umjerena**.

Kako se iznos deficita do 20% ( $EXDEF \leq 20\%$ ) smatra kao prihvatljiv deficit bez velikog kliničkog značaja, dok je  $EXDEF \leq 10\%$  u fiziološkim granicama, izokinetičko vježbanje je u potpunosti zadovoljilo rehabilitacione kriterijume. Pojednostavljeno, pacijent bi trebao pokazati preko 90% simetrije operisanog ekstremiteta ( $LSI > 90\%$ ) na kliničkom testu indeksa simetrije (*Limb Symmetry Index*), što odgovara vrijednosti deficita obrtnog momenta ekstenzora operisane noge manjoj od 10% na izokinetičkom testu ( $EXDEF \leq 10\%$ ) u ovom istraživanju. Da bi prešao u fazu povratka sportu, pacijent mora uspješno završiti neuromišićnu rehabilitaciju bez epizoda nestabilnosti. Izokinetičkim mjerenjem trebalo bi ustanoviti simetriju mišićne snage ekstenzora koljena sa suprotnom stranom preko 90% (Paterno, 2017), odnosno, kako je to predstavljeno u ovom istraživanju, da deficit ekstenzora operisane noge ne bude veći od 10% ( $EXDEF \leq 10\%$ ). Sa druge strane, neki autori tvrde da bi bilateralni odnos ili indeks simetrije mišića natkoljenice, a posebno prednje lože (ekstenzora koljena/m. quadriceps) trebao biti drugačiji. U ovom radu to bi odgovaralo smanjenju deficita ekstenzora koljena ( $EXDEF$ ) do nešto viših nivoa od gore navedenih. Brojni autori koji su se bavili ovim deficitom i mogućnošću povratka pacijenta sportskim aktivnostima preporučuju minimalnu razliku u jačini između operisane i zdrave noge u iznosu od 10% do 15% ( $EXDEF \leq 15\%$ ), odnosno poželjno je da jačina operisane noge iznosi 85% do 90% od jačine zdrave noge, kako bi se uklonila sva ograničenja u vezi dozvoljenih oblika kretanja i neometanog povratka sportskom takmičenju. U ovim radovima se uočavaju dva načina izražavanja potpuno iste problematike. U prvom slučaju se uočava način identičan primenjenom u ovom radu, gdje se izražava postotak zaostajanja–deficita ( $EXDEF$ ), dok u drugom vidimo procenat parametra operisane noge u odnosu na zdravu. U ovom istraživanju koristimo način izražavanja kao u prvom radu, što se i podudara sa navedenim referentnim radovima. Slično prethodnim nalazima u literaturi, deficit snage m. quadriceps–a nastavio je da postoji i nakon rehabilitacije, preko pet mjeseci od operacije na operisanom ekstremitetu u poređenju sa zdravim (Boo et al., 2018; Novaretti et al., 2018). Na kraju rehabilitacionog tretmana je utvrđeno da je ova varijabla bila u postepenom smanjenju u obje ispitivane grupe nakon tri sedmice rehabilitacionog tretmana, ali izrazito se razlikovala nakon šest sedmica tretmana u korist A–izokinetičke grupe. Ovo istraživanje dokazuje superiornost izokinetike u odnosu na klasičnu rehabilitaciju jer su ispitanici A–izokinetičke grupe pokazali znatno veći napredak u odnosu na klasičnu grupu B–izotoničku kada je u pitanju povećanje obrtnog momenta sile ekstenzora koljena, kao i smanjenja njegovog deficita u odnosu na nepovrijeđenu

nogu, što pronalazimo i u nizu radova mnogobrojnih autora (Garcia et al., 2020; Eitzen et al., 2016).

Kako je minimalna vrijednost EXDEF na kraju istraživanja u ispitivanoj grupi A–izokinetičkoj bila 0.9%, a srednja vrijednost 9.64% vidimo da je u potpunosti rehabilitacija završena za te pacijente. Vrijednosti koje idu do maksimalne (16.7%) zahtijevaju dalju rehabilitaciju, ali je za pretpostaviti da neće trajati dugo niti su potrebni veći napori, tako da se i dalje preporučuje izokinetika, možda nešto manjeg intenziteta (veće ugaone brzine, preko 150°/s). Osim izokinetičkog treninga, koji se u zaključku ovog rada preporučuje, autori izvještavaju da i pliometrijske vježbe koje se provode prije treninga, kao i trčanje, vježbe promjene smjera i treninzi okretnosti daju odlične rezultate (Wilk & Arrigo, 2017). De Andrade i sar. (2020) u jednom istraživanju ispituju deficite snage mišića natkoljenica kod operisane noge i navode da je asimetrija mišićne snage nakon rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenata povezana sa povećanjem razvoja novih lezija. Ova asimetrija je precizno procijenjena izokinetičkom dinamometrijom, koja je, kao što vidimo, visoko moderna tehnologija, ograničena na specijalizovane Ustanove. Tako je cilj jedne studije bio da se testira tačnost jednog od najčešće korišćenih funkcionalnih upitnika, Lisholm upitnika, kako bi se dijagnostikovao deficit obrtnog momenta sile natkoljenih mišića operisane noge. Autor iznosi da vrijednost Lisholm upitnika preko 89 indikuje da je deficit ekstenzora koljena (EXDEF) manji od 20%, što znači da je klinički prihvatljiv, odnosno da je koljeno van mogućnosti ponovne povrede. Svrha studije Lee i sar. (2020) bila je bilateralno poređenje debljine (poprečnog presjeka) svakog sastavnog dijela m. quadriceps-a zasebno, prije i nakon operacije. Rezultati naglašavaju potrebu za progresivnim vježbama jačanja, kako bi se vratila debljina ovog mišića nakon operacije. Kako promjene poprečnog presjeka mišića odgovaraju njegovom deficitu, a u progresivno jačanje spada i izokinetički trening, možemo reći da ovaj rad apsolutno pozitivno korelira sa navedenim.

Slabost ekstenzora koljena (m. quadriceps) je uobičajeni klinički znak nakon povrede, potom operacije prednjeg ukrštenog ligamenta. Cilj istraživanja Nagai i sar. (2020) bio je da se uporede deficiti snage i bilateralni odnosi, tj. indeks simetrije ekstremiteta (*limb symmetry index*-LSI) koristeći tri različita tipa funkcionalnih testova. Vrijednosti maksimalnog obrtnog momenta ekstenzora koljena bile su pozitivno povezane sa rastojanjem skoka i snagom nogu tokom leg press testa. Međutim, LSI vrijednosti treba tumačiti s oprezom jer su testovi skoka dali značajno veće LSI vrijednosti od izokinetičkog testiranja. Autori zaključuju da izokinetičko vježbanje i

jednostrani leg press mogu da se koriste za izolovanje i jačanje četvoroglavog mišića buta operisane noge, što je istaknuto i u ovom radu kada je u pitanju izokinetika.

Oslabljena kontralateralna mišićna snaga može dati lažne parametre poređenja kada se procjenjuju rezultati operisanog ekstremiteta, sa čim se ovo istraživanje samo djelimično slaže. Smatramo da deficiti koji se nađu tri mjeseca nakon operacije ACL ipak jasno ukazuju na nesrazmjer u mišićnoj snazi operisane noge.

Studija koju je objavila Królikowska i sar. (2018) je istraživala simetriju ekstremiteta kod vertikalnih skokova nakon rekonstrukcije ACL između grupe pacijenata koji su imali dužu fizioterapijsku proceduru pod nadzorom fizioterapeuta i grupe pacijenata koji su imali kraću fizioterapijsku proceduru takođe pod nadzorom fizioterapeuta. U grupi koja je podvrgnuta kraćoj proceduri, simetrija donjih ekstremiteta prilikom sunožnih vertikalnih skokova sedam mjeseci postoperativno, bila je na lošijem nivou nego u grupi pacijenata koji su imali dužu fizioterapijsku proceduru pod punim nadzorom i kod zdravih osoba. Postoperativna fizioterapijska procedura pod potpunim nadzorom je efikasnija za poboljšanje simetrije donjih ekstremiteta prilikom sunožnih vertikalnih skokova. Što se tiče simetrije ekstremiteta sa vertikalnim skokom u doskoku sa jednom nogom, pacijenti koji su bili podvrgnuti kraćoj kontrolisanoj proceduri postigli su podjednake rezultate sa pacijentima koji su bili podvrgnuti dužoj proceduri pod nadzorom fizioterapeuta. Ovo istraživanje samo djelimično pozitivno korelira sa navedenim, s obzirom da je bolji efekat postignut na finalnom mjerenju nakon šest sedmica rehabilitacionog tretmana nago na kontrolnom nakon tri sedmice. Kod pacijenata–ispitanika, trajna hipotonija i hipotrofija natkoljene muskulature operisane noge otkrivena je kliničkim pregledom kod preko 60% slučajeva, a dominirala je hipotrofija natkoljene muskulature pri kojoj je obim natkoljenice bio manji do 2 cm u odnosu na kontrolnu neoperisanu nogu. Ona je nađena kod preko 50% operisanih. Zaostajanje krajnje fleksije od 20° nađeno je kod oko 30%, ekstenzije od 10° kod približno 40% bolesnika.

Čini se da rekonstrukcija ACL normalizuje funkciju m. quadriceps–a u nižim uglovima fleksije koljena. Štaviše, izmijenjena mišićna funkcija kod pacijenata nakon rekonstrukcije ACL može predstavljati adaptaciju na sveukupno smanjenje opterećenja zgloba koljena i nije direktno povezana sa mehaničkom stabilnošću grafta. Prijavljeni su mnogi potencijalni uzroci koji se odnose na uočeni deficit m. quadriceps–a na operisanoj nozi, uključujući atrofiju mišićnih vlakana tipa II, neujednačenu atrofiju u sastavnim dijelovima (pojednim glavama) m.



quadriceps—a (Norte et al., 2018), promijenjenu mehaniku zgloba koljena (Nagai et al., 2018), te zglobnu (artrogenu) inhibiciju mišića, što smo i mi registrovali prilikom izrade ove disertacije. Smatramo da bi buduće studije trebale pokazati da li trening (sa otporom) koji koristi individualno prilagođene uglove zgloba koljena i specifične ugaone brzine može biti učinkovitiji za smanjenje deficita m. quadriceps—a. Kako upravo izokinetički trening pruža sve navedene uslove, mi smo u ovom istraživanju potvrdili tu činjenicu. Cilj istraživanja Manevskog i sar. (2016) je bio da istraži uticaj izokinetike na povrede ACL. Za studiju slučaja uzet je profesionalni fudbaler star 26 godina, koji je liječen uz pomoć Biodex izokinetičkog dinamometra (identično kao i u ovom istraživanju) kroz izokinetičko vježbanje, odnosno metodu „*Piramide*“ (od lakšeg do težeg nivoa opterećenja). Za praćenje i analizu su korišćeni izokinetički parametri fleksora i ekstenzora povrijeđenog koljena dobijeni putem izokinetičkog testa, što je potpuno u saglasnosti sa ovim istraživanjem. Glavni zadaci ove studije su bili: pokazati djelotvornost izokinetičke dijagnostike i izokinetičkog vježbanja nakon povreda ACL kod sportista, utvrditi razlike u rezultatima rehabilitacije nakon povrede ACL sa i bez primjene izokinetike, te dokazati prednosti rane izokinetičke dijagnostike. Ispitanik je imao urađenu rekonstrukciju ACL, rehabilitacija nakon rekonstrukcije ACL izvedena je bez učešća izokinetičkog aparata, gdje se nakon deset mjeseci od operacije opet vraća u trenažni proces. Međutim, nakon svakog treninga javlja se bol i otok u koljenu. Nakon preporuke fizioterapeuta, ispitanik je prekinuo sa redovnim trenažnim procesom. Preporučena mu je fizikalna terapija za smanjenje bolova i otoka u koljenu. Nakon sedmodnevne fizikalne terapije bol se smirio, otok je smanjen i ispitanik je bio spreman za izokinetičko testiranje. Rezultati testa bili su veoma zanimljivi. Deficit obrtnog momenta ekstenzora operisanog koljena bio je preko 20%. Očito je ovaj ispitanik bio prerano vraćen u trenažni proces, dok bi u slučaju izokinetičke rehabilitacije taj period sigurno bio dovoljan da se deficit nadoknadi. Tada je bilo jasno zašto su se nakon svakog treninga pojavljivali bol i otok u koljenu. Autori prikazuju podatke koji su identični onima iz Biodex 4 Pro softvera, a prikazani su rezultati izokinetičkih parametara ekstenzora koljena pri ugaonoj brzini od 60°/s (kao i u ovom istraživanju), koji nam daju rezultate mišićne snage, gdje se može primijetiti da je tokom testiranja ekstenzora operisanog koljena, m. quadriceps operisane noge slabiji i zaostaje za 45,7% u poređenju sa neoperisanom nogom. Prema grafičkom prikazu, operisana noga ima maksimalni obrtni moment sile ekstenzora 153,9Nm, dok ovaj parametar kod neoperisane noge iznosi 283,5Nm. U ovom istraživanju smo imali slične vrijednosti (medijana

ekstenzora operisane noge iznosi 186,5Nm, a medijana ekstenzora neoperisane noge iznosi 290,8Nm), a ovaj parametar je kod nas prikazan kao EXPTRQ. I u ostalim parametrima je primjetna asimetrija, baš kao i u ovom istraživanju. Kao što vidimo, vrlo slični rezultati, dobijeni na istoj ugaonoj brzini (60°/s) i na isti način, dobijeni su i u ovom istraživanju, samo na velikom uzorku, čija je relevantnost provjerena u G–Power sistemu i koji je pokazao da je uzorak reprezentativan. Na taj način možemo slobodno potvrditi dominantnost izokinetike u nadoknadi deficita obrtnog momenta ekstenzora koljena. Zato smatramo da bi bilo dobro prije vraćanja sportiste u trenažni proces raditi na nadoknadi deficita mišića, koristeći u prvom redu izokinetičko vježbanje. Veliki je nedostatak omogućiti profesionalnom sportisti (fudbaleru) da se vrati u trenažni proces nakon rekonstrukcije ACL bez prethodne nadoknade mišićnih deficita. Prvo se mora smanjiti deficit snage ekstenzora koljena (m. quadriceps) operisane noge, odnosno izjednačiti snaga m. quadriceps–a operisane i zdrave noge ili dovesti deficit do 10% razlike koja je unutar granice normalnog, što smo mi uspjeli u ovom istraživanju kod većine ispitanika grupe A–izokinetičke ( $EXDEF \leq 10\%$ ). Pored toga, slabost ekstenzora koljena nakon povrede i rekonstrukcije ACL predstavlja značajan faktor rizika za razvoj osteoartritisa. Odnos snage prednje lože natkoljenice i fiziološke pokretljivosti koljena dugo vremena je bio sporan. Ipak, sada postoje čvrsti dokazi da snažan m. quadriceps vrši stabilizaciju koljena pri stajanju, hodu i ostalim složenijim fizičkim aktivnostima, a naročito u sportu. To je izuzetno izraženo i kod pacijenata nakon rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta. Snaga ekstenzora koljena je nakon rekonstrukcije ACL u velikoj mjeri smanjena u odnosu na fleksore zbog neuromišićnog disbalansa koji nastaje oštećenjem proprioceptivnih elemenata i fenomena „poštede m. quadriceps–a” prilikom hoda (Friedmann-Bette et al., 2018), što je u ovom radu analizirano kao deficit ekstenzora koljena operisane noge u odnosu na neoperisanu (EXDEF).

Studije koje su sprovedene na ovu temu obuhvataju malu seriju pacijenata i imaju metodološke slabosti. Statističkom analizom nije pronađen superioran metod u rehabilitovanju pacijenata sa ovim bolom u koljenu. Mi se nismo konkretno bavili ovim problemom u ovom istraživanju, ali je on vezan za neblagovremenu rehabilitaciju deficita ekstenzora koljena nakon rekonstrukcije ACL, pa ga u tom kontekstu i pominjemo. Pored toga, brojni drugi faktori utiču na restauraciju deficita ekstenzora koljena kao što su anksioznost, kineziophobia, razne životne navike, te ih je potrebno uzeti u obzir. U posljednje vrijeme studije su pokazale da tretman mora da traje minimalno osam sedmica jer poslije šest sedmica primjene fizikalne terapije nisu viđeni rezultati

poboljšavanja, sa čime se ne slažu rezultati ovog rada jer su upravo nakon šestosedmične rehabilitacije ispitanici imali izuzetne rezultate. Jedan od razloga bi mogao biti i taj da su ispitanici u ovom istraživanju imali hiruršku rekonstrukciju prednjeg ukrštenog ligamenta, za razliku od gore navedenih, ali je izvjesno i to da je primjena izokinetike ubrzala proces uspješne rehabilitacije. Fizioterapeuti i sportski treneri moraju da budu dobro informisani o načinu i dužini liječenja ovih pacijenata kako bi se ostvario bolji učinak mladih sportista, a time i bolji rezultati. Može se zaključiti da je jačanje cijelog četvoroglavog mišića buta (podjednako m. vastus medialis-a i m. vastus lateralis-a) značajno u programu rehabilitacije pacijenata sa patelofemoralnim bolom, sa čime se slažu i rezultati ovog istraživanja, uzimajući u obzir da su ova vrsta bola i ova vrsta atrofije gotovo uvijek prisutni kod pacijenata nakon rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta.

Jedno od najčešćih pitanja u kliničkoj praksi sa pacijentima nakon rekonstrukcije ACL je kada početi sa trčanjem. Odluka da se pacijentu nakon rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta dozvoli trčanje je empirijska, a najčešće korišćeni kriterijumi su vezani za postoperativne deficite. Simetrija izokinetičkih parametara m. quadriceps-a (EXDEF) sa graničnim vrijednostima od 40%, mogla bi biti koristan kriterijum. Dauty i sar. (2021) su istraživali povezanost između indeksa simetrije m. quadriceps-a većeg od 60% ( $LSI \geq 60\%$ ) i početka trčanja nakon rekonstrukcije ACL. U ovom istraživanju bi to odgovaralo vrijednosti deficita ekstenzora manjoj od 40% ( $EXDEF \leq 40\%$ ). Pomenuti autori u retrospektivnoj studiji u periodu od deset godina uključili su 470 pacijenata koji su imali rekonstrukciju ACL. Četiri mjeseca nakon rekonstrukcije ACL, učesnici su uradili izokinetičko testiranje m. quadriceps-a pri ugaonoj brzini od  $60^\circ/s$  gdje je mjereno maksimalni obrtni moment ekstenzora koljena (m. quadriceps-a) pri koncentrično-koncentričnoj kontrakciji, što je korišćeno za izračunavanje indeksa simetrije. To je u potpunosti identično kao u ovom radu, gdje smo koristili istu ugaonu brzinu, isti modul testiranja (con-con, koji smo detaljno opisali u Poglavlju 4.), i indeks simetrije m. quadriceps-a, kojeg u ovom radu zamjenjuje izokinetička varijabla EXDEF. Takođe, radi se o populaciji koja je imala slično vrijeme nakon operacije. Svim pacijentima koji su imali indeks simetrije m. quadriceps-a veći od 60% predložen je povratak trčanju. U ovom radu bi to odgovaralo ispitanicima koji su imali deficit ekstenzora manji od 40% ( $EXDEF \leq 40\%$ ). Šest mjeseci nakon rekonstrukcije ACL, dakle dva mjeseca nakon prvog testiranja, nakon kliničke procjene, učesnici su vraćeni u redukovane sportske aktivnosti, odnosno pravolinijsko trčanje,

poštujući eventualne komplikacije. Sačinjen je multivarijabilni prediktivni model, radi procjene efikasnosti i uzeti su u obzir svi faktori koji bi mogli učestvovati u nastajanju ovih graničnih vrijednosti ( $LSI \geq 60\%$ -ekvivalentno vrijednosti  $EXDEF \leq 40\%$  u ovom istraživanju). Na osnovu usaglašenog protokola o donošenju odluke o početku trčanja, 285 pacijenata je bilo sposobno da se vrati trčanju četiri mjeseca nakon rekonstrukcije ACL, a njih 185 nije, s tim da 21% ( $n=59$ ) i 24% ( $n=45$ ), respektivno, nisu bili u skladu sa ovom preporukom. Poslije šest mjeseci praćenja, nije bilo rupture grafta. Rezultat multivarijabilne logističke regresione analize pokazuje da je povratak trčanju korišćenjem granice od 60% indeksa simetrije m. quadriceps-a ( $EXDEF \leq 40\%$ ) povezan sa istezanjem zadnje lože natkoljenice (odnos incidence 2.60, 95% interval pouzdanosti [CI] 1,75–3,84;  $P < 0,0001$ ) i odsustvom komplikacije koljena (1.18, 1.07–1.29;  $P = 0.001$ ) četiri mjeseca nakon operacije. Osjetljivost i specifičnost protokola (60% indeks simetrije– $EXDEF \leq 40\%$ ) je 83%, odnosno 70%. Autori zaključuju da bi korišćenje indeksa simetrije m. quadriceps-a (60% indeks simetrije– $EXDEF \leq 40\%$ ), četiri mjeseca nakon rekonstrukcije ACL moglo pomoći u odluci da se dozvoli povratak trčanju. U ovom radu to bi odgovaralo stanju gdje je deficit maksimalnog obrtnog momenta sile ekstenzora koljena manji od 40% ( $EXDEF \leq 40\%$ ), sa čim bismo se samo djelimično složili. Smatramo da bi u većini slučajeva ovaj povratak trčanju bio preuranjen, ili bi možda trebalo uzeti u obzir više kriterijuma, prije svega opsežan klinički status i odnos prednje i zadnje lože natkoljenice (AGANR). Ovim povezujemo izokinetičke parametre i ističemo važnost njihove zajedničke analize prilikom donošenja odluka o promjeni strategije rehabilitacije ili uključivanja pacijenta u trenažni proces, kao i drugih odluka vezanih za povratak na radno mjesto ili rekreativnim aktivnostima.

Kada su u pitanju aktivni sportisti, velika je razlika u tome kada je igrač van trenažnog procesa nakon povrede, a ne sa timom. Igrač koji se poslije rehabilitacije vraća u tim treba da se uključi u individualni pripremni trenažni proces po unaprijed određenom rasporedu i planu. Prema podacima dobijenim izokinetičkim testiranjem možemo zaključiti da je igrač prerano vraćen u trenažni proces sa timom, registrujući visoke rezultate deficita izokinetičkih parametara operisane noge u odnosu na neoperisanu. Osim toga, mogu se javiti bolovi i otoci, a ako igrač nastavi sa treninzima može doći do novih povreda. U jednom istraživanju, slijedeći preporuku fizioterapeuta, igrača su udaljili iz trenažnog procesa. Izradili su poseban plan i program rada u koji je uključen trening na izokinetičkim aparatu Biodex. Nakon dvije do tri sedmice ponovo je urađeno izokinetičko testiranje da se vidi da li je deficit smanjen i upoređuje se sa prethodnim

testiranjem. Prema rezultatima drugog izokinetičkog testiranja moglo se primijetiti da postoji veliki napredak, da upotreba izokinetičkog aparata Biodex ima veliki doprinos i ulogu u smanjenju deficita mišićnih parametara natkoljenice operisane noge. U analizi mišićne snaga ekstenzora koljena deficit je smanjen i sada iznosi 24,2%, a tokom fleksije deficit više ne postoji, sada je čak 11% bolji od suprotne noge. I ostali parametri takođe su poboljšani. Svi rezultati pozitivno koreliraju sa rezultatima ovog rada. Prema dobijenim rezultatima, preporuka je bila da se igrač i dalje ne uključuje u trenažni proces, da nastavi sa izokinetičkom rehabilitacijom još dvije do tri sedmice, kako bi se smanjio ili izjednačio deficit operisane u odnosu na neoperisanu nogu (Manevski i sar., 2016). Ovdje jasno vidimo da se plan podudara sa vremenskim trajanjem u ovom istraživanju (gdje je duži za oko jednu sedmicu). Upotreba izokinetičkih vrijednosti obrtnog momenta sile specifičnih za određene uglove pokreta koljena tako daje više informacija o stanju mišića prednje lože natkoljenice kod osoba sa povredom ACL, nego izvještavanje o samo jednoj maksimalnoj vrijednosti obrtnog momenta sile natkoljenih mišića.

Varijabilnost relativnog sadržaja mehanoreceptora i slobodnih nervnih završetaka je velika među različitim anatomskim strukturama.

Dakle, iz svega ovoga vidimo da je ovaj rad u potpunosti u korelaciji sa radovima većine kolega i da se još jednom sa čvrstim dokazima može reći da izokinetička dijagnostika, kao i izokinetičko vježbanje ima nezamjenjivu ulogu u rehabilitaciji nakon rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta, gdje je izjednačavanje obrtnog momenta ekstenzora operisane i neoperisane noge od primarnog značaja.

### **6.3. Analiza izokinetičkih parametara fleksora koljena operisane noge**

Mišići zadnje lože natkoljenice (*hamstring*) štite prednji ukršteni ligament koljena na taj način da smanjuju prednju translaciju tibije u odnosu na femur, i imaju ulogu da smanje opterećenje na ligament pa je njihova uloga ključna u prevenciji povreda prednjeg ukrštenog ligamenta. Mišići zadnje lože djeluju kao agonisti prednjeg ukrštenog ligamenta i imaju zaštitnu ulogu u amplitudi 15–30° fleksije koljena, a to je najčešća pozicija pri kojoj se dešava povreda prednjeg ukrštenog ligamenta (Suchomel et al., 2018).

U drugoj cjelini istraživanja su analizirani izokinetički parametri fleksora na inicijalnom mjerenju po ispitivanim grupama. Nakon tri sedmice rehabilitacionog tretmana uslijedilo je kontrolno mjerenje, a finalno nakon šest sedmica. Vidimo da se izokinetički parametri koji čine ovu tematsku cjelinu istraživanja povećavaju kod obje ispitivane grupe i na kontrolnom i na

finalnom mjerenju, s tim da je kod ispitivane grupe A–izokinetičke na finalnom mjerenju ovo povećanje značajno veće. Imamo veliku disperziju u rezultatima A–izokinetičke grupe, tj. slabiju homogenost, što govori da se u zadnjoj loži natkoljenice promjene dešavaju prilično individualno, i vjerovatno još uvijek nedovoljno nakon tri sedmice rehabilitacionog tretmana. Na kraju ovog istraživanja, analizirajući izokinetičke parametre fleksora koljena operisane noge, posmatrali smo distance između rezultata ove tematske cjeline istraživanja nakon tri i nakon šest sedmica rehabilitacionog tretmana. Uočava se da su najbliže ispitivane grupe B-izotonička na kontrolnom mjerenju i ispitivane grupe B-izotoničke na finalnom mjerenju sa distancom 0.22, a najveća razlika je između A-izokinetičke na inicijalnom i A-izokinetičke na finalnom mjerenju, sa distancom 13.17. Tu se vidi da je proces reparacije mišićnih performansi u zadnjoj loži natkoljenice pri klasičnom–izotoničkom vježbanju praktično priveden kraju nakon tri sedmice tretmana, odnosno vidljivo je da je razlika između tri i šest sedmica jako mala (0.22). Sasvim suprotno, kod izokinetičkog vježbanja vidimo da je taj prirast i dalje prisutan, odnosno da i nakon tri sedmice raste do šeste sedmice i ukupno iznosi 13.17. Posmatrajući dobijenu distancu između ispitivanih grupa na finalnom mjerenju, uočava se da je ona najveća u cijelom istraživanju, računajući sva mjerenja i sve tematske cjeline istraživanja. Može se reći da je duplo veća, odnosno da su duplo više izražene karakteristike ispitivane grupe A–izokinetičke u odnosu na grupu B–izotoničku. Vidljivo je da je izokinetički trening najviše doprinio razlikama između ispitivanih grupa upravo u ovoj tematskoj cjelini istraživanja. Izgleda da je za reparaciju mišićnih performansi zadnje lože natkoljenice (fleksora koljena) izokinetički trening bolje rješenje od klasičnog, i to dvostruko.

### **6.3.1. Analiza izokinetičkog parametra maksimalni obrtni moment sile fleksora operisane noge–FLPTRQ**

Da bi se povećao kapacitet stvaranja sile mišića, potrebno je povećati normalne nivoe aktivacije. Nivoi aktivacije se mogu povećati povećanjem broja stimulisanih mišićnih vlakana ili povećanjem brzine kojom se mišićna vlakna regrutuju, ili oboje.

#### **6.3.1.1. Analiza izokinetičkog parametra maksimalni obrtni moment sile fleksora operisane noge–FLPTRQ na svim mjerenjima po ispitivanim grupama**

Na **inicijalnom mjerenju** vidimo da su vrijednosti maksimalnog obrtnog momenta sile fleksora (Nm) operisane noge–FLPTRQ niske i umjereno niske.

Na **kontrolnom mjerenju** očigledno je postojala razlika u ispitivanim grupama, mada nije bila toliko izražena. Ono što je značajno je to da je došlo do napretka u rezultatima izokinetičkog parametra maksimalni obrtni moment sile fleksora (Nm) operisane noge–FLPTRQ u obje ispitivane grupe, tj. da je vidljiv prirast obrtnog momenta zadnje lože natkoljenice.

Na **finalnom mjerenju** je evidentan blagi porast izokinetičkog parametra maksimalni obrtni moment sile fleksora (Nm) operisane noge–FLPTRQ u ispitivanoj grupi B–izotoničkoj, ali ne u tolikoj mjeri u poređenju sa ispitivanom grupom A.

Nakon rekonstrukcije ACL česta pojava je slabljenje mišića zadnje lože natkoljenice upravo zbog samog izbora grafta. Ovo istraživanje je pokazalo da su pacijenti iz ispitivane grupe A–izokinetičke koji su provodili rehabilitaciju primjenom izokinetičkog rehabilitacionog protokola imali značajno bolje vrijednosti obrtnog momenta sile fleksora koljena na ugaonoj brzini od 60°/s nakon tri i šest sedmica rehabilitacije od pacijenata koji su rehabilitovani klasičnim protokolom rehabilitacije. Grupa istraživača nalazi da je primjenom hamstring grafta za rekonstrukciju ACL snaga zadnje lože oslabljena za čak 17% (Lee & Lee, 2020), dok ovo istraživanje nalazi i mnogo veća slabljenja, čak i preko 30 %, a slično dokazuju i mnoga druga istraživanja (Cristiani et al., 2019).

U ovom istraživanju, kod pacijenata nakon rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta koji su provodili izokinetički terapijski protokol vježbanja nađen je značajan napredak u obrtnom momentu fleksora koljena nakon šest sedmica provedenog rehabilitacionog tretmana. Jedan od mogućih razloga je da se izokinetičkim vježbanjem brže i efikasnije postiže jačina zadnje lože natkoljenice, što je u skladu sa hipotezama. Ujedno, na ovom nivou vidimo i najveći uticaj promjene izokinetičkih parametara na krajnji ishod istraživanja, odnosno najveći pomak je detektovan upravo na ovom izokinetičkom parametru. To vidimo na dendogramu (2) gdje su prikazane distance rezultata po ispitivanim grupama i po mjerenjima u odnosu na pojedine parametre, a za izokinetički parametar maksimalni obrtni moment sile fleksora (Nm) operisane noge–FLPTRQ na finalnom mjerenju u ispitivanoj grupi A–izokinetičkoj, u odnosu na inicijalno mjerenje iznosi **13.17**.

I drugi autori potvrđuju dominaciju izokinetičkog vježbanja kod restauracije obrtnog momenta zadnje lože natkoljenice nakon rekonstrukcije ACL (van Melick et al., 2022; Read et al., 2022; Oleksy et al., 2023).

### **6.3.2. Analiza izokinetičkog parametra prosječna snaga fleksora operisane noge–FLAVP**

Mišići fleksori koljena (mišići zadnje lože natkoljenice-*hamstrings*), kao što je rečeno, štite prednji ukršteni ligament koljena jer sa jedne strane smanjuju prednju translaciju tibije u odnosu na femur, a sa druge strane smanjuju opterećenje na sam ligament. Snaga fleksora koljena je povezana sa funkcionisanjem zgloba koljena i ima značajan uticaj na rehabilitaciju nakon rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta. Takođe, snaga ovih mišića značajna je i kod prevencije povreda prednjeg ukrštenog ligamenta (DeFazio et al., 2020; Matsuo et al., 2020).

U rezultatima ovog istraživanja su analizirani i izokinetički parametar prosječna snaga fleksora (W) operisane noge–FLAVP na svim mjerenjima po ispitivanim grupama. Došlo je do povećanja parametra u obje ispitivane grupe, s tim da je na finalnom mjerenju u ispitivanoj grupi A–izokinetičkoj to povećanje bilo značajnije.

#### **6.3.2.1. Analiza izokinetičkog parametra prosječna snaga fleksora operisane noge–FLAVP**

Iz rezultata ovog istraživanja jasno je vidljivo da je nakon šest sedmica rehabilitacionog tretmana izokinetičkim vježbanjem došlo do izuzetnog poboljšanja snage mišića fleksora koljena, osjetno više nego u ispitivanoj grupi B sa izotoničkim vježbanjem. Vidi se da je bilo napretka i u ispitivanoj grupi B, ali je u ispitivanoj grupi A–**izokinetičkoj** značajno izraženiji. Može se primjetiti da je na svim mjerenjima bila relativno niska vrijednost ovog parametra u cijelom uzorku.

Na **kontrolnom mjerenju** se iz rezultata vidi tendencija rasta u obje ispitivane grupe, sa slabom izražajnošću grupe A–izokinetičke.

Na **finalnom mjerenju** može se potvrditi da je izokinetički parametar FLAVP dao veliki doprinos u nastajanju razlike između ispitivanih grupa na finalnom mjerenju (.000) tako da je u ispitivanoj grupi A–izokinetičkoj došlo do značajnog povećanja, kako ovog parametra, tako i cjelokupne tematske cjeline istraživanja br. 2–izokinetičkih parametara fleksora koljena (zadnje lože natkoljenice) na finalnom mjerenju.

Inače, smanjena snaga mišića zadnje lože je vidljiva kod gotovo svih pacijenata nakon rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta, što svjedoče mnoga istraživanja. Takođe se pokazao značajnim i lošiji odnos između snage zadnje i prednje lože povrijeđene noge, što korelira sa ovim radom i pokazuje da u izokinetičkim analizama treba uzimati u obzir više



izokinetičkih parametara. Kako se mi u ovom radu nismo bavili ekscentričnom kontrakcijom, smatramo da bi to mogao biti izuzetan pravac budućih istraživanja, što bi pomoglo u iznalaženju načina za efikasnije i brže sprečavanje povreda, ne samo prednjeg ukrštenog ligamenta nego lokomotornog sistema u cjelini.

### **6.3.3. Analiza izokinetičkog parametra ukupni rad fleksora operisane noge–FLTW**

Mišićni rad se vrši kada se mišić skraćuje i segment ekstremiteta se pomjera kroz prostor, prelazeći određeni put. Izokinetika je prilagodljiva vrsta vježbanja koja teoretski omogućava mišiću da izvrši više mišićnog rada u istom obimu pokreta u poređenju sa izotoničnim vježbanjem. Ovo omogućava mišićima koji učestvuju u vježbi da generišu svoj maksimalni mehanički učinak pod svim uglovima u cijelom obimu pokreta, što omogućava promjene u sistemu poluga koji sačinjavaju koštano–mišićni sistem. Prilikom izvođenja izotoničkih vježbi protiv otpora, mišić mora da savlada inerciju da bi pomjerio segment ekstremiteta kroz prostor.

#### **6.3.3.1. Analiza izokinetičkog parametra ukupni rad fleksora operisane noge–FLTW na svim mjerenjima prema ispitivanim grupama**

Vidljiv je značajno bolji rezultat ovog izokinetičkog parametra u ispitivanoj grupi A–izokinetičkoj. Pretpostavlja se da izotoničke vježbe sa otporom možda nisu u potpunosti efikasne za opterećenje mišića u cijelom fiziološkom obimu pokreta, što bi mogao biti ključni razlog značajno boljih rezultata ukupnog mišićnog rada u ispitivanoj grupi A–izokinetičkoj. U ovom kontekstu, efikasnost se javlja kada tip otpora odgovara maksimalnom obrtnom momentu mišićno–zglobnog kompleksa u cijelom obimu pokreta, što opet implicira da je ispravno to što smo u istraživanju uključili više izokinetičkih parametara i razvrstali ih u tematske cjeline.

### **6.3.4. Analiza deficita obrtnog momenta sile fleksora operisane noge u odnosu na nepovrijeđenu nogu–FLDEF**

Kod svih pacijenata nakon povrede prednjeg ukrštenog ligamenta javlja se deficit obrtnog momenta mišića natkoljenice usljed imobilizacije i mirovanja, a ako dođe do hirurške intervencije, u ovom slučaju rekonstrukcije, postoperativni deficit je još veći. Tri mjeseca nakon operacije ovaj deficit je u jako izraženoj fazi. U literaturi nalazimo da se deficit obrtnog momenta fleksora koljena (mišića zadnje lože natkoljenice) povrijeđene noge, tri mjeseca nakon operacije kreće od 10% do 30% (Thomas et al., 2016), što je slično rezultatima ovog istraživanja

na inicijalnom mjerenju. Ovaj deficit može biti još izraženiji u slučaju rekonstrukcije pomoću hamstring grafta, kao što je takođe vidljivo u ovom istraživanju. Svi deficiti obrtnog momenta natkoljenih mišića su značajni, ali deficiti zadnje lože natkoljenice su istaknuti kao veoma bitan parametar zbog specifičnosti same operacije gdje dolazi i do fizičkog oštećenja mišića (*m. biceps femoris*), tačnije njegove tetive. Ne nalazimo u literaturi posebne razlike između rezultata izokinetičkog parametra deficit obrtnog momenta sile fleksora (%) povrijeđene noge u odnosu na nepovrijeđenu nogu–FLDEF kod operacija sa hamstring graftom i ostalih tehnika ove hirurške rekonstrukcije. Ipak, iz razloga eventualnog uticaja na brzinu zarastanja grafta i drugih faktora koji doprinose diskriminaciji podataka u odnosu na ostale tehnike hirurške rekonstrukcije, odlučili smo se za ispitanike sa navedenom tehnikom operacije.

#### **6.3.4.1. Analiza izokinetičkog parametra deficit obrtnog momenta sile fleksora operisane noge u odnosu na neoperisanu nogu–FLDEF na svim mjerenjima prema ispitivanim grupama**

Da bi se poboljšao rezultat rehabilitacije nakon rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta veoma bitno je optimizovati proces funkcionalnog oporavka zgloba koljena. To djelimično zahtijeva i provođenje više kvalitetnih originalnih istraživanja, ali i mogućnosti provođenja zaključaka postojećih istraživanja u praksi, odnosno prevazilaženje prepreka od istraživanja do implementacije njihovih rezultata. Ovo uključuje istraživanja na sportistima sa rekonstrukcijom ACL, ali i istraživanja drugih patologija, koje uz određene modifikacije mogu biti vrijedne za pacijente sa rekonstrukcijom ACL (Buckthorpe et al., 2021). Tumačeći rezultate ovog istraživanja vidimo razlike vrijednosti deficita obrtnog momenta fleksora po mjerenjima, ali i po ispitivanim grupama. Na početku istraživanja vršili smo inicijalno mjerenje kojim je detektovan uobičajeni deficit između operisane i neoperisane noge, odnosno dinamička asimetrija. Dinamička asimetrija predstavlja razlike u mišićnoj snazi između suprotnih strana tijela čovjeka. Nakon prilično visokih rezultata FLDEF (velikog deficita obrtnog momenta sile fleksora povrijeđene noge u odnosu na nepovrijeđenu nogu) na inicijalnom mjerenju, vidimo njegov pomak unazad (smanjenje deficita) kako odmiče rehabilitacioni tretman, tako da već na mjerenju nakon tri sedmice–kontrolnom mjerenju jasno vidimo napredak (smanjenje deficita) u obje grupe, a nakon šest sedmica vidimo da se deficit dodatno smanjio, ali tu već uočavamo izrazitu dominaciju izokinetičkog treninga u odnosu na klasični–izotonički.

Vrijednosti do 20% se smatraju prihvatljivim u fiziološkom smislu, tako da možemo reći da je u ispitivanoj grupi A–izokinetičkoj postignut apsolutni uspjeh po pitanju izjednačavanja zadnje lože natkoljenice operisane i neoperisane noge. Ima smisla tvrditi da izokinetički trening doprinosi boljoj restauraciji deficita mišića zadnje lože u odnosu na izotonički. Potvrdu za to vidimo i u nizu istraživanja drugih autora. U ovom radu nađeno je za nijansu sporije i nestabilnije smanjenje deficita obrtnog momenta sile zadnje lože natkoljenice operisanog koljena u odnosu na neoperisano, što se i moglo očekivati jer znamo da je graft uziman baš iz tetive tih mišića. Ovu pojavu potvrđuju i mnogi drugi autori. Tako je jedna studija pokazala da pacijenti nakon rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta tehnikom hamstring grafta, kada mjesto na kome se uzima graft nije dobro sraslo imaju preko četiri puta veći deficit mišićne snage zadnje lože natkoljenice u odnosu na pacijente kod kojih su dobro srasle tetive. U studiji Riesterer i sar. (2020) vidimo da uprkos ograničenom broju ispitanika, obje ispitivane grupe sa rekonstrukcijom ACL pokazuju značajan deficit obrtnog momenta fleksora u operisanoj nozi u poređenju sa ispitanicima iz kontrolne grupe sa uporedivim antropometrijskim karakteristikama i sportskim performansama. Nezavisno od vrste operacije, deficiti obrtnog momenta bili su izraženiji kod ekstenzora koljena nego kod fleksora koljena (32 % prema 22%), a bili su veći u izometrijskom testu i pri nižim ugaonim brzinama u izokinetičkom koncentrično–koncentričnom testu. Deficiti momenta sile su povezani sa 20% slabijim nalazom EMG mišića prema ispitivanim grupama. Zanimljivo je da je paralelna analiza vrijednosti obrtnog momenta natkoljenih mišića neoperisane noge otkrila prosječni deficit momenta sile ekstenzora koljena od 21% u kontrolnoj grupi i 7% deficita momenta sile fleksora koljena u ispitivanoj grupi sa rekonstruisanim ACL, bez značajnih razlika u EMG agonista. Sa druge strane, nivo koaktivacije zadnje lože (fleksora) bio je bilateralan i nezavisan od testiranja, a stanje je bilo značajno niže u grupama ispitanika sa hirurškom rekonstrukcijom ACL nego u kontrolnoj grupi (16 i 14% prema 27%). Poređenje operisane i neoperisane noge otkrilo je da ispitanici obje ispitivane grupe imaju značajan deficit momenta sile fleksora u operisanoj nozi, što pozitivno korelira sa rezultatima na inicijalnom mjerenju. Istraživanje Maly i sar. (2019) je otkrilo da postoje morfološke asimetrije i asimetrije snage u određenim posmatranim grupama ispitanika iz više raznih sportova, koje mogu imati potencijalne razloge u neprilagođenim efektima (npr. nekompenzovano preopterećenje ekstremiteta) kod sportista koji su podložni specifičnim opterećenjima. Asimetrija snage donjih ekstremiteta povezana je sa ponovnom povredom nakon rekonstrukcije prednjeg ukrštenog

ligamenta. U jednoj studiji u kojoj je učestvovalo 25 ispitanika, analizirani su indeksi simetrije ekstremiteta uz pomoć izokinetičkih testova ekstenzora i fleksora koljena. Istraživanje je rađeno devet do dvanaest mjeseci nakon rekonstrukcije ACL. Izokinetički testovi su rađeni na više stepeni fleksije koljena. Kriterijum za uključivanje pacijenata u istraživanje je bio da je indeks simetrije natkoljenih mišića bio veći od 90% (mjereno standardnom metodom), odnosno, poredeći sa ovim radom, to bi značilo da su deficiti ovih mišića bili manji od 10% ( $EXDEF \leq 10\%$  i  $FLDEF \leq 10\%$ ). Zatim su rađeni izokinetički testovi na 15°, 30°, 45°, 60° i 75° (od 90° fleksije koljena prema ekstenziji) za mišiće ekstenzore koljena i na 15°, 30°, 45°, 60° i 75° (od pune ekstenzije ka fleksiji koljena) za mišiće fleksore koljena. Na svim tačkama su mjerene razlike u snazi ekstenzora i fleksora koljena, analizirana je razlika po polu i po vrsti operacionog zahvata (operacija meniskusa i rekonstrukcija ACL), te poređenje dominantne i nedominantne noge. Uočene su značajne razlike između ekstremiteta kod mišića ekstenzora koljena na 15° ( $p=0,040$ ) i na 75° ( $p=0,002$ ), a kod fleksora na 60° ( $p=0,001$ ) i na 75° ( $p < 0,0001$ ). Nisu uočene komparativne razlike ( $p > 0,05$ ) na osnovu pola, vrste operacije (meniskusa ili ACL), niti na osnovu dominantnosti ekstremiteta. Autori zaključuju da uprkos činjenici da su svi pacijenti imali indeks simetrije  $\geq 90\%$  (pri standardnom izokinetičkom mjerenju), postoje razlike na naznačenim tačkama obima pokreta kod mišića ekstenzora i fleksora koljena. U budućim studijama, nastavljaju autori, treba uzeti u obzir analizu obrtnog momenta sile mišića u cijelom rasponu pokreta, jer poređenje samo maksimalnih obrtnih momenata može dovesti do propuštanja konstatacije deficita snage mišića jedne strane u odnosu na drugu (Ebert et al., 2021). Kako smo mi radili istraživanje na ukupno 60° fleksije koljena (30°-90°), možemo smatrati ovo istraživanje izvjesnom nadopunom prethodno navedenog.

Može se s pravom tvrditi da primjena specifičnog programa izokinetičkog treninga može efikasno vratiti neravnotežu–deficite u snazi mišića natkoljenica.

Optimalna funkcija zgloba koljena usko je povezana sa fizičkim performansama cjelokupnog lokomotornog sistema kao i nivoom fizičke aktivnosti. U vezi sa tim, bilo je mnogo studija vezanih za mišiće stabilizatore zgloba koljena. Većina njih se fokusirala na raspon od 90° fleksije koljena. Međutim, tokom normalnog napora i sporta, različite aktivnosti zahtijevaju različit obim pokreta zgloba koljena. Pored toga, mišićna sila i brzina su takođe različiti. Nameće se zaključak da je bolje analizirati više izokinetičkih parametara nego osloniti se samo na jedan. Upravo to smo primijenili i dokazali, jer smo koristili i druge izokinetičke parametre osim

obrotnog momenta i deficita snage natkoljenih mišića operisane noge. Smatramo da takav pristup podiže validnost dijagnostike i unapređuje protokole rehabilitacije.

S obzirom da su ispitanici provodili obostrano vježbanje mišića, moguće je da je prirast mišićnih performansi na zdravom ekstremitetu doprinio određenim povećanjima deficita kod jednog broja ispitanika. Osim toga, nisu svi pacijenti prije povrede prednjeg ukrštenog ligamenta bili jednako utrenirani, pa je moguć mnogo brži prirast mišićne snage na zdravom ekstremitetu. Ovdje treba imati na umu i koji je ekstremitet povrijeđen—dominantni ili nedominantni. Moglo bi biti da je od velike važnosti kod evaluacije ovih pacijenata praćenje svih izokinetičkih parametara, kao i stepen ranijih mišićnih performansi, odnosno, smatramo da bi bilo od izuzetne važnosti testiranje pacijenta prije same operacije, pa i češće, kako se fizioterapeuti i treneri ne bi oslanjali samo na deficit mišićne snage povrijeđenog ekstremiteta, nego imali uvid u više parametara. Nisu nađeni radovi koji izričito opovrgavaju tvrdnju da je izokinetičko vježbanje dominantnije po pitanju nadoknade deficita obrtnog momenta zadnje lože natkoljenice nakon rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta.

#### **6.4. Analiza izokinetičkog parametra odnos prosječnog obrtnog momenta sile agonista i antagonista—AGANR**

Odnos prednje i zadnje lože natkoljenice, kako pojednostavljeno zovemo indeks ili omjer snage ekstenzora i fleksora koljena veoma je bitan u evaluaciji stanja pacijenta nakon rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta. Deficiti mišićne snage m. quadriceps-a i zadnje lože natkoljenice su česti nakon povrede i rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta. Slabost mišića bilo koje od navedenih mišićnih grupa utiče na H/Q—odnos (AGANR) i dovodi do dinamičke nestabilnosti, koja može biti izražena u toj mjeri da poveća rizik za nove povrede. Ovo je razlog zbog koga je kod pacijenata nakon ligamentoplastike prednjeg ukrštenog ligamenta H/Q omjer veoma bitan dijagnostički indikator funkcije operisanog koljena (Baumgart et al., 2018). Jedan od uzroka povrede prednjeg ukrštenog ligamenta bi mogao biti prevelik obrtni moment sile m. quadriceps—a u odnosu na m. biceps femoris koji posljedično uzrokuje preveliku silu istezanja prednjeg ukrštenog ligamenta, do koga dolazi usljed nedovoljne fleksije koljena, odnosno dominacije prednje lože natkoljenice u odnosu na zadnju, kao i uticaja sile podloge. Mišići prednje i zadnje lože natkoljenice djeluju antagonističkim silama (suprotnog smjera) na tibiju i tako ostvaruju značajnu ulogu u stabilizaciji zgloba koljena. Mišići zadnje lože natkoljenice su agonisti prednjeg ukrštenog ligamenta i imaju zaštitnu (protektivnu) ulogu za prednji ukršteni

ligament pri amplitudi 15–30° fleksije, koja i predstavlja najčešću poziciju za njegovu povredu (Baumgart et al., 2018; Suchomel et al., 2018). Kontrakcija i uzajamni odnosi kontrakcije i dekontrakcije agonista i antagonista natkoljenih mišića, tj. fleksora (zadnja loža) i ekstenzora (prednja loža) koljena je od izuzetnog značaja za dinamičku stabilizaciju koljenog zgloba. Jedan od segmenata dinamičke asimetrije je asimetrija u snazi pojedinog ekstremiteta i zove se unilateralna asimetrija pri kojoj se procjenjuju odnosi u snazi između mišića agonista i antagonista. Odnos prednje i zadnje lože natkoljenice predstavlja odnos snage mišića unutar jednog segmenta i u literaturi se obilježava kao H/Q ratio i to je klasični odnos (maksimalni obrtni moment zadnje lože–koncentrično koncentrični prema maksimalnom obrtnom momentu prednje lože–koncentrično koncentričnom). To je unilateralni odnos i predstavlja odnos snage agonista i antagonista ipsilateralne (istostrane) noge. Odnos H/Q u fiziološkim uslovima je 60–69% i odnosi se na količnik sila koji se ostvare pri ugaonoj brzini od 60°/s. U ovom istraživanju je H/Q odnos (*ratio*) označen sa „odnos agonista i antagonista–AGANR” (*agonist–antagonist ratio*).

Uravnoteženost mišića agonista i antagonista veoma je važna za stabilizaciju zglobne strukture za vrijeme dinamičkih kontrakcija. Kod pacijenata nakon rekonstrukcije ACL metodom hamstring grafta, zbog same tehnike operacije, deficit u snazi mišića zadnje lože natkoljenice udružen sa deficitom snage prednje lože koji je karakterističan i za ostale tehnike operacije, može biti indikator narušene funkcije koljena, što je vrlo jasno pokazano i u rezultatima ovog rada. Ova pojava za posljedicu može imati, ne samo usporen tok rehabilitacije operisanog koljena, nego i ponovnu povredu istog koljena ili pak suprotnog. Funkcija koljena zavisi od odnosa prednje i zadnje lože natkoljenice i jedan od neuromišićnih faktora koji dovodi do povređivanja koljena je upravo funkcionalno neuravnotežen odnos ove dvije velike grupe mišića. Odnos agonista i antagonista se koristi kao indikator balansa jačine mišića fleksora i ekstenzora koljena. U zavisnosti od odabrane kombinacije mišićnih kontrakcija, u praksi se koriste dva tipa: konvencionalni i funkcionalni. Konvencionalni odnos agonista i antagonista predstavlja odnos jačine mišića fleksora i ekstenzora ostvarene u koncentričnom, ili izometrijskom režimu rada (formula 1) dok funkcionalni (dinamički) odnos agonista i antagonista predstavlja odnos jačine ostvarene u kombinovanom ekscentrično–koncentričnom (formula 2a) ili koncentrično–ekscentričnom režimu (formula 2b):

**Formula 1.** Izračunavanje konvencionalnog odnosa fleksora i ekstenzora koljena (AGANR ili H/Q).

$$\text{AGANR} = \text{FL con}^*/\text{EX con}^*$$

**Formula 2.** Izračunavanje funkcionalnog odnosa fleksora i ekstenzora koljena (f H/Q).

$$f_1 \text{ H/Q} = \text{FL ecc}^{**}/\text{EX con}$$

$$f_2 \text{ H/Q} = \text{FL con}/\text{EX ecc}$$

\*koncentrična kontrakcija

\*\*ekscentrična kontrakcija

U stručnoj literaturi još uvek nije precizno definisana normativna vrijednost AGANR (H/Q). S obzirom da smo mi izokinetičko testiranje radili pri ugaonoj brzini od 60°/s, smatrali smo za normativnu vrijednost 6,7–6,8.

Softver izokinetičkog dinamometra Biodex System 4 Pro ovaj odnos prikazuje u procentima (formula 3), tako da smo za normativ smatrali 67,0–68,0%.

$$\text{AGANR} = (\text{FL con}/\text{EX con}) \times 100 (\%)$$

Računanje AGANR u ovom radu odgovara računanju H/Q odnosa po Risbergu (Risberg et al., 2018):

$$\text{H/Q ratio} = (\text{hamstring (Nm)}/\text{quadriceps (Nm)}) \times 100 (\%)$$

Ovakav način izražavanja odnosa zadnje i prednje lože natkoljenice nalazimo u nizu objavljenih radova koji se bave rehabilitacijom nakon rekonstrukcije ACL, ali i drugim temama gdje je ovaj odnos bitan (Korakakis et al., 2021; Muhammad & Anup, 2018; van Melick et al., 2022; Welling et al., 2019). Postoje i drugi načini izračunavanja odnosa snage prednje i zadnje lože natkoljenice među kojima ima i onih gdje se mjeri ekscentrična kontrakcija jedne ili druge grupe mišića (Struzik et al., 2018). Pravci budućih istraživanja bi mogli da budu međusobna poređenja ovih načina računanja H/Q odnosa, ili proučavanje nekih novih načina mjerenja i izračunavanja ovih ili drugih odnosa mišića što bi imalo za cilj iznalaženje rješenja za što boljim i sveobuhvatnijim programom rehabilitacije pacijenata nakon rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta. Često se dešava da kontrakcija m. quadriceps-a bude refleksno spriječena (inhibisana) što može imati za rezultat jače mišiće zadnje lože natkoljenice. U tom slučaju pacijent bi imao jako visok AGANR (H/Q omjer), svakako preko 68%, ali i preko 100%. U ovom istraživanju fokus je bio na koncentričnoj kontrakciji mišića, tako da se ekscentričnom kontrakcijom nismo bavili. Kao što vidimo u prethodnom radu, čini se da nije bilo ni potrebe ispitivati ekscentričnu kontrakciju,

jer benefite izokinetičkog vježbanja veoma jasno možemo uočiti i na koncentrično–koncentričnom izokinetičkom testu koji je primjenjen u ovom istraživanju, tako da analizu efekata izokinetičkog vježbanja objektivizovanu ekscentrično–ekscentričnim (ecc–ecc) ili ekscentrično–koncentričnim (ecc–con) testom ostavljamo kao pravac daljih istraživanja. Isti stav imamo i kada je u pitanju izokinetičko vježbanje na ekscentričnom modulu. Studija Risberg i sar. (2018) prikazuje normativne vrijednosti za izokinetičke testove snage mišića ekstenzora i fleksora koljena kod 350 vrhunskih sportistkinja, rukometašica (n=150) i fudbalerki (n=200). Rađeni su izokinetički, bilateralni testovi koncentrično/koncentričnim modulom pri ugaonoj brzini od 60°/s, identično kao i u ovom istraživanju. Mjereni su obrtni moment sile mišića (Nm), normalizovani obrtni moment sile mišića prema tjelesnoj masi (Nm/kg) i odnos zadnje lože i prednje lože natkoljenice (H/Q odnos) za dominantnu i nedominantnu nogu. Ispitanice su prosječno bile stare 20,9±4,0 godine, počele su igrati na vrhunskom nivou takmičenja u dobi od 18,2±2,7 godina, sa prosjekom od 9,7±2,2 časova sedmičnih treninga u sezoni. Rukometašice su pokazale veću snagu mišića kvadricepsa u poređenju sa fudbalerkama (11,0%) (p < 0,001), takođe kod obrtnog momenta normalizovanog na tjelesnu masu (4,1%) (p=0,012). Odnos H/Q bio je veći na dominantnoj u odnosu na nedominantnu nogu samo za rukometašice (p=0,012). Omjer H/Q bio je značajno niži za rukometašice (0,58) u odnosu na fudbalerke (0,60) (p < 0,02). Ove normativne vrijednosti za izokinetičke momente sile ekstenzora i fleksora koljena zdravih, elitnih, rukometašica i fudbalerki mogu se koristiti za postavljanje ciljeva rehabilitacije mišićne snage nakon povrede i omogućavaju poređenje sa nepovrijeđenom nogom. Utvrđena je značajno veća mišićna snaga m. quadriceps-a kod rukometašica u poređenju sa fudbalerkama. Ovdje bismo prokomentarisali da mi nismo uzimali u analizu parameter obrtnog momenta sile mišića normalizovanog prema tjelesnoj težini, a kao što vidimo u ovom, a i drugim istraživanjima, za ono što smo mi istraživali ne bi bilo nikakve razlike u konačnim rezultatima, jer je tjelesna masa jednako uticala na ispitanike u obje grupe. Druga stvar koju bismo ovdje naglasili je da je autor koristio parameter H/Q izražen u apsolutnoj vrijednosti odnosa prednje i zadnje lože (n), dok je u ovom radu korišćen parameter AGANR izražen u procenatima (%) koji software Biodex System 4 Pro automatski izračunava, ali to ne može uticati na rezultat jer se u suštini radi o istim kretanjima razlika (n x 100). Razlika odnosa u snazi zadnje i prednje lože natkoljenice (H/Q ratio) pri promjenjivoj ugaonoj brzini potkoljenice koja postoji kod ispitanika različitog pola, posljedica je razlike u razvoju tokom puberteta.. Autori su sproveli jedno izuzetno opsežno



komparativno istraživanje razlike izokinetičke snage u odnosu na pol ispitanika. Ustanovili su da kod ispitanika ženskog pola ne postoji ravnomjeran odgovor mišića zadnje lože natkoljenice na povećanje snage kontrakcije prednje lože natkoljenice tokom promjene ugaone brzine prilikom pokreta fleksije koljena u okviru fizioloških vrijednosti. Iznijeli su mišljenje da je osnova za razliku odnosa H/Q pri promjeni brzine kretanja potkoljenice, koja postoji kod ispitanika različitog pola, posljedica različitog načina razvoja tokom puberteta, pa da je zato kod žena češća incidenca povređivanja prednjeg ukrštenog ligamenta. Zapravo, ispitanici muškog pola u uzrastu nakon puberteta, lakše i brže povećavaju snagu mišića zadnje lože sa povećanjem brzine fleksije koljena i tako preventivno djeluju na eventualno preopterećenje prednjeg ukrštenog ligamenta. U ovom istraživanju je taj parametar obilježen kao odnos agonista i antagonista (AGANR), a u jednom pilot istraživanju smo već objavili vrlo slične podatke kao u prethodno navedenom radu kada je u pitanju razlika H/Q odnosa (AGANR) po polovima (Nikolić i sar., 2021). Nakon toga bi se neuromuskularnim treningom fokusiranim na povećanje relativne snage mišića zadnje lože natkoljenice mogla smanjiti pojava povreda kod tih osoba.

U jednom značajnom istraživanju (Kannus, 1988) ukazano je na značaj disbalansa u snazi mišića agonista i antagonista natkoljenice na pojavu povreda koljena, a izokinetička dinamometrija je postala nezamjenljivi dio sportsko-medicinske prakse, kako u dijagnostičke svrhe, tako i u svrhu obogaćivanja rehabilitacionih programa. I ove činjenice pozitivno koreliraju sa zaključcima ovog istraživanja.

Rezultati jedne druge studije su pokazali da u postoperativnom oporavku postoje razlike u parametrima obrtnog momenta ekstenzora koljena poredeći dvije hirurške tehnike. Detektovane su značajne razlike u izokinetičkim testovima između ispitivanih grupa, posebno u grupi gdje su testovi obavljeni tri mjeseca nakon operacije ACL. I ovo istraživanje pokazuje slične rezultate u identičnom razdoblju nakon operacije (Başdelioğlu et al., 2019). Cilj istraživanja Çelebi i sar. (2018) je bio da se odredi odnos snage zadnje lože u odnosu na prednju (H/Q ratio), maksimalni obrtni moment sile natkoljenih mišića i posturalni balans dominantnih i nedominantnih ekstremiteta kod odbojkašica. Testirane su 63 odbojkašice prosječne starosti  $21,9 \pm 4,4$  godine, prosječne visine  $182,0 \pm 5,9$  cm i prosječne tjelesne mase  $66,5 \pm 8,3$  kg. Pronađena je statistički značajna razlika za maksimalni obrtni moment sile prednje lože (m. quadriceps) između dominantnih ili nedominantnih donjih ekstremiteta pri ugaonoj brzini  $60^\circ/s$ . H/Q odnos je bio niži u dominantnom ekstremitetu, sa velikim statističkim značajem. Nije pronađena statistički

značajna razlika za indekse stabilnosti i balansa između dominantnih i nedominantnih ekstremiteta. Autori nadalje iznose da H/Q odnosi rastu sa povećanjem ugaone brzine. Takođe, postoje statistički značajne razlike u maksimalnom obrtnom momentu sile i H/Q odnosu na 60°/s između dominantnih i nedominantnih ekstremiteta. Ovi nalazi mogu ukazivati na to da se nepovrijeđena noga ne može koristiti kao referenca za povrijeđenu nogu u slučaju povrede odbojkašica, bez obzira na to o kojoj nozi je riječ. Ovdje bismo skrenuli pažnju da se u ovom radu ipak može zdrava noga koristiti kao referentna, prvenstveno zbog toga što je povrijeđena noga operisana i pretrpjela ogroman gubitak svih mišićnih performansi u kompletnoj natkoljenoj muskulaturi. Nadalje, ovaj rad u potpunosti pozitivno korelira sa ostalim nalazima navedenog istraživanja koji se tiču obrtnog momenta sile mišića (koji je u ovom radu označen kao PTRQ) i omjerom H/Q (AGANR).

Stoga su ovi pragovi potrebni za otkrivanje pojedinačnih promjena u izokinetičkim razlikama snage prednje i zadnje lože natkoljenice tokom vremena. U jednoj studiji je izračunata prosječna vrijednost odnosa fleksora i ekstenzora koljena nakon povrede prednjeg ukrštenog ligamenta (H/Q, a u ovom radu-AGANR) za zdrav ekstremitet. Izračunata vrijednost H/Q indeksa je bila 0,69. Ekvivalent ovoj vrijednosti bi u ovom radu bila vrijednost AGANR =69,00%. Studija je urađena sa ciljem da se ispita koliko bi povreda ACL mogla uticati i na suprotnu stranu, tj. zdravi ekstremitet. Zabilježeni su bilateralni deficiti snage m. quadriceps-a (u ovom radu EXDEF) i H/Q ratio (AGANR), što ne korelira u potpunosti sa ovim radom, jer su vrijednosti AGANR bile znatno niže. Ovi rezultati su vjerovatno uzrokovani većim zaostatkom snage obje lože natkoljenice do kojeg je došlo ne samo zbog rekonstrukcije ACL, nego i zbog samog kalema, tj. hamstring-grafta. Jaka kontrakcija ekstenzora koljena (m. quadriceps-a) bi najvjerovatnije povećala tibijalanu translaciju u sagitalnoj ravni.

Ako su vrijednosti H/Q odnosa (AGANR) veće, mišići zadnje lože natkoljenice imaju veći funkcionalni kapacitet za pružanje stabilnosti koljena. Na taj način se smanjuje prednja translacija tibije u odnosu na femur i mogućnost antero-lateralne subluksacije. To vidimo i iz podjele AGANR prema normativu (Tabela 11.). U ovoj studiji ispitanici iz ispitivanih grupa A i B se međusobno nisu statistički značajno razlikovali u vrijednostima H/Q omjera (AGANR) na inicijalnom mjerenju (tri mjeseca poslije operacije), ali su razlike postojale na mjeranjima nakon tri sedmice rehabilitacije (vrlo male) i nakon šest sedmica rehabilitacije (izrazite).

Odnos između obrtnog momenta sile zadnje i prednje lože natkoljenice dugo je proučavan i standardizovana je njegova normativna vrijednost koja iznosi 0,6 (60%). H/Q odnos se može nalaziti u rasponu od 0,3–1,0, što zavisi vrste kontrakcije mišića i ugaone brzine kojom se vrši pokret. To se odnosi na količnik sila koji se ostvaruje pri ugaonoj brzini od 60°/s, pa ne može važiti za sve ugaone brzine i vrste kontrakcija, što upravo odgovara ovom istraživanju. Naime, sa povećanjem ugaone brzine povećava se i odnos ove dvije mišićne grupe. Nije velika razlika ni kada se H/Q odnos (AGANR) izračunava na osnovu mišićne sile ostvarene u izometrijskoj kontrakciji. Vrijednost H/Q odnosa raste sa povećanjem ugla u zglobu koljena, tako da je jako važno određivanje ugla u kome se može dobiti najoptimalniji odnos ove dvije mišićne grupe. Ovdje još jednom možemo vidjeti razloge zbog kojih je došlo do smanjenja homogenosti rezultata ovog istraživanja, jer smo u uzorku imali osobe različitih preoperativnih stanja i stepena fizičke spremnosti, sportiste i nesportiste itd. U ovom istraživanju su učestvovali pacijenti koji dolaze u Zavod na rehabilitaciju iz različitih sredina, različitih su navika po pitanju fizičkih aktivnosti, ili su iz različitih sportova, dakle jako široka i različita populacija. To ima ogromnog uticaja na rezultate, pogotovo kada je u pitanju AGANR (H/Q ratio). Vidimo to i kod drugih sportova, čiji su sudionici bili takođe dio uzorka. Kod rukometaša je najčešće dominantna noga skakačka (najčešće lijeva), ali fudbalsku loptu šutiraju desnom nogom. Fudbaleri se češće izjašnjavaju da im je dominantna noga ona kojom šutiraju i da im je to jača noga. Smatramo da je to diskutabilno, pogotovo kada je u pitanju AGANR. Razlika je i između aktivnih i rekreativnih sportista, mada ne uvijek. Neki autori pronalaze značajno niži H/Q odnos za rukometaše (AGANR =57–58%) u poređenju sa fudbalerima (AGANR =59–60%), ali u istom rasponu (AGANR =55–64%) kao što su kod fudbalera pronašli prethodni (Risberg et al., 2018). Jedno istraživanje je prikazalo niže H/Q odnose kod profesionalnih rukometašica (56%) i fudbalerki (54%), ali se čini da se većina studija slaže da na odnos H/Q odnos utiču specifični zahtjevi za pojedine sportove i da treba težiti povećanju H/Q odnosa kako bi se smanjio rizik od povreda u okretnim sportovima. Baveći se ovim odnosom u odnosu na povrede ACL, Steffen i sar. (2017) nisu pronašli nikakav učinak promjene H/Q odnosa na rizik od povreda, pa se zbog toga još uvijek raspravlja o tome šta H/Q odnosi zapravo znače. U ovom radu nije mjerena ekscentrična, nego samo koncentričnu kontrakcija mišića. Iako na prvi pogled ova činjenica izgleda kao nedostatak ovog istraživanja, smatramo da smo ipak došli do validnih podataka i analiza jer smo u istraživanje uključili više varijabli, tj. izokinetičkih parametara. Još bi se moglo

dodati da treba biti jako oprezan u tumačenju rizika od povreda iz H/Q odnosa (AGANR) jer nemamo potpune informacije o budućem riziku od povreda.

Analizirajući rezultate, vidimo da je na početku istraživanja AGANR (H/Q odnos) bio jako narušen kod svih ispitanika u obje ispitivane grupe. Pratili smo kretanje AGANR kroz cijelo istraživanje, odnosno na sva tri mjerenja. Uočava se da su najbliže ispitivana grupa A-izokinetička na kontrolnom mjerenju i ispitivana grupa B-izotonička na kontrolnom mjerenju sa distancom .10, a najveća razlika je između ispitivane grupe A-izokinetičke na inicijalnom mjerenju i ispitivane grupe A-izokinetičke na finalnom mjerenju, sa distancom od 3.84. Ovdje se jasno vidi da je izokinetički tretman doprinio najvećoj promjeni odnosa prednje i zadnje lože natkoljenice. U Tabelama 30., 51. i 72. vidimo izokinetički parametar odnos prosječnog obrtnog momenta sile agonista i antagonista (%) povrijeđene noge-AGANR na inicijalnom, mjerenju nakon tri sedmice i šest sedmica rehabilitacionog tretmana u ukupnom uzorku (obje ispitivane grupe). Vrijednosti su prikazane prema kliničkom značaju u odnosu na normativnu vrijednost.

#### **6.4.1. Analiza ukupnog uzorka**

Sublimirajući sva tri mjerenja, vidimo da na **inicijalnom mjerenju** nije bilo ispitanika koji su imali odnos prednje i zadnje lože natkoljenice u normativnoj vrijednosti. Najveći broj ispitanika ( $n=176$ ) je imao „značajno zaostajanje snage zadnje lože u odnosu na prednju“ (*značH*) gdje su vrijednosti ovog izokinetičkog parametra bile manje od 52.0% ( $AGANR \leq 51.9$ ), tačnije, nađene su vrijednosti od 21.3 do 51.8%, dok je 4 ispitanika imalo „manje zaostajanje zadnje lože u odnosu na prednju“ (*manjeH*).

Na **kontrolnom mjerenju**, nakon tri sedmice rehabilitacionog tretmana, takođe nije bilo ispitanika koji su imali AGANR u normativnoj vrijednosti. Vrijednost koje smo opisali kao „manje zaostajanje zadnje lože u odnosu na prednju“ (*manjeH*) imalo je 78 ispitanika, 88 ispitanika je imalo „značajno zaostajanje zadnje lože u odnosu na prednju“ (*značH*), dok je 14 ispitanika imalo „manje zaostajanje prednje lože u odnosu na zadnju“ (*manjeQ*). Sad već vidimo mali pomak u odnosu prednje i zadnje lože natkoljenice, tj. izokinetičkog parametra odnos prosječnog obrtnog momenta sile agonista i antagonista (%) operisane noge-AGANR. Nešto je manji broj ispitanika koji imaju „značajno zaostajanje zadnje lože u odnosu na prednju“ (*značH*), tačnije smanjen je za 88, dok je broj ispitanika sa „manjim zaostajanjem zadnje lože u odnosu na prednju“ (*manjeH*) povećan za 74. Takođe, na ovom mjerenju po prvi put imamo i suprotnu situaciju, tj. „manje zaostajanje prednje lože u odnosu na zadnju“ (*manjeQ*), koje ima 14

ispitanika, a što je rezultat ili značajnijeg jačanja zadnje lože ili daljeg stagniranja prednje lože natkoljenice.

Na **finalnom mjerenju** se uočava da 31 ispitanik ima normativne vrijednosti. Smanjen je broj ispitanika koji imaju „značajno zaostajanje zadnje lože u odnosu na prednju“ (*značH*) za 63 ispitanika, dok je broj ispitanika koji imaju „manje zaostajanje zadnje lože u odnosu na prednju“ (*manjeH*) povećan za 12 ispitanika. Broj ispitanika sa „manjim zaostajanjem prednje lože u odnosu na zadnju“ (*manjeQ*) povećan je za 14 ispitanika, dok su po prvi put uočeni ispitanici sa „značajnim zaostajanjem prednje lože u odnosu na zadnju“ (*značQ*), tačnije 6 ispitanika. Ovdje bi se moglo reći da je vjerovatnije da je došlo do snažnijeg jačanja zadnje lože nego da je izostala rekonvalescencija prednje lože, s obzirom da je dešavanje bilo u šestoj sedmici rehabilitacionog tretmana.

#### **6.4.2. Analiza izokinetičkog parametra odnos prosječnog obrtnog momenta sile agonista i antagonista–AGANR na svim mjerenjima prema ispitivanim grupama**

Iz rezultata je vidljivo da je na kraju rehabilitacionog tretmana u ispitivanoj grupi **A–izokinetičkoj** došlo do uspostavljanja normalnog odnosa između prednje i zadnje lože natkoljenice, tj. postizanja očekivane normativne vrijednosti kod 31 ispitanika, što čini 34.44%, dok je kod preostalih 59 ispitanika taj odnos jako malo ili neznatno narušen, zapravo veoma blizu samom normativu, jer u ekstremno dalekim brojčanim vrijednostima koje determinišu značajna zaostajanja jedne grupe mišića u odnosu na drugu, nema ni jednog ispitanika. Sa druge strane, u ispitivanoj grupi **B–izotoničkoj** je stanje ostalo mnogo sličnije kontrolnom mjerenju (nakon tri sedmice) nego stanju u ispitivanoj grupi A–izokinetičkoj. Naime, odmah se može uočiti da nijedan ispitanik nije uspostavio normalan odnos između prednje i zadnje lože natkoljenice, odnosno nije postigao očekivanu normativnu vrijednost. Najveći broj ispitanika, je imao manje zaostajanje zadnje lože u odnosu na prednju, slijede ispitanici koji su imali značajno zaostajanje zadnje lože u odnosu na prednju, potom ispitanici sa manjim zaostajanjem prednje lože u odnosu na zadnju i ispitanici sa značajnim zaostajanjem prednje lože u odnosu na zadnju. Jasno se vidi da su ispitanici iz ove grupe (B–izotoničke) i na finalnom mjerenju bili jako daleko od normativne vrijednosti odnosa prednje i zadnje lože natkoljenice. Dakle, izokinetički parametar odnos prosječnog obrtnog momenta sile agonista i antagonista operisane noge–

AGANR na finalnom mjerenju je najbliži normativnoj vrijednosti u ispitivanoj grupi **A–izokinetičkoj**, dok je u ispitivanoj grupi B–izotoničkoj značajno veći ili manji. Možemo potvrditi da je izokinetičko vježbanje dalo znatno bolje rezultate po pitanju postizanja normativne vrijednosti odnosa prosječnog obrtnog momenta sile agonista i antagonista operisane noge–AGANR, u odnosu na izotoničko–klasično vježbanje. U ovom istraživanju je veoma transparentno dokazano da je šest sedmica izokinetičkog treninga tri mjeseca nakon rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta omogućilo značajno bolje rezultate po pitanju uspostavljanja normalnog odnosa prednje i zadnje lože natkoljenice u odnosu na klasično izotoničko vježbanje.

Kada su u pitanju rezultati istraživanja ovog izokinetičkog parametra, tačnije odnosa ili indeksa prednje i zadnje lože natkoljenice (H/Q ili AGANR) kod mnogih autora u svijetu, uglavnom se vodi polemika pri kojem uglu je ovaj omjer veći ili manji. U više istraživanja analizirani su H/Q odnosi za specifične uglove fleksije koljena i otkriveni su uticaji dominantnosti noge i ugaone brzine, ali ne i tokom cjelokupnog obima pokreta u koljenu. Značajne razlike između operisane i neoperisane noge bile su prisutne samo u uglovima fleksije koljena od 40° do 60°, dok su H/Q odnosi operisane noge generalno bili veći tokom cijelog obima pokreta koljena. U poređenju sa kontrolnom grupom, konvencionalno izračunat H/Q odnos, kao i H/Q odnosi za određene uglove koljena bili su veći kod pacijenata sa povredom ACL i rekonstruisanim ACL (Huang et al., 2017; Kadija i sar., 2016), što bi po rezultatima ovog istraživanja značilo da je još uvijek izražena slabost ekstenzora u odnosu na fleksore koljena. Generalno, H/Q odnosi su se smanjivali sa povećanjem ugla fleksije koljena u obje ugaone brzine, ali sa različitom veličinom. Kod fleksije koljena od 30° H/Q odnosi se nisu razlikovali između dvije ugaone brzine i dostigli su vrijednost od blizu 1.0 što bi u ovom istraživanju bilo ekvivalentno vrijednosti AGANR od blizu 100.00%, što nije zabilježeno u rezultatima. Linearni odnosi između konvencionalnih H/Q odnosa i H/Q odnosa za pojedine uglove fleksije koljena, uopšteno su bili niži kod fleksije koljena manje od 35° i veće od 65°. Štaviše, koeficijenti korelacije su bili čak niži pri ugaonoj brzini od 60°/s i kod neoperisane noge, respektivno, a ovo istraživanje bi moglo samo djelimično da potvrdi navedeno. Ova činjenica takođe pokazuje da analiza H/Q odnosa za pojedine uglove koljena može otkriti više informacija nego samo konvencionalni H/Q odnos, stoga smo se mi odlučili za mjerenje prilikom fleksije koljena od 90° do ekstenzije od -30° (150°), tj. ukupni obim pokreta

koljena je bio  $60^\circ$ , kako bismo izbjegli eventualne dodatne uticaje na H/Q odnos, ali i druge izokinetičke parametre. Ovaj odnos se predstavlja kao odnos agonista/antagonista–AGANR.

Krivulje obrtnog momenta m. quadriceps-a i zadnje lože natkoljenice imaju različite oblike i apsolute vrijednosti, što doprinosi promjeni H/Q odnosa zavisno od ugla fleksije koljena. Dakle, konvencionalni H/Q odnosi koji su izračunati korišćenjem maksimalnih vrijednosti obrtnog momenta sile, ne mogu predstavljati oblik H/Q odnosa za određeni ugao fleksije koljena (Huang et al., 2017). Štaviše, različiti iznosi maksimalnih vrijednosti momenta koji zavise od ugla fleksije koljena i ugaone brzine su dodatni argumenti protiv korišćenja konvencionalnih analiza H/Q odnosa. Tokom fleksije koljena ugaona brzina utiče na lokaciju maksimalnog obrtnog momenta sile. To pretežno utiče na iznos maksimalnih vrijednosti obrtnog momenta sile tokom ekstenzije, što se mora uzeti u obzir u izokinetičkim testovima, posebno kada se koriste različite brzine kretanja. Zato je u ovom istraživanju primijenjena jednoobrazna fleksija koljena od ukupno  $60^\circ$  ( $30^\circ$ – $90^\circ$ ).

Kada se osobe sa rekonstruisanim ACL vrate sportu, oni mogu i dalje imati deficit snage m. quadriceps-a i zadnje lože u obje noge. Zbog toga bi upotreba indeksa simetrije (LSI, H/Q ratio, AGANR) mogla imati značajna ograničenja. Trebalo bi dati prednost normativnim vrijednostima mišićne snage u skladu sa polom, starošću, visinom, tjelesnom masom i sportom. Rizik od povrede ACL sa suprotne strane takođe se pokazao veći od prve povrede ACL kod ispitanika koji učestvuju u istoj sportskoj aktivnosti.

## 7. ZAKLJUČAK

### 7.1. Zaključci prema tematskim cjelinama istraživanja

Na osnovu dobijenih rezultata i njihove interpretacije prema postavljenim tematskim cjelinama istraživanja mogu se izvesti sljedeći zaključci:

Analiza **izokinetičkih parametara ekstenzora na inicijalnom mjerenju** (MANOVA .352 i DISKRIMINATIVNA .000) ukazuje da postoji samo sintetizovana razlika između dvije ispitivane grupe sa koeficijentom diskriminacije za pojedine izokinetičke parametre:

- 1) ukupni rad ekstenzora (J) operisane noge–EXTW (77.187),
- 2) deficit momenta sile ekstenzora (%) operisane noge u odnosu na neoperisanu nogu – EXDEF (.233),
- 3) maksimalni obrtni moment sile ekstenzora (Nm) operisane noge–EXPTRQ (.065);

Analiza **izokinetičkih parametara fleksora na inicijalnom mjerenju** (MANOVA .000 i DISKRIMINATIVNA .000) ukazuje da postoji značajna razlika između dvije ispitivane grupe, sa koeficijentom diskriminacije za pojedine izokinetičke parametre:

- 1) ukupni rad fleksora (J) operisane noge–FLTW (.000) i
- 2) deficit momenta sile fleksora (%) operisane noge u odnosu na neoperisanu nogu–FLDEF (.040).

Razlika nije uočena kod izokinetičkih parametara: maksimalni obrtni moment sile fleksora (Nm) operisane noge–FLPTRQ (.149), prosječna snaga fleksora (W) operisane noge–FLAVP (.855), sa koeficijentom diskriminacije za pojedine izokinetičke parametre: ukupni rad fleksora (J) operisane noge–FLTW (.269), maksimalni obrtni moment sile fleksora (Nm) operisane noge–FLPTRQ (.027), deficit momenta sile fleksora (%) operisane noge u odnosu na neoperisanu nogu–FLDEF (.003) i prosječna snaga fleksora (W) operisane noge–FLAVP (.000).

Analiza **izokinetičkog parametra odnos prosječnog obrtnog momenta sile agonista i antagonista (%) operisane noge–AGANR na inicijalnom mjerenju** ukazuje da postoji značajna razlika između dvije ispitivane grupe kod navedenog parametara (.040).

Analiza **izokinetičkih parametara ekstenzora na kontrolnom mjerenju** (MANOVA .000 i DISKRIMINATIVNA .000) ukazuje da postoji značajna razlika između dvije ispitivane grupe, za pojedine izokinetičke parametre:

- 1) ukupni rad ekstenzora (J) operisane noge–EXTW (.000),



- 2) deficit momenta sile ekstenzora (%) operisane noge u odnosu na neoperisanu nogu–EXDEF (.001),
- 3) maksimalni obrtni moment sile ekstenzora (Nm) operisane noge–EXPTRQ (.034),
- 4) prosječna snaga ekstenzora (W) operisane noge–EXAVP (.035),

sa koeficijentom diskriminacije za izokinetičke parametre: ukupni rad ekstenzora (J) operisane noge–EXTW (.542), deficit momenta sile ekstenzora (%) operisane noge u odnosu na neoperisanu nogu–EXDEF (.021), prosječna snaga ekstenzora (W) operisane noge–EXAVP (.001), maksimalni obrtni moment sile ekstenzora (Nm) operisane noge–EXPTRQ (.000).

Analiza **izokinetičkih parametara fleksora na kontrolnom mjerenju** (MANOVA .000 i DISKRIMINATIVNA .000) ukazuje da postoji značajna razlika između dvije ispitivane grupe, i to kod pojedinih izokinetičkih parametara:

- 1) ukupni rad fleksora (J) operisane noge–FLTW (.000),
- 2) maksimalni obrtni moment sile fleksora (Nm) operisane noge–FLPTRQ (.001),
- 3) prosječna snaga fleksora (W) operisane noge–FLAVP (.002).

Razlika nije uočena kod izokinetičkih parametara: deficit momenta sile fleksora (%) operisane noge u odnosu na neoperisanu nogu–FLDEF (.147), sa koeficijentom diskriminacije za izokinetičke parametre: ukupni rad fleksora (J) operisane noge–FLTW (.451), prosječna snaga fleksora (W) operisane noge–FLAVP (.021), deficit momenta sile fleksora (%) operisane noge u odnosu na neoperisanu nogu–FLDEF (.008), maksimalni obrtni moment sile fleksora (Nm) operisane noge–FLPTRQ (.000).

Analiza **izokinetičkog parametra odnos prosječnog obrtnog momenta sile agonista i antagonista–AGANR na kontrolnom mjerenju** ukazuje da postoji značajna razlika između ispitivanih grupa (.089).

Analiza **izokinetičkih parametara ekstenzora na finalnom mjerenju** (MANOVA .000 i DISKRIMINATIVNA .000) ukazuje da postoji značajna razlika između ispitivanih grupa kod izokinetičkih parametara:

- 1) maksimalni obrtni moment sile ekstenzora (Nm) operisane noge–EXPTRQ (.000),
- 2) prosječna snaga ekstenzora (W) operisane noge–EXAVP (.000),
- 3) ukupni rad ekstenzora (J) operisane noge–EXTW (.000),
- 4) deficit momenta sile ekstenzora (%) operisane noge u odnosu na neoperisanu nogu–EXDEF (.000),

sa diskriminacijom, ukupni rad ekstenzora (J) operisane noge–EXTW (1.081), prosječna snaga ekstenzora (W) operisane noge–EXAVP (.656), maksimalni obrtni moment sile ekstenzora (Nm) operisane noge–EXPTRQ (.153), deficit momenta sile ekstenzora (%) operisane noge u odnosu na neoperisanu nogu –EXDEF (.147).

Kada su u pitanju pojedini izokinetički parametri ekstenzora na finalnom mjerenju, možemo zaključiti sljedeće:

Za izokinetički parametar EXPTRQ: Evidentno je da je na kraju rehabilitacionog tretmana u ispitivanoj grupi A–izokinetičkoj bio značajno dominantniji oporavak m. quadriceps-a, odnosno izokinetički parametar maksimalni obrtni moment sile ekstenzora (Nm) operisane noge–EXPTRQ je imao mnogo značajnije uvećanje nego u ispitivanoj grupi B–izotoničkoj. Izgleda da je tek nakon šest sedmica došlo do potpune dominacije izokinetičkog vježbanja, odnosno trebalo je više od tri sedmice da bi došlo do hipertrofije m. quadriceps–a.

Za izokinetički parametar EXAVP: Procjenjujući rezultate izokinetičkih testova na finalnom mjerenju u ispitivanoj grupi A–izokinetičkoj vidljiv je značajan skok snage mišića (EXAVP) ekstenzora, do sada najvećim povećanjem bilo kojeg parametra. U ispitivanoj grupi B–izotoničkoj to nije bio slučaj. To nam govori da je do ogromnog povećanja mišićne snage dovelo upravo izokinetičko vježbanje, a ne vremenski faktor.

Za izokinetički parametar EXTW: Postoji velika prednost izokinetike u periodu od jednog do dva mjeseca rehabilitacije, počevši od tri mjeseca nakon hirurške rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta. Ukupni rad natkoljenih mišića se znatno više povećava izokinetičkim treningom nego izotoničkim.

Za izokinetički parametar EXDEF: Iz svega do sada iznesenog vidimo da je ovaj rad u potpunosti u korelaciji sa radovima većine kolega i da se još jednom sa čvrstim dokazima može reći da izokinetička dijagnostika, kao i izokinetičko vježbanje ima nezamjenjivu ulogu u rehabilitaciji nakon rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta, gdje je izjednačavanje obrtnog momenta ekstenzora operisane i neoperisane noge od primarnog značaja.

Analiza **izokinetičkih parametara fleksora na finalnom mjerenju** (MANOVA .000 i DISKRIMINATIVNA .000) ukazuje da postoji značajna razlika između ispitivanih grupa kod pojedinih izokinetičkih parametara:

- 1) maksimalni obrtni moment sile fleksora (Nm) operisane noge–FLPTRQ (.000),
- 2) prosječna snaga fleksora (W) operisane noge–FLAVP (.000),

- 3) ukupni rad fleksora (J) operisane noge–FLTW (.000),
- 4) deficit momenta sile fleksora (%) operisane noge u odnosu na neoperisanu nogu–FLDEF (.000),

sa koeficijentom diskriminacije: prosječna snaga fleksora (W) operisane noge–FLAVP (11.481), ukupni rad fleksora (J) operisane noge–FLTW (1.214), deficit momenta sile fleksora (%) operisane noge u odnosu na neoperisanu nogu–FLDEF (.758), maksimalni obrtni moment sile fleksora (Nm) operisane noge–FLPTRQ (.338).

Analizirajući izokinetičke parametre fleksora koljena operisane noge, posmatrali smo distance između rezultata ove tematske cjeline istraživanja nakon tri i nakon šest sedmica rehabilitacionog tretmana. Uočava se da su najbliže ispitivane grupe B-izotonička na kontrolnom mjerenju i ispitivane grupe B-izotoničke na finalnom mjerenju sa distancom 0.22, a najveća razlika je između A-izokinetičke na inicijalnom i A-izokinetičke na finalnom mjerenju, sa distancom 13.17. Tu se vidi da je proces reparacije mišićnih performansi u zadnjoj loži natkoljenice pri klasičnom–izotoničkom vježbanju praktično priveden kraju nakon tri sedmice tretmana, odnosno vidljivo je da je razlika između tri i šest sedmica jako mala (0.22). Sasvim suprotno, kod izokinetičkog vježbanja vidimo da je taj prirast i dalje prisutan, odnosno da i nakon tri sedmice raste do šeste sedmice i ukupno iznosi 13.17. Posmatrajući dobijenu distancu između ispitivanih grupa na finalnom mjerenju, uočava se da je ona najveća u cijelom istraživanju, računajući sva mjerenja i sve tematske cjeline istraživanja. Može se reći da je duplo veća, odnosno da su duplo više izražene karakteristike ispitivane grupe A–izokinetičke u odnosu na grupu B–izotoničku. Vidljivo je da je izokinetički trening najviše doprinio razlikama između ispitivanih grupa upravo u ovoj tematskoj cjelini istraživanja. Izgleda da je za reparaciju mišićnih performansi zadnje lože natkoljenice (fleksora koljena) izokinetički trening bolje rješenje od klasičnog, i to dvostruko.

Kada su u pitanju pojedini izokinetički parametri fleksora na finalnom mjerenju, možemo zaključiti sljedeće:

Za izokinetički parametar FLPTRQ: kod pacijenata nakon rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta koji su provodili izokinetički terapijski protokol vježbanja nađen je značajan napredak u obrtnom momentu fleksora koljena nakon šest sedmica provedenog rehabilitacionog tretmana. Jedan od mogućih razloga je da se izokinetičkim vježbanjem brže i efikasnije postiže jačina zadnje lože natkoljenice, što je u skladu sa hipotezama. Ujedno, na ovom nivou vidimo i najveći uticaj promjene izokinetičkih parametara na krajnji ishod istraživanja, odnosno najveći pomak je

detektovan upravo na ovom izokinetičkom parametru. To vidimo na dendogramu (2) gdje su prikazane distance rezultata po ispitivanim grupama i po mjerenjima u odnosu na pojedine parametre, a za izokinetički parametar maksimalni obrtni moment sile fleksora (Nm) operisane noge–FLPTRQ na finalnom mjerenju u ispitivanoj grupi A–izokinetičkoj, u odnosu na inicijalno mjerenje iznosi **13.17**.

Za izokinetički parametar FLAVP: došlo je do povećanja parametra u obje ispitivane grupe, s tim da je na finalnom mjerenju u ispitivanoj grupi A–izokinetičkoj to povećanje bilo značajnije.

Za izokinetički parametar FLTW: vidljiv je značajno bolji rezultat ovog izokinetičkog parametra u ispitivanoj grupi A–izokinetičkoj.

Za izokinetički parametar FLDEF: vrijednosti do 20% se smatraju prihvatljivim u fiziološkom smislu, tako da možemo reći da je u ispitivanoj grupi A–izokinetičkoj postignut apsolutni uspjeh po pitanju izjednačavanja zadnje lože natkoljenice operisane i neoperisane noge. Ima smisla tvrditi da izokinetički trening doprinosi boljoj restauraciji deficita mišića zadnje lože u odnosu na izotonički.

Analiza **izokinetičkog parametra odnos prosječnog obrtnog momenta sile agonista i antagonista–AGANR na finalnom mjerenju** (MANOVA .000 i DISKRIMINATIVNA .000) ukazuje da postoji značajna razlika između dvije ispitivane grupe, u odnosu na ovaj parametar (.000), sa diskriminacijom (.406).

U istraživanju je veoma transparentno dokazano da je šest sedmica izokinetičkog treninga tri mjeseca nakon rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta dalo značajno bolje rezultate po pitanju uspostavljanja normalnog odnosa prednje i zadnje lože natkoljenice u odnosu na klasično–izotoničko vježbanje.

## **7.2. Generalizovani zaključak**

Rezultati rehabilitacije nakon rekonstrukcije ACL primjenom izokinetičkog vježbanja ne trebaju se evaluirati samo analizom deficita natkoljenih mišića povrijeđene noge u odnosu na nepovrijeđenu, nego je potrebna analiza više izokinetičkih parametara, na svim vremenskim tačkama mjerenja. Potrebno je pratiti sve izokinetičke parametre, prije svega maksimalni obrtni moment sile mišića obje noge, mišićnu snagu i rad, odnos agonista i antagonista, te na kontrolnim mjerenjima porediti njihov napredak ili smanjenje, a ne oslanjati se samo na deficit obrtnog momenta sile mišića operisane noge. Vidimo da je izokinetičko vježbanje izvrstan metod za postizanje snage mišića i nadoknađivanja deficita snage mišića operisane noge kod

pacijenata nakon rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta u odnosu na izotoničko (standardno) vježbanje.

Imajući u vidu sva navedena razmatranja, nameće se zaključak da je vrijeme povratka u trenažni sportski proces jako nezahvalno prognozirati i da se osim morfološko–funkcionalnog statusa sportiste mora na umu imati sportska disciplina kojom se bavi, bilo da je riječ o profesionalnim ili rekreativnim sportistima. Ispostavlja se da je ovo pitanje vrlo individualno i da zavisi od od same kliničke slike, tj. rehabilitacionog toka svakog pacijenta pojedinačno.

Zaključujemo da je od velike važnosti kod evaluacije ovih pacijenata praćenje svih izokinetičkih parametara, kao i stepen ranijih mišićnih performansi, odnosno, smatramo da bi bilo od izuzetne važnosti testiranje pacijenta prije same operacije, pa i češće, kako se fizioterapeuti i treneri ne bi oslanjali samo na deficit mišićne snage povređenog ekstremiteta, nego imali uvid u više parametara.

## **8. ZNAČAJ I PRAVCI BUDUĆIH ISTRAŽIVANJA**

### **8.1. Teorijski i praktični značaj istraživanja**

Pretpostavljamo da će rezultati ovog istraživanja u značajnoj mjeri doprinijeti razjašnjenju efekata i značaja provođenja izokinetičkog vježbanja na ishod rehabilitacije pacijenata nakon rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta koljena. Rezultati istraživanja ukazuju na značaj ovog terapijskog modaliteta i potrebu za njegovom primjenom tokom rehabilitacije pacijenata nakon ligamentoplastike prednjeg ukrštenog ligamenta koljena. Istraživanje će doprinijeti novim, savremenim saznanjima o uticaju izokinetičkog vježbanja na obrtni moment sile natkoljene muskulature, mišićni rad, snagu, deficite obrtnog mometa sile mišića natkoljenice i odnose agonista i antagonista natkoljenica (H/Q ratio) koji su neophodni za potpuni oporavak pacijenata sa povredom prednjeg ukrštenog ligamenta.

### **8.2. Pravci daljih istraživanja**

Smatramo da bi se nakon analize rezultata ovog istraživanja moglo razmotriti istraživanje koje bi ispitalo uticaj izokinetičkog vježbanja na prevenciju nastanka povreda prednjeg ukrštenog ligamenta, odnosno, ako se ono i dogodi, koliko izokinetičko vježbanje prije povrede utiče na ishod rehabilitacije poslije povrede.

Kada je pitanju da li rekonstrukcija prednjeg ukrštenog ligamenta sprečava rani razvoj artroze koljena, veoma su oprečni rezultati dosadašnjih istraživanja, tako da to takođe može biti jedno od polja interesovanja budućih istraživanja.

## 9. LITERATURA

Abulhasan, J. F., & Grey, M. J. (2017). Anatomy and physiology of knee stability. *Journal of Functional Morphology and kinesiology*, 2(4), 34. <https://doi.org/10.3390/jfmk2040034>

Aggarwal, A., Adhya, B., & Dhillon, MS. (2016). Effectiveness of Isokinetic Exercises in Preoperative Anterior Cruciate Ligament Tears Rehabilitation. *Journal of Postgraduate Medicine, Education and Research*; 50(1):5 8.

<https://www.jpmer.com/doi/JPMER/pdf/10.5005/jp-journals-10028-1183>

American Academy of Physical Medicine and Rehabilitation. Rosemont, IL USA. (bez dat.). *About Physical Medicine & Rehabilitation*. Preuzeto 12.12. 2021. sa Web sajta:

<https://www.aapmr.org/about-physiatry/about-physical-medicine-rehabilitation>

Ardern, C. L., Glasgow, P., Schneiders, A., Witvrouw, E., Clarsen, B., Cools, A., Gojanovic, B., Griffin, S., Khan, K. M., Moksnes, H., Mutch, S. A., Phillips, N., Reurink, G., Sadler, R., Silbernagel, K. G., Thorborg, K., Wangensteen, A., Wilk, K. E., & Bizzini, M. (2016). 2016 Consensus statement on return to sport from the First World Congress in Sports Physical Therapy, Bern. *British journal of sports medicine*, 50(14), 853–864.

<https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096278>

Arundale, A., Bizzini, M., Giordano, A., Hewett, T. E., Logerstedt, D. S., Mandelbaum, B., Scalzitti, D. A., Silvers-Granelli, H., & Snyder-Mackler, L. (2018). Exercise-Based Knee and Anterior Cruciate Ligament Injury Prevention. *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy*, 48(9), A1–A42. <https://doi.org/10.2519/jospt.2018.0303>

Başdelioğlu, K., Meriç, G., Pündük, Z., Akseki, D., Atik, A., & Sargın, S. (2019). Outcomes of isokinetic tests and functional assessment of anterior cruciate ligament reconstruction: Transtibial versus single anatomic femoral tunnel technique. *Acta orthopaedica et traumatologica turcica*, 53(2), 86–91. <https://doi.org/10.1016/j.aott.2019.01.004>

Baumgart, C., Schubert, M., Hoppe, M. W., Gokeler, A., & Freiwald, J. (2017). Do ground reaction forces during unilateral and bilateral movements exhibit compensation strategies following ACL reconstruction?. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA*, 25(5), 1385–1394. <https://doi.org/10.1007/s00167-015-3623-7>

Baumgart, C., Welling, W., Hoppe, M. W., Freiwald, J., & Gokeler, A. (2018). Angle-specific analysis of isokinetic quadriceps and hamstring torques and ratios in patients after ACL-

- reconstruction. *BMC sports science, medicine & rehabilitation*, 10, 23. <https://doi.org/10.1186/s13102-018-0112-6>
- Blach, W., Drapsin, M., Lakicevic, N., Bianco, A., Gavrilovic, T., Roklicer, R., Trivic, T., Cvjeticanin, O., Drid, P., & Kostrzewa, M. (2021). Isokinetic Profile of Elite Serbian Female Judoists. *International journal of environmental research and public health*, 18(13), 6988. <https://doi.org/10.3390/ijerph18136988>
- Boo, M. E., Garrison, J. C., Hannon, J. P., Creed, K. M., Goto, S., Grondin, A. N., & Bothwell, J. M. (2018). Energy Absorption Contribution and Strength in Female Athletes at Return to Sport After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Comparison With Healthy Controls. *Orthopaedic journal of sports medicine*, 6(3), 2325967118759522. <https://doi.org/10.1177/2325967118759522>
- Bousquet, B. A., O'Brien, L., Singleton, S., & Beggs, M. (2018). Post-operative criterion based rehabilitation of ACL repairs: a clinical commentary. *International journal of sports physical therapy*, 13(2), 293–305.
- Brukner, P., Clarsen, B., Cook, J., Cools, A., Crossley, K., Hutchinson, M., McCrory, P., Bahr, R., & Khan, K. (Eds.). (2017). *Brukner & Khan's Clinical Sports Medicine: Injuries, Volume 1, 5e*. ISBN: 9781760421663. Sydney: McGraw-Hill Education (Australia) Pty Ltd. <https://csm.mhmedical.com/content.aspx?bookid=1970&sectionid=168688260>
- Buckthorpe M. (2019). Optimising the Late-Stage Rehabilitation and Return-to-Sport Training and Testing Process After ACL Reconstruction. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 49(7), 1043–1058. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01102-z>
- Buckthorpe, M., Danelon, F., La Rosa, G., Nanni, G., Stride, M., & Della Villa, F. (2021). Recommendations for Hamstring Function Recovery After ACL Reconstruction. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 51(4), 607–624. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01400-x>
- Burnham, J. M., & Wright, V. (2017). Update on Anterior Cruciate Ligament Rupture and Care in the Female Athlete. *Clinics in sports medicine*, 36(4), 703–715. <https://doi.org/10.1016/j.csm.2017.05.004>
- Çelebi, M. M., Akarçeşme, C., & Dalbayrak, B. E. (2018). Evaluation of Postural Balance and Hamstring/Quadriceps Peak Torque Ratios According to Leg Dominancy in Turkish Female Volleyball Players. *Spor Hekimliği Dergisi / Turkish Journal of Sports Medicine*, 53(3). DOI: 10.5152/tjism.2018.100



Cristiani, R., Mikkelsen, C., Forssblad, M., Engström, B., & Stålmán, A. (2019). Only one patient out of five achieves symmetrical knee function 6 months after primary anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA*, 27(11), 3461–3470. <https://doi.org/10.1007/s00167-019-05396-4>

Cruciate Ligament Injury? Two-Year Follow-up After Reconstruction. *The American journal of sports medicine*, 43(12), 3013–3021. <https://doi.org/10.1177/0363546515606126>

Cristiani, R., Sarakatsianos, V., Engström, B., Samuelsson, K., Forssblad, M., & Stålmán, A. (2019). Increased knee laxity with hamstring tendon autograft compared to patellar tendon autograft: a cohort study of 5462 patients with primary anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy: official journal of the ESSKA*, 27(2), 381–388. <https://doi.org/10.1007/s00167-018-5029-9>

Dauty, M., Edouard, P., Menu, P., Mesland, O., & Fouasson-Chailloux, A. (2021). Isokinetic quadriceps symmetry helps in the decision to return to running after anterior cruciate ligament reconstruction. *Annals of physical and rehabilitation medicine*, 65(4), 101543. Advance online publication. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2021.101543>

de Andrade, A., Castro, A., Livani, B., & Belangero, W. D. (2020). Association between Lysholm score and muscular torque deficit after anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of orthopaedic surgery (Hong Kong)*, 28(2), 2309499020933485. <https://doi.org/10.1177/2309499020933485>

Deckers, C., Stephan, P., Wever, K. E., Hooijmans, C. R., & Hannink, G. (2019). The protective effect of anterior cruciate ligament reconstruction on articular cartilage: a systematic review of animal studies. *Osteoarthritis and cartilage*, 27(2), 219–229. <https://doi.org/10.1016/j.joca.2018.10.001>

DeFazio, M. W., Curry, E. J., Gustin, M. J., Sing, D. C., Abdul-Rassoul, H., Ma, R., Fu, F., & Li, X. (2020). Return to Sport After ACL Reconstruction With a BTB Versus Hamstring Tendon Autograft: A Systematic Review and Meta-analysis. *Orthopaedic journal of sports medicine*, 8(12), 2325967120964919. <https://doi.org/10.1177/2325967120964919>

Della Villa, F., Tosarelli, F., Ferrari, R., Grassi, A., Ciampone, L., Nanni, G., Zaffagnini, S., & Buckthorpe, M. (2021). Systematic Video Analysis of Anterior Cruciate Ligament Injuries in Professional Male Rugby Players: Pattern, Injury Mechanism, and Biomechanics in 57

Consecutive Cases. *Orthopaedic journal of sports medicine*, 9(11), 23259671211048182. <https://doi.org/10.1177/23259671211048182>

De Ste Croix, M., ElNagar, Y. O., Iga, J., Ayala, F., & James, D. (2017). The impact of joint angle and movement velocity on sex differences in the functional hamstring/quadriceps ratio. *The Knee*, 24(4), 745–750. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2017.03.012>

Diermeier, T., Rothrauff, B. B., Engebretsen, L., Lynch, A. D., Ayeni, O. R., Paterno, M. V., Xerogeanes, J. W., Fu, F. H., Karlsson, J., Musahl, V., Svantesson, E., Hamrin Senorski, E., Rauer, T., Meredith, S. J., & Panther Symposium ACL Treatment Consensus Group (2020). Treatment after anterior cruciate ligament injury: Panther Symposium ACL Treatment Consensus Group. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy: official journal of the ESSKA*, 28(8), 2390–2402. <https://doi.org/10.1007/s00167-020-06012-6>

Dingenen, B., & Gokeler, A. (2017). Optimization of the Return-to-Sport Paradigm After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Critical Step Back to Move Forward. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 47(8), 1487–1500. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0674-6>

Domínguez-Navarro, F., Roig-Casasús, S., Díaz-Díaz, B., Silvestre, A., Martínez-Garrido, I., Pérez-Maletzki, J., Pinazo, L., Hernández-Guillen, D., & Blasco, J. M. (2020). The condition of the contralateral knee may induce different degrees of knee extensor strength asymmetry and affect functionality in individuals with unilateral or bilateral osteoarthritis. *The Knee*, 27(6), 1795–1800. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2020.09.021>

Dragičević-Cvjetković, D., Erceg-Rukavina, T., & Nikolić, S. (2021). Proprioception recovery after anterior cruciate ligament reconstruction: Isokinetic versus dynamic exercises. *Scripta Medica*, 52(4), 289-293. <https://doi.org/10.5937/scriptamed52-35239>

Đuričin, A. (2018). *Prostorno određivanje položaja kalema u golenjači posle rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta kolena*. (Doctoral dissertation, University of Novi Sad, Serbia).

Ebert, J. R., Edwards, P., Joss, B., Annear, P., Radic, R., & D'Alessandro, P. (2021). Isokinetic torque analysis demonstrates deficits in knee flexor and extensor torque in patients at 9-12 months after anterior cruciate ligament reconstruction, despite peak torque symmetry. *The Knee*, 32, 9–18. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2021.07.003>

Eitzen, I., Grindem, H., Nilstad, A., Moksnes, H., & Risberg, M. A. (2016). Quantifying Quadriceps Muscle Strength in Patients With ACL Injury, Focal Cartilage Lesions, and

Degenerative Meniscus Tears: Differences and Clinical Implications. *Orthopaedic journal of sports medicine*, 4(10), 2325967116667717. <https://doi.org/10.1177/2325967116667717>

El-Saeed, T. M. (2022). Motor-based priming: isokinetic outcomes of aerobic exercise in children with spastic diplegia. *Physiotherapy Quarterly*, 30(2), 64-68. <https://doi.org/10.5114/pq.2021.108672>

Feucht, M. J., Cotic, M., Saier, T., Minzlaff, P., Plath, J. E., Imhoff, A. B., & Hinterwimmer, S. (2016). Patient expectations of primary and revision anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA*, 24(1), 201–207. <https://doi.org/10.1007/s00167-014-3364-z>

Filbay, S. R., & Grindem, H. (2019). Evidence-based recommendations for the management of anterior cruciate ligament (ACL) rupture. *Best practice & research. Clinical rheumatology*, 33(1), 33–47. <https://doi.org/10.1016/j.berh.2019.01.018>

Friedmann-Bette, B., Profit, F., Gwechenberger, T., Weiberg, N., Parstorfer, M., Weber, M. A., Streich, N., & Barié, A. (2018). Strength Training Effects on Muscular Regeneration after ACL Reconstruction. *Medicine and science in sports and exercise*, 50(6), 1152–1161. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001564>

García–García, O., Serrano–Gómez, V., Hernández–Mendo, A., & Morales–Sánchez, V. (2017). Baseline Mechanical and Neuromuscular Profile of Knee Extensor and Flexor Muscles in Professional Soccer Players at the Start of the Pre-Season. *Journal of human kinetics*, 58, 23–34. <https://doi.org/10.1515/hukin-2017-0066>

Carter, H. M., Littlewood, C., Webster, K. E., & Smith, B. E. (2020). The effectiveness of preoperative rehabilitation programmes on postoperative outcomes following anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction: a systematic review. *BMC musculoskeletal disorders*, 21(1), 647. <https://doi.org/10.1186/s12891-020-03676-6>

Garcia, S. A., Moffit, T. J., Vakula, M. N., Holmes, S. C., Montgomery, M. M., & Pamukoff, D. N. (2020). Quadriceps Muscle Size, Quality, and Strength and Self-Reported Function in Individuals With Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Journal of athletic training*, 55(3), 246–254. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-38-19>

Garrison, J. C., Hannon, J., Goto, S., Giesler, L., Bush, C., & Bothwell, J. M. (2018). Participants at three months post-operative anterior cruciate ligament reconstruction (ACL-R) demonstrate

differences in lower extremity energy absorption contribution and quadriceps strength compared to healthy controls. *The Knee*, 25(5), 782–789. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2018.06.014>

Garrison, J. C., Hannon, J., Goto, S., Kosmopoulos, V., Aryal, S., Bush, C., Bothwell, J. M., & Singleton, S. B. (2019). Knee Loading After ACL-R Is Related to Quadriceps Strength and Knee Extension Differences Across the Continuum of Care. *Orthopaedic journal of sports medicine*, 7(10), 2325967119870155. <https://doi.org/10.1177/2325967119870155>

Ghareeb, D. M., McLaine, A. J., Wojcik, J. R., & Boyd, J. M. (2017). Effects of Two Warm-up Programs on Balance and Isokinetic Strength in Male High School Soccer Players. *Journal of strength and conditioning research*, 31(2), 372–379. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001509>

Ghroubi, S., Kossemtini, W., Mahersi, S., Elleuch, W., Chaabene, M., & Elleuch, M. H. (2016). Contribution of isokinetic muscle strengthening in the rehabilitation of obese subjects. *Annals of physical and rehabilitation medicine*, 59(2), 87–93. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2016.01.005>

Goetschius, J., & Hart, J. M. (2016). Knee-Extension Torque Variability and Subjective Knee Function in Patients with a History of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Journal of athletic training*, 51(1), 22–27. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-51.1.12>

Gokeler, A., Welling, W., Benjaminse, A., Lemmink, K., Seil, R., & Zaffagnini, S. (2017). A critical analysis of limb symmetry indices of hop tests in athletes after anterior cruciate ligament reconstruction: A case control study. *Orthopaedics & traumatology, surgery & research : OTSR*, 103(6), 947–951. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2017.02.015>

Gokeler, A., Welling, W., Zaffagnini, S., Seil, R., & Padua, D. (2017). Development of a test battery to enhance safe return to sports after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA*, 25(1), 192–199. <https://doi.org/10.1007/s00167-016-4246-3>

Goodarzi, B., Mirmoezzi, M., Heidarinia, M., & Goodarzi, Y. (2021). Is kinesiotherapy preoperative effective in relieving knee pain, increasing knee strength and range of motion in patients with anterior cruciate ligament injury. *Yafteh*, 23, 126-136. <http://yafte.lums.ac.ir/article-1-3398-en.html>

Grapar Žargi, T., Drobnič, M., Vauhnik, R., Koder, J., & Kacin, A. (2017). Factors predicting quadriceps femoris muscle atrophy during the first 12weeks following anterior cruciate ligament reconstruction. *The Knee*, 24(2), 319–328. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2016.11.003>

Harkey, M. S., Luc-Harkey, B. A., Lepley, A. S., Grindstaff, T. L., Gribble, P., Blackburn, J. T., Spang, J. T., & Pietrosimone, B. (2016). Persistent Muscle Inhibition after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Role of Reflex Excitability. *Medicine and science in sports and exercise*, 48(12), 2370–2377. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001046>

Heitkamp, S. (2020). *Stellenwert einer bewegungslimitierenden Orthese in der Nachbehandlung der vorderen Kreuzbandplastik– Kurzeitergebnisse–* (Doctoral dissertation, Dissertation, Göttingen, Georg-August Universität). <https://ediss.uni-goettingen.de/handle/21.11130/00-1735-0000-0005-1501-2?locale-attribute=en>

Herbawi, F., Lozano-Lozano, M., Lopez-Garzon, M., Postigo-Martin, P., Ortiz-Comino, L., Martin-Alguacil, J. L., Arroyo-Morales, M., & Fernandez-Lao, C. (2022). A Systematic Review and Meta-Analysis of Strength Recovery Measured by Isokinetic Dynamometer Technology after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Using Quadriceps Tendon Autografts vs. Hamstring Tendon Autografts or Patellar Tendon Autografts. *International journal of environmental research and public health*, 19(11), 6764. <https://doi.org/10.3390/ijerph19116764>

Hassebrock, J. D., Gulbrandsen, M. T., Asprey, W. L., Makovicka, J. L., & Chhabra, A. (2020). Knee Ligament Anatomy and Biomechanics. *Sports medicine and arthroscopy review*, 28(3), 80–86. <https://doi.org/10.1097/JSA.0000000000000279>

Hipsley, A., Hall, M., Saxby, D. J., Bennell, K. L., Wang, X., & Bryant, A. L. (2022). Quadriceps muscle strength at 2 years following anterior cruciate ligament reconstruction is associated with tibiofemoral joint cartilage volume. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA*, 10.1007/s00167-021-06853-9. Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s00167-021-06853-9>

Hohmann, E., Tetsworth, K., & Glatt, V. (2019). The hamstring/quadriceps ratio is an indicator of function in ACL-deficient, but not in ACL-reconstructed knees. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*, 139(1), 91–98. <https://doi.org/10.1007/s00402-018-3000-3>

Hong, S., Shim, J., Kim, S., Namkoong, S., & Roh, H. (2016). Effect of kinesio taping on the isokinetic muscle function in football athletes with a knee injury. *Journal of physical therapy science*, 28(1), 218–222. <https://doi.org/10.1589/jpts.28.218>

Huang, H., Guo, J., Yang, J., Jiang, Y., Yu, Y., Müller, S., Ren, G., & Ao, Y. (2017). Isokinetic angle-specific moments and ratios characterizing hamstring and quadriceps strength in anterior

cruciate ligament deficient knees. *Scientific reports*, 7(1), 7269. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-06601-5>

Irarrázaval, S., Albers, M., Chao, T., & Fu, F. H. (2017). Gross, arthroscopic, and radiographic anatomies of the anterior cruciate ligament: foundations for anterior cruciate ligament surgery. *Clinics in sports medicine*, 36(1), 9-23. <http://dx.doi.org/10.1016/j.csm.2016.08.002>

Janssen, R. P., Reijman, M., Janssen, D. M., & van Mourik, J. B. (2016). Arterial complications, venous thromboembolism and deep venous thrombosis prophylaxis after anterior cruciate ligament reconstruction: A systematic review. *World journal of orthopedics*, 7(9), 604–617. <https://doi.org/10.5312/wjo.v7.i9.604>

Janssen, R., van Melick, N., van Mourik, J., Reijman, M., & van Rhijn, L. W. (2018). ACL reconstruction with hamstring tendon autograft and accelerated brace-free rehabilitation: a systematic review of clinical outcomes. *BMJ open sport & exercise medicine*, 4(1), e000301. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2017-000301>

Jewiss, D., Ostman, C., & Smart, N. (2017). Open versus Closed Kinetic Chain Exercises following an Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of sports medicine (Hindawi Publishing Corporation)*, 2017, 4721548. <https://doi.org/10.1155/2017/4721548>

Kadija, M., Knezević, O. M., Milovanović, D., Nedeljković, A., & Mirkov, D. M. (2016). The effect of anterior cruciate ligament reconstruction on hamstring and quadriceps muscle function outcome ratios in male athletes. *Srpski arhiv za celokupno lekarstvo*, 144(3-4), 151–157.

Kadija, M., Milovanović, D., Bumbaširević, M., Carević, Z., Dubljanin–Raspopović, E., & Stijak, L. (2017). Length of the femoral tunnel in anatomic ACL reconstruction: comparison of three techniques. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy: official journal of the ESSKA*, 25(5), 1606–1612. <https://doi.org/10.1007/s00167-015-3670-0>

Kang, S. H., Lee, S. J., Press, J. M., & Zhang, L. Q. (2019). Real-Time Three-Dimensional Knee Moment Estimation in Knee Osteoarthritis: Toward Biodynamic Knee Osteoarthritis Evaluation and Training. *IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering : a publication of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 27(6), 1263–1272. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2019.2915812>

Kaur, M., Ribeiro, D. C., Theis, J. C., Webster, K. E., & Sole, G. (2016). Movement Patterns of the Knee During Gait Following ACL Reconstruction: A Systematic Review and Meta-Analysis.

*Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 46(12), 1869–1895. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0510-4>

Khonsary S. A. (2017). Guyton and Hall: Textbook of Medical Physiology. *Surgical Neurology International*, 8, 275. [https://doi.org/10.4103/sni.sni\\_327\\_17](https://doi.org/10.4103/sni.sni_327_17)

Kim, M., Dotseth, M., Farmer, B.E., Grindstaff, T., Palimenio, M., Turman, K., & Katsavelis, D. (2020). Effect of Strength, Inhibition, and Pain on Confidence After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction [abstract]. *PM&R*. 12(S1). <https://pmrjabstracts.org/abstract/effect-of-strength-inhibition-and-pain-on-confidence-after-anterior-cruciate-ligament-reconstruction/>

Kittl, C., Robinson, J., Raschke, M. J., Olbrich, A., Frank, A., Glasbrenner, J., Herbst, E., Domnick, C., & Herbort, M. (2021). Medial collateral ligament reconstruction graft isometry is effected by femoral position more than tibial position. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy: official journal of the ESSKA*, 29(11), 3800–3808. <https://doi.org/10.1007/s00167-020-06420-8>

Korakakis, V., Kotsifaki, A., Korakaki, A., Karanasios, S., & Whiteley, R. (2021). Current perspectives and clinical practice of physiotherapists on assessment, rehabilitation, and return to sport criteria after anterior cruciate ligament injury and reconstruction. An online survey of 538 physiotherapists. *Physical therapy in sport : official journal of the Association of Chartered Physiotherapists in Sports Medicine*, 52, 103–114. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2021.08.012>

Kovačev, N. (2016). Poređenje rezultata primarne i ponovne rekonstrukcije prednje ukrštene veze kolena. *Medicinski fakultet, Univerzitet u Novom Sadu*

Królikowska, A., Czamara, A., Szuba, Ł., & Reichert, P. (2018). The Effect of Longer versus Shorter Duration of Supervised Physiotherapy after ACL Reconstruction on the Vertical Jump Landing Limb Symmetry. *BioMed research international*, 2018, 7519467. <https://doi.org/10.1155/2018/7519467>

Kuenze, C. M., Blemker, S. S., & Hart, J. M. (2016). Quadriceps function relates to muscle size following ACL reconstruction. *Journal of orthopaedic research : official publication of the Orthopaedic Research Society*, 34(9), 1656–1662. <https://doi.org/10.1002/jor.23166>

Lansdown, D., & Ma, C. B. (2018). The Influence of Tibial and Femoral Bone Morphology on Knee Kinematics in the Anterior Cruciate Ligament Injured Knee. *Clinics in sports medicine*, 37(1), 127–136. <https://doi.org/10.1016/j.csm.2017.07.012>

- Lee, J. H., Cheon, S., Jun, H. P., Huang, Y. L., & Chang, E. (2020). Bilateral Comparisons of Quadriceps Thickness after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Medicina (Kaunas, Lithuania)*, 56(7), 335. <https://doi.org/10.3390/medicina56070335>
- Lee, O. S., & Lee, Y. S. (2020). Changes in hamstring strength after anterior cruciate ligament reconstruction with hamstring autograft and posterior cruciate ligament reconstruction with tibialis allograft. *Knee surgery & related research*, 32(1), 27. <https://doi.org/10.1186/s43019-020-00047-2>
- Liu, H., Lu, W., Liang, D., Geng, H., Zhu, W., Ouyang, K., Li, H., Peng, L., Feng, W., Zhong, M., Chen, K., Li, Y., Deng, Z., & Wang, D. (2019). Effect of isokinetic training of thigh muscle group on graft remodeling after anterior cruciate ligament reconstruction. *Chinese journal of reparative and reconstructive surgery*, 33(9), 1088–1094. <https://doi.org/10.7507/1002-1892.201902059>
- Loturco, I., Kobal, R., Kitamura, K., Fernandes, V., Moura, N., Siqueira, F., Cal Abad, C. C., & Pereira, L. A. (2019). Predictive Factors of Elite Sprint Performance: Influences of Muscle Mechanical Properties and Functional Parameters. *Journal of strength and conditioning research*, 33(4), 974–986. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002196>
- Łyp, M., Stanisławska, I., Witek, B., Majerowska, M., Czarny-Działak, M., & Włostowska, E. (2018). The Timing of Rehabilitation Commencement After Reconstruction of the Anterior Cruciate Ligament. *Advances in experimental medicine and biology*, 1096, 53–57. [https://doi.org/10.1007/5584\\_2018\\_210](https://doi.org/10.1007/5584_2018_210)
- Maly, T., Mala, L., Bujnovsky, D., Hank, M., & Zahalka, F. (2019). Morphological and Isokinetic Strength Differences: Bilateral and Ipsilateral Variation by Different Sport Activity. *Open medicine (Warsaw, Poland)*, 14, 207–216. <https://doi.org/10.1515/med-2019-0014>
- Maly, T., Zahalka, F., & Mala, L. (2016). Unilateral and Ipsilateral Strength Asymmetries in Elite Youth Soccer Players With Respect to Muscle Group and Limb Dominance. *International Journal of Morphology*, 34(4).
- Manevski, D., Nikolovska, L., Handziski, Z., & Handziska, E. (2016). Applying the isokinetic and the isokinetic diagnostics at the injures of Ligamentum anterior cruciate-ACL. *Rauché Zdravstveni časopis*, 7, 32-34. [https://www.researchgate.net/publication/298458279\\_Postsurgical\\_Orthopedic\\_Sports\\_Rehabilitation](https://www.researchgate.net/publication/298458279_Postsurgical_Orthopedic_Sports_Rehabilitation)



- Martínez-Pernía, D., González-Castán, Ó., & Huepe, D. (2017). From ancient Greece to the cognitive revolution: A comprehensive view of physical rehabilitation sciences. *Physiotherapy theory and practice*, 33(2), 89–102. <https://doi.org/10.1080/09593985.2016.1266720>
- Matsuo, T., Koyanagi, M., Okimoto, R., Moriuchi, T., Ikeda, K., Nakae, N., Nakagawa, S., & Shino, K. (2020). Quantitative Evaluation of Functional Instability Due to Anterior Cruciate Ligament Deficiency. *Orthopaedic journal of sports medicine*, 8(7), 2325967120933885. <https://doi.org/10.1177/2325967120933885>
- Matta, T. T., Nascimento, F. X., Trajano, G. S., Simão, R., Willardson, J. M., & Oliveira, L. F. (2017). Selective hypertrophy of the quadriceps musculature after 14 weeks of isokinetic and conventional resistance training. *Clinical physiology and functional imaging*, 37(2), 137–142. <https://doi.org/10.1111/cpf.12277>
- Meredith, S. J., Rauer, T., Chmielewski, T. L., Fink, C., Diermeier, T., Rothrauff, B. B., Svantesson, E., Hamrin Senorski, E., Hewett, T. E., Sherman, S. L., Lesniak, B. P. (2020). Return to sport after anterior cruciate ligament injury: Panther Symposium ACL Injury Return to Sport Consensus Group. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA*, 28(8), 2403–2414. <https://doi.org/10.1007/s00167-020-06009-1>
- Mikić, B., Bajrić, O., Selimović, N., Hrnjić, J., & Ivanek, V. (2018). Primjena izokinetičke dijagnostike u svrhu utvrđivanja funkcije mišića i zglobova i mišićne pripreme sportista. In *Panevropski univerzitet "Apeiron" Banja Luka: 8. međunarodna konferencija Sportke nauke i zdravlje: 315* (Vol. 323).
- Muhammad, S. I., & Anup, D. (2018). Functional Hamstring to Quadriceps Strength Ratio (H:Q) and Hamstrings Injury of Soccer Players: A Qualitative Analysis. *Orthopedics and Sports Medicine: Open Access Journal* 2 (2). ISSN: 2638-6003. <http://dx.doi.org/10.32474/OSMOAJ.2018.02.000133>
- Nagai, K., Gale, T., Irrgang, J. J., Tashman, S., Fu, F. H., & Anderst, W. (2018). Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Affects Tibiofemoral Joint Congruency During Dynamic Functional Movement. *The American journal of sports medicine*, 46(7), 1566–1574. <https://doi.org/10.1177/0363546518764675>
- Nagai, T., Schilaty, N. D., Laskowski, E. R., & Hewett, T. E. (2020). Hop tests can result in higher limb symmetry index values than isokinetic strength and leg press tests in patients

following ACL reconstruction. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA*, 28(3), 816–822. <https://doi.org/10.1007/s00167-019-05513-3>

Nessler, T., Denney, L., & Sampley, J. (2017). ACL Injury Prevention: What Does Research Tell Us?. *Current reviews in musculoskeletal medicine*, 10(3), 281–288. <https://doi.org/10.1007/s12178-017-9416-5>

Nikolić, S., Pavlović, R., Radulović, N., Gerdijan, N. (2021). Clinical outcomes of torque deficit reduction in knee extensors and flexors after anterior cruciate ligament reconstruction. *Isagoge-Journal of Humanities and Social Sciences*, 1(8), 42–63. <https://www.telosjournals.com.br/ojs/index.php/isa/article/view/72>

Norte, G. E., Knaus, K. R., Kuenze, C., Handsfield, G. G., Meyer, C. H., Blemker, S. S., & Hart, J. M. (2018). MRI-Based Assessment of Lower-Extremity Muscle Volumes in Patients Before and After ACL Reconstruction. *Journal of sport rehabilitation*, 27(3), 201–212. <https://doi.org/10.1123/jsr.2016-0141>

Novaretti, J. V., Franciozi, C. E., Forgas, A., Sasaki, P. H., Ingham, S., & Abdalla, R. J. (2018). Quadriceps Strength Deficit at 6 Months After ACL Reconstruction Does Not Predict Return to Preinjury Sports Level. *Sports health*, 10(3), 266–271. <https://doi.org/10.1177/1941738118759911>

Noyes, F. R., & Barber-Westin, S. (Eds.). (2019). *Return to Sport After ACL Reconstruction and Other Knee Operations: Limiting the Risk of Reinjury and Maximizing Athletic Performance*. Springer Nature.

Ogborn, D., McRae, S., Larose, G., Leiter, J., Brown, H., & MacDonald, P. (2021). Knee flexor strength and symmetry vary by device, body position and angle of assessment following ACL reconstruction with hamstring grafts at long-term follow-up. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA*, 10.1007/s00167-021-06712-7. Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s00167-021-06712-7>

Olsson, O., Isacsson, A., Englund, M., & Frobell, R. B. (2016). Epidemiology of intra- and peri-articular structural injuries in traumatic knee joint hemarthrosis-data from 1145 consecutive knees with subacute MRI. *Osteoarthritis and cartilage*, 24(11), 1890–1897. <https://doi.org/10.1016/j.joca.2016.06.006>

- Parsons, J. L., Coen, S. E., & Bekker, S. (2021). Anterior cruciate ligament injury: towards a gendered environmental approach. *British journal of sports medicine*, 55(17), 984–990. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-103173>
- Paterno M. V. (2017). Non-operative Care of the Patient with an ACL-Deficient Knee. *Current reviews in musculoskeletal medicine*, 10(3), 322–327. <https://doi.org/10.1007/s12178-017-9431-6>
- Paulus, J., Croisier, J. L., Kaux, J. F., & Bury, T. (2019). Eccentric versus Concentric-Which Is the Most Stressful Cardiovascularly and Metabolically?. *Current sports medicine reports*, 18(12), 477–489. <https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000000666>
- Pozzi, F., White, D. K., Snyder-Mackler, L., & Zeni, J. A. (2020). Restoring physical function after knee replacement: a cross sectional comparison of progressive strengthening vs standard physical therapy. *Physiotherapy theory and practice*, 36(1), 122–133. <https://doi.org/10.1080/09593985.2018.1479475>
- Read, P. J., Trama, R., Racinais, S., McAuliffe, S., Klauznicer, J., & Alhammoud, M. (2022). Angle specific analysis of hamstrings and quadriceps isokinetic torque identify residual deficits in soccer players following ACL reconstruction: a longitudinal investigation. *Journal of sports sciences*, 40(8), 871–877. <https://doi.org/10.1080/02640414.2021.2022275>
- Riesterer, J., Mauch, M., Paul, J., Gehring, D., Ritzmann, R., & Wenning, M. (2020). Relationship between pre- and post-operative isokinetic strength after ACL reconstruction using hamstring autograft. *BMC sports science, medicine & rehabilitation*, 12(1), 68. <https://doi.org/10.1186/s13102-020-00215-7>
- Risberg, M. A., Oiestad, B. E., Gunderson, R., Aune, A. K., Engebretsen, L., Culvenor, A., & Holm, I. (2016). Changes in Knee Osteoarthritis, Symptoms, and Function After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A 20-Year Prospective Follow-up Study. *The American journal of sports medicine*, 44(5), 1215–1224. <https://doi.org/10.1177/0363546515626539>
- Risberg, M. A., Steffen, K., Nilstad, A., Myklebust, G., Kristianslund, E., Moltubakk, M. M., & Krosshaug, T. (2018). Normative Quadriceps and Hamstring Muscle Strength Values for Female, Healthy, Elite Handball and Football Players. *Journal of strength and conditioning research*, 32(8), 2314–2323. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002579>

Rizeanu, S., Mircea, B., & Rizeanu, R. E. (2017). Optimization of medical rehabilitation process in orthopedic traumatic pathology in athletes through cognitive-behavioral approaches. *Romanian Journal of Experimental Applied Psychology*, 8. DOI:[10.15303/rjeap.2017.si1.a62](https://doi.org/10.15303/rjeap.2017.si1.a62)

Robinson, J. D., Jr, Hannon, J., Goto, S., Singleton, S. B., & Garrison, J. C. (2022). Adolescent Athletes Demonstrate Inferior Objective Profiles at the Time of Return to Sport After ACLR Compared With Healthy Controls. *Orthopaedic journal of sports medicine*, 10(1), 23259671211063576. <https://doi.org/10.1177/23259671211063576>

Royer, S. D., Poploski, K. M., Ross, J. A., Heebner, N. R., Abt, J. P., Sheppard, R. L., & Winters, J. D. (2021). Training Strategies Maintain Performance Characteristics in Marines Selected for Marine Forces Special Operations Individualized Training Course. *Military medicine*, usab124. Advance online publication. <https://doi.org/10.1093/milmed/usab124>

Ruzbarsky, J. J., Konin, G., Mehta, N., & Marx, R. G. (2017). MRI Arthroscopy Correlations: Ligaments of the Knee. *Sports medicine and arthroscopy review*, 25(4), 210–218. <https://doi.org/10.1097/JSA.0000000000000167>

Sanders, T. L., Finnoff, J. T., & Dahm, D. L. (2018). Rehabilitation of the Surgically Reconstructed and Nonsurgical Anterior Cruciate Ligament. U: Scott WN, urednik. Insall & Scott Surgery of the Knee [Internet]. 6. izd. Dostupno na: <https://www.clinicalkey.com/#!/content/3-s2.0-B9780323400466000575>

Sanders, T. L., Kremers, H. M., Bryan, A. J., Fruth, K. M., Larson, D. R., Pareek, A., Levy, B. A., Stuart, M. J., Dahm, D. L., & Krych, A. J. (2016). Is Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Effective in Preventing Secondary Meniscal Tears and Osteoarthritis?. *The American journal of sports medicine*, 44(7), 1699–1707. <https://doi.org/10.1177/0363546516634325>

Sanders, T. L., Maradit Kremers, H., Bryan, A. J., Larson, D. R., Dahm, D. L., Levy, B. A., Stuart, M. J., & Krych, A. J. (2016). Incidence of Anterior Cruciate Ligament Tears and Reconstruction: A 21-Year Population-Based Study. *The American journal of sports medicine*, 44(6), 1502–1507. <https://doi.org/10.1177/0363546516629944>

Shafizadeh, S., Jaecker, V., Otchwemah, R., Banerjee, M., Naendrup, J. H. (2016). Current status of ACL reconstruction in Germany. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*, 136(5), 593–603. <https://doi.org/10.1007/s00402-016-2426-8>

Silverthorn, D. U. (2016). *Muscles. Human Physiology: An Integrated Approach* (7<sup>th</sup>ed.). San Francisco, CA: Pearson. pp. 377–416. ISBN 978-0-321-98122-6.

Sircar, S. (2016). *Muscle elasticity. Principles of Medical Physiology* (2<sup>nd</sup>ed.). New York, NY: Thieme. p. 113. ISBN 9789382076537.

Snoeker, B. A., Roemer, F. W., Turkiewicz, A., Lohmander, S., Frobell, R. B., & Englund, M. (2020). Does early anterior cruciate ligament reconstruction prevent development of meniscal damage? Results from a secondary analysis of a randomised controlled trial. *British journal of sports medicine*, 54(10), 612–617. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2019-101125>

Snoeker, B. A., Roemer, F. W., Turkiewicz, A., Lohmander, S., Frobell, R. B., & Englund, M. (2020). Does early anterior cruciate ligament reconstruction prevent development of meniscal damage? Results from a secondary analysis of a randomised controlled trial. *British journal of sports medicine*, 54(10), 612–617. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2019-101125>

Staron, R. S., Karapondo, D. L., Kraemer, W. J., Fry, A. C., Gordon, S. E., Falkel, J. E., Steffen, K., Nilstad, A., Krosshaug, T., Pasanen, K., Killingmo, A., & Bahr, R. (2017). No association between static and dynamic postural control and ACL injury risk among female elite handball and football players: a prospective study of 838 players. *British journal of sports medicine*, 51(4), 253–259. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-097068>

Struzik, A., Siemieński, A., Bober, T., & Pietraszewski, B. (2018). Ratios of torques of antagonist muscle groups in female soccer players. *Acta of bioengineering and biomechanics*, 20(1), 153–158. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29658521/>

Suchomel, T.J., Nimphius, S., Bellon, C.R., Stone, M.H. (2018). The Importance of Muscular Strength: Training Consideration. *Sport Medicine* 48(10):765-785. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0862-z>

Svantesson, E., Hamrin Senorski, E., Baldari, A., Ayeni, O. R., Engebretsen, L., Franceschi, F., Karlsson, J., Samuelsson, K. (2019). Factors associated with additional anterior cruciate ligament reconstruction and register comparison: a systematic review on the Scandinavian knee ligament registers. *British journal of sports medicine*, 53(7), 418–425. <https://bjsm.bmj.com/content/53/7/418>

Śliwowski, R., Marynowicz, J., Grygorowicz, M., Wieczorek, A., & Jadczyk, Ł. (2021). Are there differences in concentric isokinetic strength performance profiles between international

and non-international elite soccer players?. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(1), 35. <https://doi.org/10.3390/ijerph18010035>

Thoma, L. M., Snyder-Mackler, L., Risberg, M., & White, D. K. (2019). Trajectories of weight gain in young adults following anterior cruciate ligament rupture: the delaware-Oslo ACL cohort study. *Osteoarthritis and Cartilage*, 27, S274-S275. DOI:[10.1016/j.joca.2019.02.653](https://doi.org/10.1016/j.joca.2019.02.653)

Thomas, A. C., Wojtys, E. M., Brandon, C., & Palmieri-Smith, R. M. (2016). Muscle atrophy contributes to quadriceps weakness after anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of science and medicine in sport*, 19(1), 7–11. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2014.12.009>

Toskić, L., Dopsaj, M., Koropanovski, N., & Jeknić, V. (2016). The neuromechanical functional contractile properties of the thigh muscles measured using tensiomyography in male athletes and non-athletes. *Fizička kultura*, 70(1), 34-45. <https://doi.org/10.5937/fizkul1601034T>

Tran, J., Peng, P., Chan, V., & Agur, A. (2021). Overview of Innervation of Knee Joint. *Physical medicine and rehabilitation clinics of North America*, 32(4), 767–778. <https://doi.org/10.1016/j.pmr.2021.05.011>

van Dyk, N., Bahr, R., Whiteley, R., Tol, J. L., Kumar, B. D., Hamilton, B., Farooq, A., & Witvrouw, E. (2016). Hamstring and Quadriceps Isokinetic Strength Deficits Are Weak Risk Factors for Hamstring Strain Injuries: A 4-Year Cohort Study. *The American journal of sports medicine*, 44(7), 1789–1795. <https://doi.org/10.1177/0363546516632526>

van Melick, N., van Cingel, R. E., Brooijmans, F., Neeter, C., van Tienen, T., Hullegie, W., & Nijhuis-van der Sanden, M. W. (2016). Evidence-based clinical practice update: practice guidelines for anterior cruciate ligament rehabilitation based on a systematic review and multidisciplinary consensus. *British journal of sports medicine*, 50(24), 1506–1515. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095898>

van Melick, N., van der Weegen, W., & van der Horst, N. (2022). Quadriceps and Hamstrings Strength Reference Values for Athletes With and Without Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Who Play Popular Pivoting Sports, Including Soccer, Basketball, and Handball: A Scoping Review. *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy*, 52(3), 142–155. <https://doi.org/10.2519/jospt.2022.10693>

Varelas, A. N., Erickson, B. J., Cvetanovich, G. L., & Bach, B. R., Jr (2017). Medial Collateral Ligament Reconstruction in Patients With Medial Knee Instability: A Systematic Review.

*Orthopaedic journal of sports medicine*, 5(5), 2325967117703920.  
<https://doi.org/10.1177/2325967117703920>

Veličković, M., Bojić, I., & Berić, D. (2018). The effects of programmed training on development of explosive strength in female volleyball players. *Facta Universitatis, Series: Physical Education and Sport*, 15(3), 493-499.

Ward, S. H., Perraton, L., Bennell, K., Pietrosimone, B., Bryant, A. L. (2019). Deficits in Quadriceps Force Control After Anterior Cruciate Ligament Injury: Potential Central Mechanisms. *Journal of athletic training*, 54(5), 505–512. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-414-17>

Watt, F. E., Corp, N., Kingsbury, S. R., Frobell, R., Englund, M., Felson, D. T., Levesque, M., Majumdar, S., Wilson, C., Beard, D. J., Lohmander, L. S., Kraus, V. B., Roemer, F., Conaghan, P. G., Mason, D. J., & Arthritis Research UK Osteoarthritis and Crystal Disease Clinical Study Group Expert Working Group (2019). Towards prevention of post-traumatic osteoarthritis: report from an international expert working group on considerations for the design and conduct of interventional studies following acute knee injury. *Osteoarthritis and cartilage*, 27(1), 23–33. <https://doi.org/10.1016/j.joca.2018.08.001>

WebMD. (bez dat.) *What Is Physical Therapy?* Preuzeto 14.12.2021. sa Web sajta: <https://www.webmd.com/about-webmd-policies/about-who-we-are>

Weiler, A., Gwinner, C., Wagner, M., Ferner, F., Strobel, M. J., & Dickschas, J. (2022). Significant slope reduction in ACL deficiency can be achieved both by anterior closing-wedge and medial open-wedge high tibial osteotomies: early experiences in 76 cases. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy: official journal of the ESSKA*, 10.1007/s00167-022-06861-3. Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s00167-022-06861-3>

Welling, W., Benjaminse, A., Lemmink, K., Dingenen, B., & Gokeler, A. (2019). Progressive strength training restores quadriceps and hamstring muscle strength within 7 months after ACL reconstruction in amateur male soccer players. *Physical therapy in sport : official journal of the Association of Chartered Physiotherapists in Sports Medicine*, 40, 10–18. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2019.08.004>

Wellsandt, E., Failla, M. J., & Snyder-Mackler, L. (2017). Limb Symmetry Indexes Can Overestimate Knee Function After Anterior Cruciate Ligament Injury. *The Journal of*

*orthopaedic and sports physical therapy*, 47(5), 334–338.  
<https://doi.org/10.2519/jospt.2017.7285>

Wilk, K. E., & Arrigo, C. A. (2017). Rehabilitation Principles of the Anterior Cruciate Ligament Reconstructed Knee: Twelve Steps for Successful Progression and Return to Play. *Clinics in sports medicine*, 36(1), 189–232. <https://doi.org/10.1016/j.csm.2016.08.012>

Yosmaoğlu, H. B., Baltacı, G., Sönmezer, E., Özer, H., & Doğan, D. (2017). Do peak torque angles of muscles change following anterior cruciate ligament reconstruction using hamstring or patellar tendon graft?. *Eklemler hastalıkları ve cerrahisi =Joint diseases & related surgery*, 28(3), 182–187. <https://doi.org/10.5606/ehc.2017.54949>

Završnik, J., Pišot, R., Šimunič, B., Kokol, P., & Blažun Vošner, H. (2017). Biomechanical characteristics of skeletal muscles and associations between running speed and contraction time in 8- to 13-year-old children. *The Journal of international medical research*, 45(1), 231–245. <https://doi.org/10.1177/0300060516687212>

## SLIKE

Slika 1. Prednji ukršteni ligament (ligamentum cruciatum anterius). Izvor: [anterior-cruciate-ligament-knee-joint-cartilage.jpg \(800×906\) \(hiclipart.com\)](#) i [acl\\_01a.jpg \(272×208\) \(kneeandshoulder.md\)](#)

Slika 2. Translacija tibije prema naprijed, stabilnost omogućuje ACL, odnos mišića prednje i zadnje lože natkoljenice.

Izvor: <https://symmetryptmiami.com/acl-injury-movement-patterns/>

Slika 3. Zaštitna uloga natkoljenih mišića.

Izvor: [https://www.eorthopod.com/sites/default/files/images/knee\\_tendonitis\\_quadriciceps\\_anatomy01.jpg](https://www.eorthopod.com/sites/default/files/images/knee_tendonitis_quadriciceps_anatomy01.jpg)

Slika 4. Pucanje–ruptura prednjeg ukrštenog ligamenta.

Izvor: <https://www.jorgechahlamd.com/knee/acl-injuries-chicago-il/>

Slika 5. Izokinetički dinamometar Biodex 4 Pro u Kabinetu za izokinetiku Odjeljenja VII Zavoda za fizikalnu medicinu i rehabilitaciju “Dr Miroslav Zotović”, Banjaluka. Izvor: arhiva autora (Siniša Nikolić).