



УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ
ФАКУЛТЕТ МЕДИЦИНСКИХ НАУКА

Андреја Н. Милутиновић

**МИШИЋНА СНАГА ЕКСТЕНЗОРА И ФЛЕКСОРА КОЛЕНА
ШЕСТ МЕСЕЦИ НАКОН РЕКОНСТРУКЦИЈЕ ПРЕДЊЕГ
УКРШТЕНОГ ЛИГАМЕНТА: ПОРЕЂЕЊЕ ГРАФТА ПАТЕЛЕ И
ХАМСТРИНГА КОД ФУДБАЛЕРА**

Докторска дисертација

Крагујевац, 2023.



UNIVERZITET U KRAGUJEVCU
FAKULTET MEDICINSKIH NAUKA

Andreja N. Milutinović

**MIŠIĆNA SNAGA EKSTENZORA I FLEKSORA KOLENA
ŠEST MESECI NAKON REKONSTRUKCIJE PREDNJEG
UKRŠTENOG LIGAMENTA: POREĐENJE GRAFTA PATELE I
HAMSTRINGA KOD FUDBALERA**

Doktorska disertacija

Kragujevac, 2023.



UNIVERSITY OF KRAGUJEVAC
FACULTY OF MEDICAL SCIENCES

Andreja N. Milutinović

**KNEE EXTENSION AND FLEXION MUSCLE STRENGTH
SIX MONTHS FOLLOWING ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT
RECONSTRUCTION: A COMPARISON OF PATELLAR TENDON
AND HAMSTRING GRAFT IN FOOTBALL PLAYERS**

Doctoral dissertation

Kragujevac, 2023.

I Аутор
Име и презиме: Андреја Милутиновић
Датум и место рођења: 15.08.1979, Крагујевац, Србија
Садашње запослење:
II Докторска дисертација
Наслов: Мишићна снага екстензора и флексора колена шест месеци након реконструкције предњег укрштеног лигамента: поређење графта пателе и хамстринга код фудбалера
Број страница: 79
Број слика: 12 графикона, 16 слика, 2 табеле
Број библиографских података: 167
Установа и место где је рад израђен: Факултет медицинских наука, Универзитет у Крагујевцу
Научна област (УДК): медицина
Ментор: <i>dr sci. med.</i> Владимир Јаковљевић, редовни професор Факултета медицинских наука, Универзитета у Крагујевцу
III Оцена и одбрана
Датум пријаве теме: 09.11.2022. године
Број одлуке и датум прихватања докторске дисертације: IV-03-172/17 од 21.03.2023. године
Комисија за оцену научне заснованости теме и испуњености услова кандидата: <ol style="list-style-type: none"> 1. др Владимир Живковић, редовни професор Факултета медицинских наука Универзитета у Крагујевцу за ужу научну област <i>Физиологија</i>, председник; 2. др Иван Срејовић, ванредни професор Факултета медицинских наука Универзитета у Крагујевцу за ужу научну област <i>Физиологија</i>, члан; 3. др Драган Радовановић, редовни професор Факултета спорта и физичког васпитања Универзитета у Нишу за ужу научну област <i>Физиологија</i>, члан
Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације: <ol style="list-style-type: none"> 1. др Владимир Живковић, редовни професор Факултета медицинских наука Универзитета у Крагујевцу за ужу научну област <i>Физиологија</i>, председник; 2. др Иван Срејовић, ванредни професор Факултета медицинских наука Универзитета у Крагујевцу за ужу научну област <i>Физиологија</i>, члан; 3. др Драган Радовановић, редовни професор Факултета спорта и физичког васпитања Универзитета у Нишу за ужу научну област <i>Физиологија</i>, члан
Датум одбране дисертације:

I Autor
Ime i prezime: Andreja Milutinović
Datum i mesto rođenja: 15.08.1979, Kragujevac, Srbija
Sadašnje zaposlenje:
II Doktorska disertacija
Naslov: Mišićna snaga ekstenzora i fleksora kolena šest meseci nakon rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta: poređenje grafta patele i hamstring kod fudbalera
Broj stranica: 79
Broj slika: 12 grafikona, 16 slika, 2 tabele
Broj bibliografskih podataka: 167
Ustanova i mesto gde je rad izrađen: Fakultet medicinskih nauka, Univerzitet u Kragujevcu
Naučna oblast (UDC): medicina
Mentor: <i>dr sci. med.</i> Vladimir Jakovljević, redovni profesor Fakulteta medicinskih nauka, Univerziteta u Kragujevcu
III Ocena i odbrana
Datum prijave teme: 09.11.2022. godine
Broj odluke i datum prihvatanja doktorske disertacije: IV-03-172/17 od 21.03.2023. godine
Komisija za ocenu naučne zasnovanosti teme i ispunjenosti uslova kandidata: <ol style="list-style-type: none"> 1. dr Vladimir Živković, redovni profesor Fakulteta medicinskih nauka Univerziteta u Kragujevcu za užu naučnu oblast <i>Fiziologija</i>, predsednik; 2. dr Ivan Srejović, vanredni profesor Fakulteta medicinskih nauka Univerziteta u Kragujevcu za užu naučnu oblast <i>Fiziologija</i>, član; 3. dr Dragan Radovanović, redovni profesor Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Nišu za užu naučnu oblast <i>Fiziologija</i>, član
Komisija za ocenu i odbranu doktorske disertacije: <ol style="list-style-type: none"> 1. dr Vladimir Živković, redovni profesor Fakulteta medicinskih nauka Univerziteta u Kragujevcu za užu naučnu oblast <i>Fiziologija</i>, predsednik; 2. dr Ivan Srejović, vanredni profesor Fakulteta medicinskih nauka Univerziteta u Kragujevcu za užu naučnu oblast <i>Fiziologija</i>, član; 3. dr Dragan Radovanović, redovni profesor Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Nišu za užu naučnu oblast <i>Fiziologija</i>, član
Datum odbrane disertacije:

I Author
Name and surname: Andreja Milutinović
Date and place of birth: 15.08.1979, Kragujevac, Serbia
Current employment:
II Doctoral Dissertation
Title: Knee extensor and flexor strength six months following anterior cruciate ligament reconstruction: a comparison of patellar tendon and hamstrings grafts in football players
No. of pages: 79
No. of images: Figures 12, Illustrations 16, Tables 2
No. of references: 167
Institution and place of work: Faculty of Medical Sciences, University of Kragujevac
Scientific area (UDC): Medicine
Mentor: MD, PhD Vladimir Jakovljević, full professor at the Faculty of Medical Sciences, Department of Physiology, University of Kragujevac
III Оцена и одбрана
Topic Application Date: 29.11.2022
Decision number and date of acceptance of doctoral dissertation topic: IV-03-172/17; 21.03.2023.
Commission for evaluation of the scientific merit of the topic and the eligibility of the candidate: <ol style="list-style-type: none"> 1. Vladimir Živković, MD, PhD, Full professor, Faculty of Medical Sciences, University of Kragujevac, <i>Department of Physiology</i>, president; 2. Ivan Srejović, MD, PhD, Associate professor, Faculty of Medical Sciences, University of Kragujevac, <i>Department of Physiology</i>, member; 3. Dragan Radovanović, MD, PhD, Full professor, Faculty of Sport and Physical Education, University of Niš, <i>narrow scientific field - Physiology</i>, member
Commission for evaluation and defense of doctoral/artistic dissertation: <ol style="list-style-type: none"> 1. Vladimir Živković, MD, PhD, Full professor, Faculty of Medical Sciences, University of Kragujevac, <i>Department of Physiology</i>, president; 2. Ivan Srejović, PhD, Associate professor, Faculty of Medical Sciences, University of Kragujevac, <i>Department of Physiology</i>, member; 3. Dragan Radovanović, MD, PhD, Full professor, Faculty of Sport and Physical Education, University of Niš, <i>narrow scientific field - Physiology</i>, member
Date of Dissertation Defense:

Захваљујем се

ментору проф. др Владимиру Јаковљевићу на помоћи и сугестијама током израде докторске дисертације,

члановима комисије, проф. др Владимиру Живковићу, проф. др Ивану Срејовићу и проф. др Драгану Радовановићу на доприносу у формирању финалног облика рада,

проф. др Милинку Дабовићу на помоћи у спровођењу рехабилитационог програма и у прикупљању података,

доц. др Емилији Стојановић на помоћи у припреми радова који су произашли из докторске дисертације,

својој породици на наизмерној подршци и стрпљењу током академског усавршавања.

Сажетак

Ово истраживање је имало за циљ да упореди опоравак мишићне снаге екстензора и флексора колена након реконструкције предњег укрштеног лигамента (ACL), у зависности од типа графта (пателе или хамстринга) код врхунских фудбалера, који су били подвргнути упоредивим шестомесечним програмима рехабилитације. Седамнаест фудбалера је прошло реконструкцију ACL-а применом графта пателе или хамстринга. Мишићна снага екстензора и флексора колена мерена је три и шест месеци након реконструкције, коришћењем изокинетичког динамометра. *Умерено-велике* асиметрије у максималној мишићној снази екстензора колена између ногу у трећем месецу, код оба графта (графт пателе: $p = 0.002$, $g = -0.94$; графт хамстринга: $p = 0.02$, $g = -0.55$), смањене су на *тривијалне* у шестом месецу (графт пателе: $p = 0.30$, $g = -0.19$; графт хамстринга: $p = 0.40$, $g = -0.16$), без значајне разлике у индексу симетричности између графтова у шестом месецу ($p = 0.62$, $g = -0.24$). Слично, *умерено-велике* асиметрије у максималној мишићној снази флексора колена између ногу у трећем месецу, код оба графта (графт пателе: $p = 0.13$, $g = -0.50$; графт хамстринга: $p = 0.01$, $g = -0.97$), смањене су на *тривијално-мале* у шестом месецу (графт пателе: $p = 0.25$, $g = 0.18$; графт хамстринга: $p = 0.01$, $g = -0.47$); међутим, бољи индекс симетричности био је евидентан код графта пателе у поређењу са графтом хамстринга у шестом месецу ($p = 0.007$, $g = 1.43$, *велика*). Кондициони тренери и физиотерапеути, који раде на опоравку фудбалера са реконструкцијом ACL-а коришћењем хамстринг графта, треба да се фокусирају на вежбе за јачање задње ложе, како би се обезбедила оптимална обнова мишићне снаге за потпуни повратак игри.

Кључне речи: фудбал, повреда, рехабилитација, прекид лигамента, ACL

Abstract

This study aimed to compare knee extensor and flexor strength recovery following anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction between bone-patellar tendon-bone and hamstrings tendons grafts in international, male football players undergoing comparable 6-month rehabilitation programs. Seventeen football players underwent ACL reconstruction with either an autogenous bone-patellar tendon-bone graft or hamstrings tendons graft. Knee extensor and flexor peak torques were measured at 3 months and 6 months in the injured and contralateral legs following surgery using isokinetic dynamometry. The *moderate-large* asymmetries in knee extensor peak torque between legs at 3 months across graft types (bone-patellar tendon-bone: $p = 0.002$, $g = -0.94$; hamstrings tendons: $p = 0.02$, $g = -0.55$) were reduced to *trivial* asymmetries at 6 months (bone-patellar tendon-bone: $p = 0.30$, $g = -0.19$; hamstrings tendons: $p = 0.40$, $g = -0.16$), with a non-significant difference in limb symmetry index (LSI) between grafts at 6 months ($p = 0.62$, $g = -0.24$). Similarly, *moderate-large* asymmetries in knee flexor peak torque between legs at 3 months across graft types (bone-patellar tendon-bone: $p = 0.13$, $g = -0.50$; hamstrings tendons: $p = 0.01$, $g = -0.97$) were reduced to *trivial-small* asymmetries at 6 months (bone-patellar tendon-bone: $p = 0.25$, $g = 0.18$; hamstrings tendons: $p = 0.01$, $g = -0.47$); however, a superior LSI was evident with bone-patellar tendon-bone compared to HT grafts at 6 months ($p = 0.007$, $g = 1.43$, *large*). Strength and conditioning professionals working with football players who are rehabilitating from ACL reconstruction after receiving a hamstrings tendons graft should give adequate attention to delivering suitable hamstrings exercises that ensure optimal strength restoration.

Keywords: football, injury, rehabilitation, ligament tears, ACL

САДРЖАЈ

УВОД	1
Анатомија зглоба колена.....	2
Активни стабилизатори колена	4
Биомеханика кретања у зглобу колена	6
Механизам повреде предњег укрштеног лигамента.....	7
Фактори ризика за настанак повреде предњег укрштеног лигамента у фудбалу.....	8
Дијагноза повреде предњег укрштеног лигамента	9
Повреда предњег укрштеног лигамента у фудбалу.....	14
Лечење повреде предњег укрштеног лигамента	14
Типови графтова за реконструкцију предњег укрштеног лигамента	17
Критеријуми за повратак спорту	19
Утицај типа графта на постоперативни опоравак мишићне снаге.....	20
ЦИЉЕВИ И ХИПОТЕЗЕ	25
Циљ.....	26
Хипотезе	26
МЕТОДЕ	27
Испитаници	28
Процедуре.....	28
Протокол рехабилитације	29
Процена мишићне снаге	31
Статистичке анализе.....	31
РЕЗУЛТАТИ.....	33
Мишићна снага екстензора колена	34
Мишићна снага флексора колена	37
Однос максималне мишићне снаге флексора и екстензора колена	40
Индекс симетричности максималне мишићне снаге.....	43
ДИСКУСИЈА.....	46
ЗАКЉУЧАК	59
ЛИТЕРАТУРА.....	61
ИЗЈАВЕ	75

УВОД



Анатомија зглоба колена

Колено је највећи, најкомплекснији и вероватно један од најоптерећенијих зглобова у људском телу. Вишеструки фактори као што су величина, значај, сложеност и вулнерабилност зглоба чине га највећим изазовом савремене ортопедије. Зглоб колена чине две артикулације, тибиофеморална, између голењаче (*tibia*) и бутне кости (*femur*), и пателофеморална, између чашице (*patella*) и бутне кости (илустрација 1).

Тибиофеморални зглоб представља артикулацију између латералних и медијалних кондила (*condylus medialis et lateralis*) дисталног краја бутне кости и конкавних површина кондила (*facies articularis superior*) проксималног дела голењаче. Обе површине прекривене су дебелим слојем хијалине хрскавице. Латерални и медијални кондили две су коштане пројекције, које се налазе на дисталном крају бутне кости, имају глатку конвексну површину, а позади су одвојене дубоким жлебом, познатим као интеркондиларна фоса (*intercondylar fossa*). Медијални кондил је већи од латералног, што доприноси већој контактної површини (1.6 пута) (1). Зглобне површине тибиофеморалног зглоба генерално су неконгруентне, тако да компатибилност обезбеђује медијални и латерални менискус. Менискуси су фибро-хрскавичасте структуре у облику полумесеца, које омогућавају равномернију расподелу притиска бутне кости на голењачу. Менискуси су грађени од густо постављених паралелених колагених валакана између којих се налазе еластична влакна.

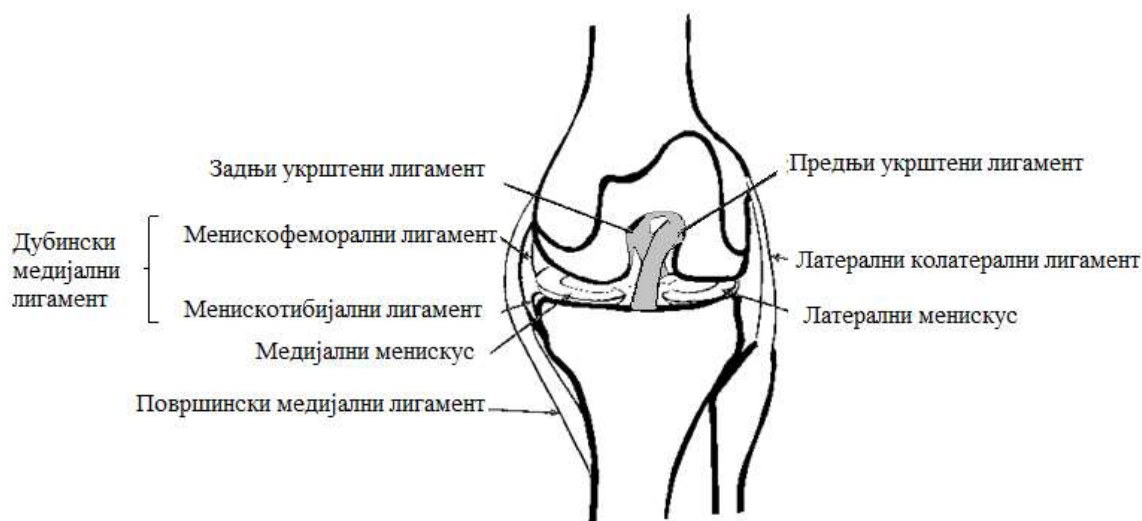
Пателофеморални зглоб је формиран артикулацијом пателарне површине бутне кости (трохлеарни жлеб) и задње површине (*facies articularis*) чашице. Чашица је кост троугластог облика, са закривљеном проксималном базом и шиљастим дисталним врхом. Њену зглобну површину дефинишу медијалне и латералне фасете, конкавне зглобне површине, које су прекривене дебелим слојем хијалине хрскавице и одвојене вертикалним гребеном. Медијално од медијалне фасете налази се трећа мања фасета, позната по недостатку хијалине хрскавице.



Илустрација 1. Анатомија зглоба колена (кандидат је аутор илустрације)

Лигаменти зглоба колена унутар капсуле и изван ње, повезују бутну кост и голењачу, обезбеђујући стабилност и спречавајући дислокацију. Док се пателарни лигамент, латерални (*Laterale Collaterale Ligament* – LCL), медијални колатерални (*Mediale Collaterale Ligament* – MCL) и поплитеални лигамент налазе изван капсуле, укрштени лигаменти смештени су унутар капсуле. Тетива пателе се пружа од централног дела заједничке тетиве четвороглавог мишића бута (*m. quadriceps femoris*) до чашице, и наставља дистално до хрпавог испупчења голењаче (*tuberositas tibiae*) (2). Наведено је разлог што се често у литератури као синоними користе називи тетива пателе и лигамент пателе, јер у дисталном делу ова изворна тетива чини везу између две коштане структуре (чашице и голењаче), што је карактеристика лигамената. Тетива пателе има главну улогу у стабилизацији пателе и спречавању њеног померања.

LCL је веза која се протеже од латералног епикондила бутне кости до бочне површине главе лишњаче (*fibula*). Поред LCL-а, MCL учвршћује зглоб колена и спречава прекомерно бочно кретање ограничавањем спољашње и унутрашње ротације испруженог колена. MCL се понекад дели на површински и дубински (илустрација 2) (3). Проксимално, површински лигамент почиње од медијалног епикондила бутне кости, док је дистални припој на задњој медијалној површини голењаче. Дубински, MCL се састоји од два лигамента, менискофеморалног (*menisiofemoral ligament*) и менискотибијалног (*meniscotibial ligament*). Проксимално, менискофеморални лигамент протеже се дистално, од површинског колатералног медијалног лигамента, и причвршћује се за медијални менискус. Менискотибијални лигамент је дебљи и краћи, и протеже се од медијалног менискуса до дисталне ивице зглобне хрскавице медијалног дела голењаче (4, 5).



Илустрација 2. Приказ дубинског и површинског медијалног лигамента (кандидат је аутор илустрације)

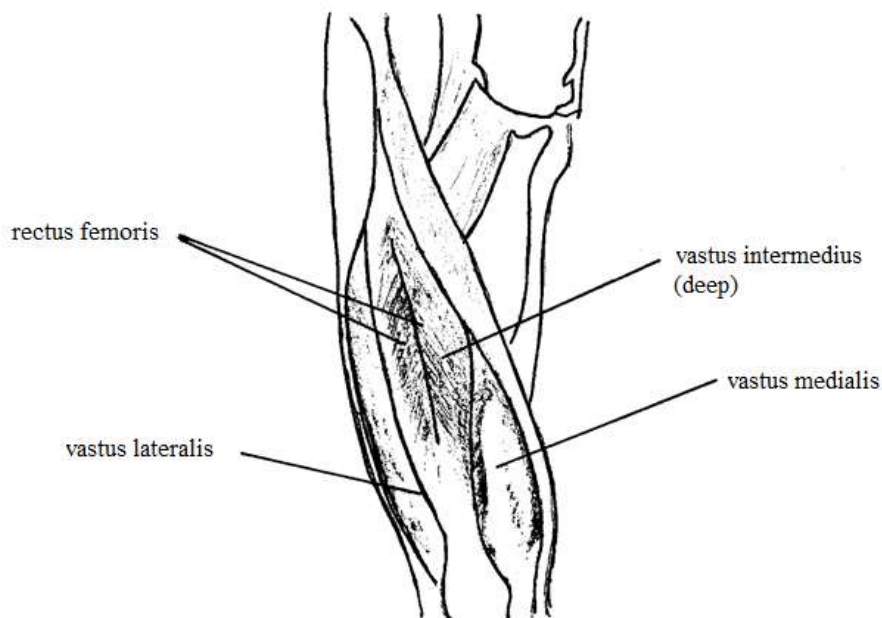
Укрштени лигаменти су добили име по томе што се укрштају укосе унутар зглоба, у облику крста или слова X. Предњи укрштени лигамент (*Anterior Cruciate Ligament* – ACL) полази из предњег интеркондиларног простора, одмах иза места везивања медијалног менискуса, и протеже се постеролатерално и проксимално и припаја на задњем делу медијалне површине латералног кондила бутне кости. Дужина средишњег дела ACL је 38 mm, а дебљина у средишњем делу износи 11 mm (6). ACL је важан стабилизатор за предњу translацију голењаче и секундарни стабилизатор за ротацију голењаче. Руптура ACL-а узрокује повећање предње translације голењаче за 6.7 mm (од 2.8 до 13 mm) и ротације за 3.8° (3–40°) (7). ACL такође стабилизује

унутрашњу ротацију (више него спољашњу) и има улогу у стабилизацији варус-валгус ангулације при пуној екстензији. Иако је на месту припоја бутне кости и голењаче ACL прокрвљен мрежом крвних судова, због специфичности грађе, тј. увијености лигамената око уздужне осовине, долази до извесне компресије у средњем делу овог лигамента и до појаве мање васкуларизације (8, 9). То уједно онемогућава спонтано зарастање ACL-а, а врло брзо након руптуре, долази до атрофије патрљка (10).

Задњи укрштени лигамент (*Posterior Cruciate Ligament – PCL*) полази са задње површине интеркондиларног простора голењаче, и везује се проксимално на предњи део бочне површине медијалног кондила бутне кости. Овај лигамент је скоро дупло јачи и има боље снабдевање крвљу од ACL-а. Просечна дужина је иста као код ACL-а, али је ширина нешто већа, и износи 13 mm (11). PCL има супротну функцију од ACL-а и служи за спречавање задње транслације голењаче у односу на бутну кост.

Активни стабилизатори колена

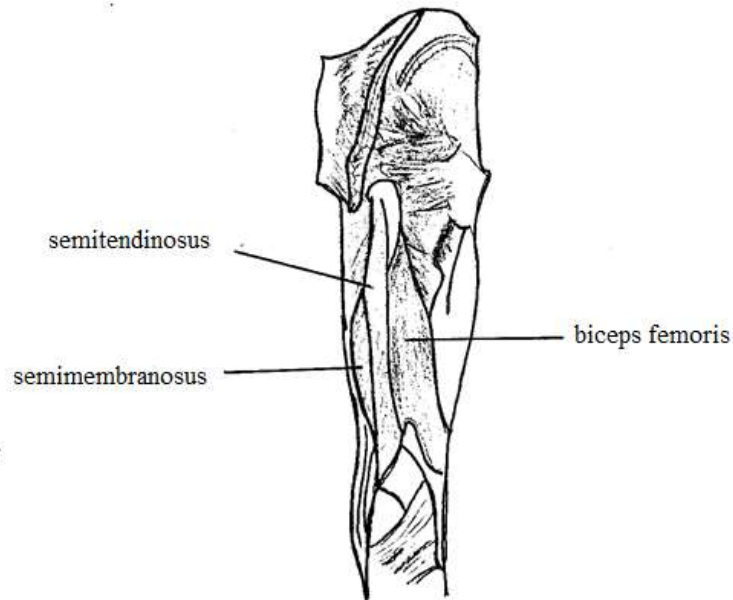
Мишићи представљају активне стабилизаторе колена. Скелетни мишићи који окружују колено су кључни за кретање, одржавање постуре и за динамичку стабилност зглоба (12). Конкретно, четвороглави мишић бута, хамстринг и *m. gastrocnemius* имају најважнију улогу у функционалности и стабилности зглоба колена. Четвороглави мишић бута (илустрација 3) који се налази на предњем делу надколенице састоји се од *m. rectus femoris*, *m. vastus medialis*, *m. vastus lateralis*, и *m. vastus intermedius*. Ови мишићи потичу из карлице и проксималног дела фемура а затим се обмотају око пателе, чинећи тетиву пателе. Они су одговорни за екстензију колена и флексију у зглобу кука.



Илустрација 3. Приказ четвороглавог мишића бута (кандидат је аутор илустрације)

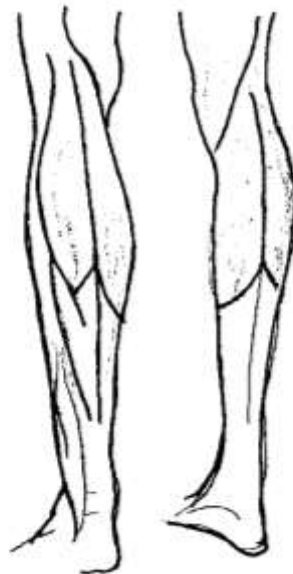
Мишићи задње ложе (илустрација 4) се налазе постериорно медијално и латерално, садржећи *m. semitendinosus*, *m. semimebranosus* и *m. biceps femoris* (кратка и дуга глава). Полазе из исхијалне туберозности и везују се на проксимални део

голењаче и лишњаче. Ова група мишића функционише као антагонист четвороглавог мишића буте и кључна је за флексију колена и екстензију у зглобу кука.



Илустрација 4. Приказ мишића задње ложе буте (кандидат је аутор илустрације)

Мишић *gastrocnemius* се налази на задњој страни потколенице (илустрација 5), и веома је снажан површински перасти мишић. Овај мишић потиче из задњег дела бутне кости мало изнад линије зглоба, и везује се на калканеус кроз Ахилову тетиву. Овај мишић је одговоран за плантарно савијање стопала и доприноси флексији колена и стабилности (13).

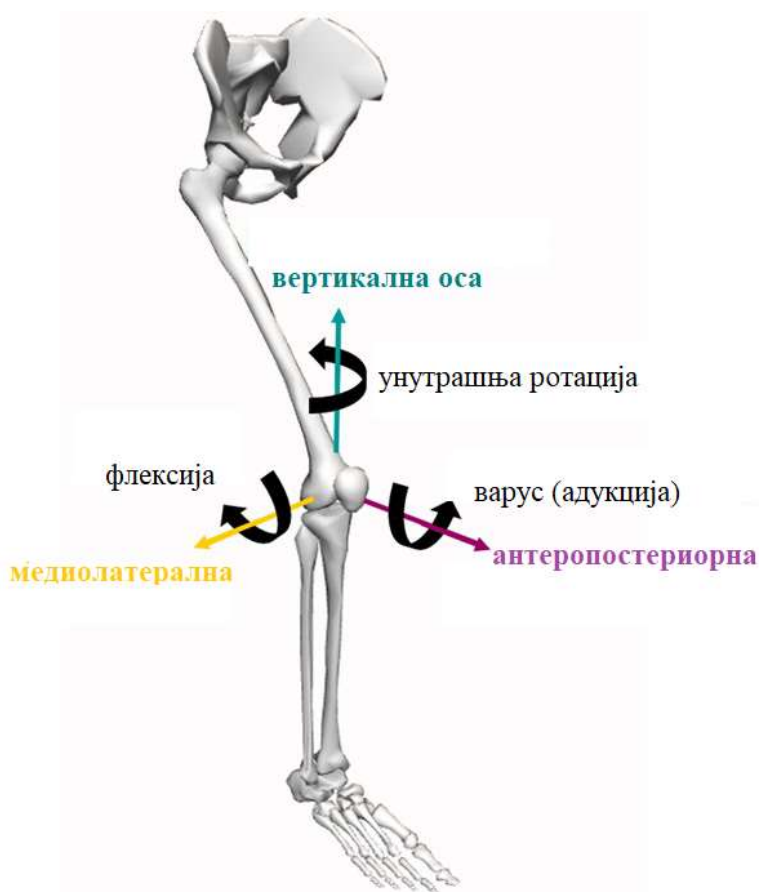


Илустрација 5. Приказ *m. gastrocnemius* (кандидат је аутор илустрације)

Биомеханика кретања у зглобу колена

Кретање колена може да се опише око три главне осе, у којима се голењача креће дуж оса или се ротира (илустрација 6). Антеропостериорна оса омогућава антеропостериорну транслацију и варус/валгус ротацију. Вертикална оса омогућава супериорно/инфериорну транслацију и унутрашњу/спољашњу ротацију. Медиолатерална оса омогућава медиолатералну транслацију и флексију/екстензију колена. Опсег покрета зависи од облика костију и структуре меких ткива (лигамената, хрскавице, мишића, тетиве).

Током активности које укључују ношење сопствене тежине (енгл. *weight bearing*), као што су ходање, трчање или доскок, здрава колена показују веома мали транслациони опсег кретања до 6 mm (14). Варус/валгус и унутрашња/спољашња ротација углавном приказују кретање до 5° и 20° (14). У сагиталној равни, флексија колена обично иде од 0° (потпуна екстензија) до 90° у локомоторним задацима (15, 16), иако у појединим задацима може бити и већа, као што је трчање великом брзином (14) или кретање уз степенице и низ њих (17).

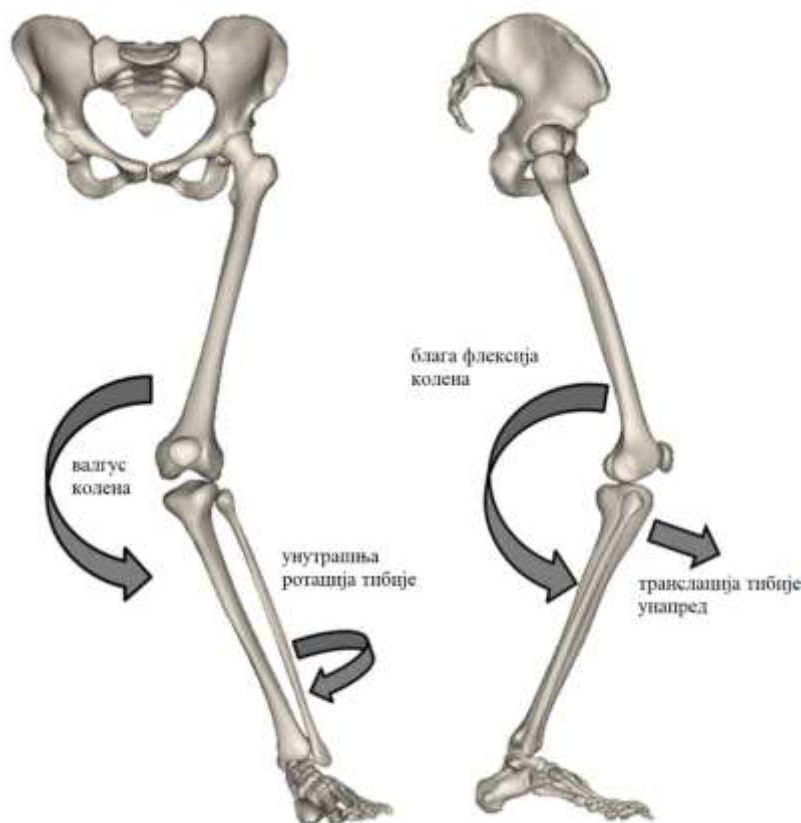


Илустрација 6. Биомеханика кретања у зглобу колена (слика је преузета и модификована из Sports Medicine. 2022;52(8):1737-50 (18))

Механизам повреде предњег укрштеног лигамента

Истраживања која су анализирали видео снимке везане за повреду ACL-а, откривају да се кидање лигамента код фудбалера углавном дешава бесконтактно током динамичких активности, као што су доскок на једној ноzi, нагло успоравање или брза промена правца (19, 20). Конкретно, повреда ACL-а се јавља убрзо након контакта са подлогом, где зглоб колена трпи велико механичко оптерећење због великог степена валгуса и ротације (илустрација 7) (20, 21).

Повећан валгус или варус колена у фронталној равни имају потенцијал да преоптерете ACL (22, 23). Ипак, валгус колена је идентификован као чешћи механизам повреде ACL-а (24, 25). У трансверзалној равни, унутрашња ротација голеначе, у односу на бутну кост, излаже ACL већем оптерећењу него спољашњи ротациони момент (22, 23, 25). Штавише, покрети који се не одвијају у сагиталној равни имају највећи утицај на оптерећење ACL-а, када се јављају истовремено, а посебно у вези са предњим транслационим силама (25). Како је примарна улога ACL-а да се одупре предњој транслацији голеначе у односу на бутну кост, није изненађујуће да силе, које делују са предње и задње стране, оптерећују и растерећују ACL (26).



Илустрација 7. Механизам повреде предњег укрштеног лигамента (слика је преузета и модификована из Bone and Joint Research. 2014;3(2):20-31 (27))

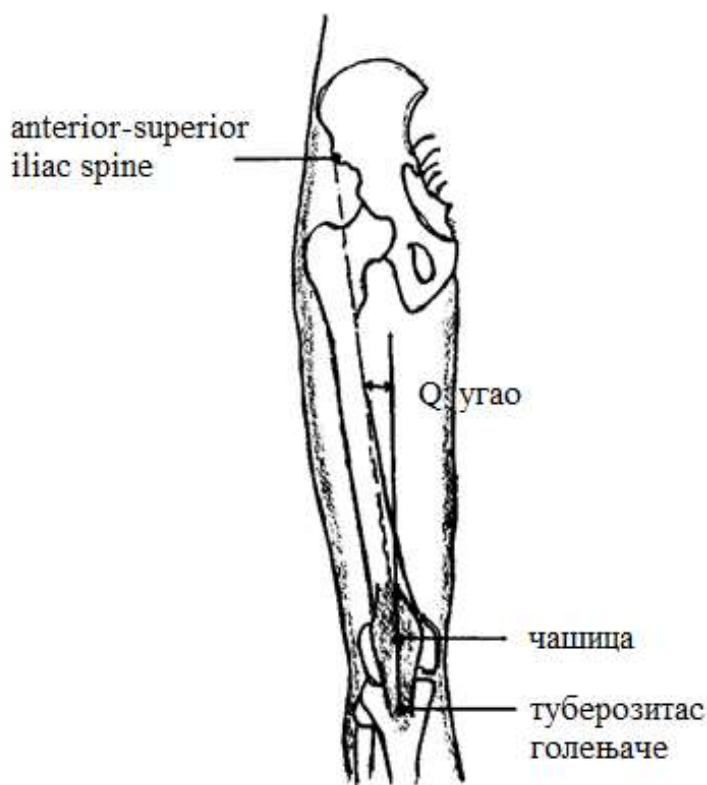
Фактори ризика за настанак повреде предњег укрштеног лигамента у фудбалу

Пол

Quisquater et al. (28) забележили су да је пол повезан са ризиком настанка повреде ACL-а, уз већу учесталост повреде код фудбалерки и међусобним односом од 1.29. Ови резултати су у складу са налазима Roos et al. (29) који су пријавили однос 1.6 (95% CI 1.3-2.1). Претходне студије сумиране у мета-анализи (30) такође су потврдиле ове налазе али је учесталост била 2.67 пута већа.

Анатомски фактори

Лакситет зглобова, хиперекстензија у зглобу колена и мањи попречни пресек ACL-а су издвојени као потенцијални фактори који могу довести до веће учесталости повреда ACL-а (31). Q угао (илустрација 8) је такође повезиван са повећаним ризиком повреде ACL-а (32). То је угао који формира права које полази од *superior iliac-e* до централног дела чашице и друга линија која се протеже од централног дела чашице до туберозитаса голењаче.



Илустрација 8. Q угао (кандидат је аутор илустрације)

Већи Q угао може довести до повећаног латералног напрезања услед биомеханичких фактора и постављања колена у валгус положај (33). Такође, на узорку врхунских фудбалера, забележена је повезаност између постериорног нагиба голењаче и учесталости повреде ACL-а (34). Ипак, анатомске факторе је тешко кориговати па су превентивни напори практично занемарљиви.

Неуромишићни фактори

Највећи број истраживања која су имала за циљ превенцију повреда ACL-а фокусирана је на неуромишићне факторе. Динамичка стабилизација преко неуромишићног система помаже у заштити зглоба колена током динамичких активности, при чему деловање мора бити координисано и уз коактивацију агониста и антагониста (35). Коактивација хамстринга и четвороглавог мишића бута може бити кључна за превенцију повреде или за смањење опсега покрета и оптерећења који повећавају ризик настанка повреде исте. Активирање хамстринга смањује оптерећење четвороглавог мишића бута (35) обезбеђујући динамичку стабилност пружањем отпора бочној и предњој транслацији, као и попречној ротацији голењаче.

Charpell et al. (36) су пронашли да се приликом доскока код фудбалерки повећава активност четвороглавог мишића бута и смањује активност хамстринга што доводи до већег оптерећења ACL-а и повећаног ризика настанка лезије. Hewett et al. (37) су показали да плиометријски тренинг смањује силе приликом доскока и повећава коактивност хамстринга. Смањење силе приликом доскока указује да се већи део силе апсорбује активношћу мишића, док се мање силе преносе на пасивне структуре и зглобне површине колена. Супротно, код слабе задње ложе, силе реакције подлоге се преносе на пасивне структуре колена.

Дијагноза повреде предњег укрштеног лигамента

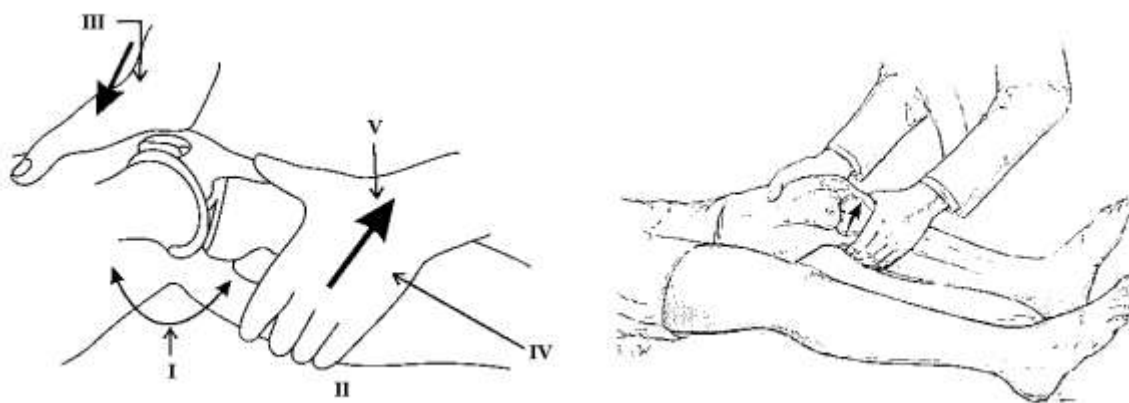
Клинички преглед колена примењује се одмах након повреде и укључује посматрање, палпацију и клиничке дијагностичке тестове (38). Позитивни клинички дијагностички тестови требало би да подстакну доктора да упути пацијента на даља дијагностичка испитивања. Данас се примењују три методе за процену повреде ACL-а, укључујући клиничке дијагностичке тестове, магнетну резонанцу и артроскопију. Од клиничких дијагностичких тестова најчешће се користе Лахманов тест, тест предње фиоке и *pivot-shift* тест (39, 40).

Лахманов тест

Приказ извођења Лахмановог теста дат је на илустрацији 9. При извођењу је потребно пратити следећих пет корака:

- I) физиотерапеут флектира повређено колено пацијента на 20–30°;
- II) благо ротира голењачу споља;
- III) затим врши хват у дисталном делу бутне кости једном руком;
- IV) истовремено користи другу руку за хват голењаче у проксималном делу, мало испод места где пацијент флектира колено;
- V) у последњој фази физиотерапеут повлачи голењачу напред са паралелним фиксирањем бутне кости.

Процедуру треба поновити и на здравом колону, како би се уочило да ли постоје разлике. Тест је позитиван када је померање веће од оног код здраве ноге.



Илустрација 9. Приказ извођења Лахмановог теста (кандидат је аутор илустрације)

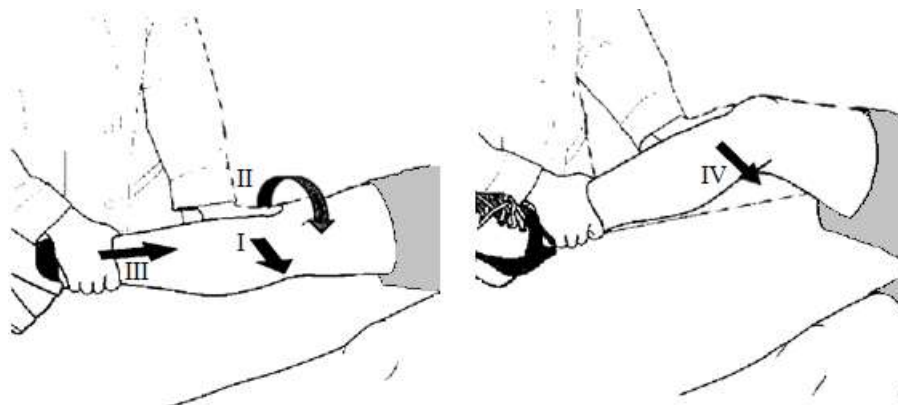
Резултати мета анализе (41) показују да је Лахманов тест довољно прецизан за клиничку употребу, како код хроничних тако и код акутних повреда ACL-а, уз осетљивост од 85% и специфичност од 94%. Такође, у претходној мета анализи, Scholten et al. (42) пријавили су висок ниво осетљивости и специфичности Лахмановог теста од 86% и 91%. Положај колена током овог теста мање је болан у односу на тест предње фиоке, и самим тим смањује могућност деловања мишића током тестирања (43). Висока специфичност Лахмановог теста објашњена је високом тензијом ACL-а, када је колено у флексији под углом од 20° у односу на флексију од 90° , када се смањује ниво тензије (44). Ипак, и овај тест има поједина ограничења. Наиме, физиотерапеути који имају мале шаке, могу наићи на проблем хвата, поготово код пацијената који имају велики обим натколенице. Такође, позиција колена је од суштинске важности, јер смањење угла за 10° може смањити транслацију голењаче и дати лажну крајњу тачку (45).

Pivot-shift test

Приказ извођења *pivot-shift* теста дат је на илустрацији 10. При извођењу је потребно пратити следећа четири корака:

- I) пацијент је у лежећој позицији на леђима са флексијом у зглобу кука од 45° и потпуно опруженим коленима;
- II) физиотерапеут хвата и мобилише латерални кондил бутне кости једном руком, док палцем друге руке палира проксимално голењачу или фибулу.
- III) истовремено контролише унутрашњу ротацију и адукцију колена (валгус положај);
- IV) након тога колено се из екстензије помера у флексију.

Код покиданог ACL-а, валгус положај изазива сублуксацију голењаче у предњем делу, док је колено још увек у екстензији. Блокада колена у предњој сублуксацији зависи од степена изазивања валгус положаја. Затим се колено савија, док се истовремено одржава унутрашња ротација и адукција, узрокујући смањење сублуксације главе голењаче постериорно на $20\text{--}40^\circ$ флексије.



Илустрација 10. Приказ извођења *pivot shift* теста (кандидат је аутор илустрације)

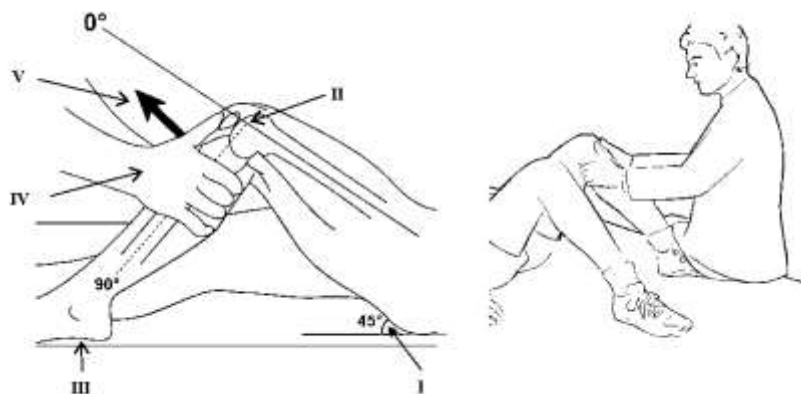
Специфичност *pivot-shift* теста изузетно је висока, чак 98% (41). Међутим, пронађена је веома ниска осетљивост и у акутним (32%) и у хроничним (40%) стањима (41). *Pivot-shift* тест изазива осећај „шетања” колена. Позитиван тест показује лакситет колена напред и латерално, што је честа сензација код пацијената са покиданим ACL-ом. Разлог за веома ниску осетљивост теста може се објаснити повећаном осетљивошћу пацијента на овај положај, с обзиром на познате непријатне сензације које изазива овај покрет, што последично доводи до ненамерне активности мишићних група пацијента пружајући отпор приликом тестирања. Поред тога, медијални лигамент мора бити очуван како би се колено довело у валгус положај деловањем са латералне стране (45). Осим тога, верује се да се прецизност извођења овог теста побољшава са искуством.

Тест предње фиоке

Приказ извођења теста предње фиоке (енгл. *anterior drawer*) дат је на илустрацији 11. При извођењу је потребно пратити следећих пет корака:

- I) пацијент је у лежећој позицији на леђима са флексијом у зглобу кука од 45°;
- II) колено је флектирано под углом од 90°;
- III) стопало треба да буде ослоњено на подлогу, при чему физиотерапеут фиксира стопало седом преко њега;
- IV) физиотерапеут врши хват колена са обе руке тако да палчеви буду испред колена, док су остали прсти са задње стране;
- V) у последњој фази физиотерапеут повлачи голењачу напред и навише и посматра њено померање.

Процедуру треба поновити и на здравом колелу, како би се уочило да ли постоје разлике. Тест је позитиван када се голењача помера више од 5 mm или када је померање веће од оног код здраве ноге.



Илустрација 11. Приказ извођења теста предње фиоке (кандидат је аутор илустрације)

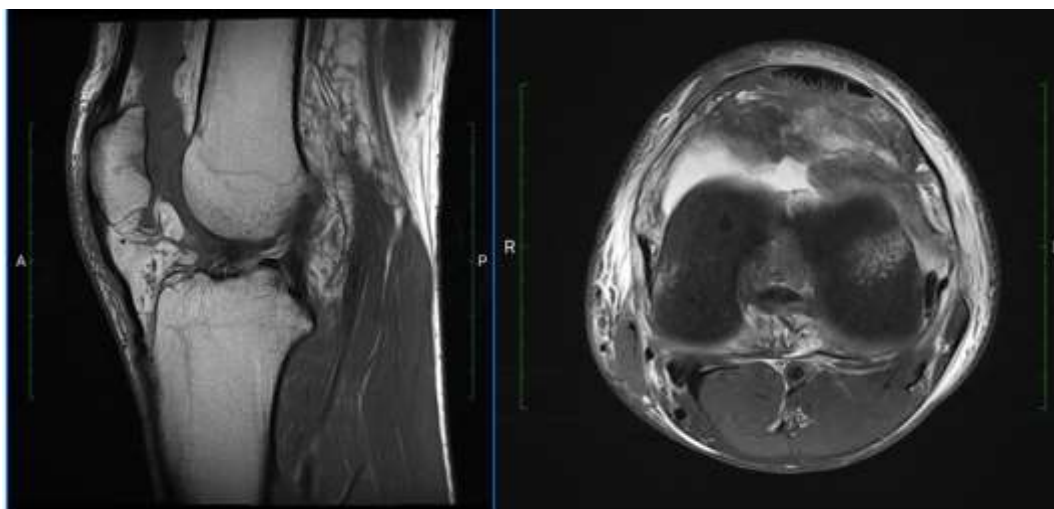
Иако се тест предње фиоке широко користи за процену повреде ACL-а, резултати мета анализе показују да овај тест има неприхватљиво ниску осетљивост и специфичност за употребу у клиничкој пракси код акутних стања (41). Ови резултати објашњени су (46): 1) неправилним извођењем теста због хемартрозе и синовитиса који онемогућавају флексију колена од 90°; 2) деловањем хамстринга услед болова, обезбеђујући векторску силу која се супротставља предњој транслацији голењаче; и 3) задњи рог медијалног менискуса наслоњен је на задњу ивицу медијалног кондила бутне кости и може онемогућити предњу транслацију голењаче. С друге стране, тест предње фиоке показује добру осетљивост [92% (95% интервали поверења (енгл. confidence intervals – CI) 88–95)] и специфичност [91% (95% CI 87-94)] код хроничних стања (41), када има мање излива, болова, мишићног деловања и услед веће опуштености колена.

Магнетна резонанца

Магнетна резонанца се у клиничкој дијагностичкој пракси користи од 1981. године. Магнетна резонанца састоји се из магнета који генерише магнетно поље, соленоидне шим-блеставе завојнице које магнетно поље чине хомогненим, градијентне завојнице које омогућавају просторну локализацију сигнала, радиофреквентне завојнице које преносе сигнал у део тела који се снима, пријемне завојнице које детектују повратни радио сигнал и компјутер који реконструира радио сигнале у коначну слику.

Од квалитета слике магнетне резонанце зависи дијагностичка тачност. Дефинише се контрастом слике (светла и тамна подручја), могућношћу да се издвоје детаљи у простору (просторна резолуција) и односом сигнала и шума (47). Просторна резолуција је заснована на могућности разлучивања блиских објеката. Квалитет дијагнозе зависи од субјективне способности да се уочи просторна резолуција односно разлуче блиске структуре. Просторна резолуција је детерминисана величином матрикса-матрице, пољем од интереса и дебљином пресека. Увећањем величине матрикса или умањењем поља од интереса и дебљине слојева увећава се просторна резолуција али се тиме скраћује време сигнал-шум и продужава време скенирања. За добијање снимака високе резолуције уз дужи сигнал-шум потребно је и продужити време скенирања. Сви параметри скенирања утичу на однос сигнала и шума. Сигнал се код снимања може побољшати путем увећања понављања времена, поља од интереса, дебљине пресека и броја ексцитација или умањења времена добијања одјека и величине матрице-матрикса. Најдиректнији начин појачања сигнала је путем повећања броја ексцитација, али се мора имати у виду да повећање броја ексцитација са две на четири, на пример, за дупло продужава време скенирања, али увећава сигнал само за квадратни корен из два.

Када се упореди дијагностичка тачност клиничких тестова са магнетном резонанцом за процену повреде ACL-а, резултати проспективне студије (38) показују већу осетљивост (94.3% насупрот 83%), специфичност (110% насупрот 88.3%), позитивну предиктивну вредност (100% насупрот 93%), негативну предиктивну вредност (89.4% насупрот 74.5%) и тачност (96.1% насупрот 82.5%) клиничких тестова. Са друге стране, прегледом колена на магнетној резонанци могу се видети све битне структуре и ова метода је потпуно безболна.



Илустрација 12. Приказ руптуре предњег укрштеног лигамента (ACL) са магнетне резонанце (лична архива кандидата)

Артроскопија

За разлику од клиничких дијагностичких тестова и магнетне резонанце, артроскопија представља инвазивну методу и као таква, она је златни стандард за процену повреде ACL-а (48, 49). Представља минимално инвазивну интервенцију која укључује отварање малих резова, кроз које се уводи камера и хирушки инструменти за дијагностику и решавање проблема зглоба.

Повреда предњег укрштеног лигамента у фудбалу

Фудбал је најпопуларнији тимски спорт широм света, са више од 275 милиона активних играча (50). Током тренинга и такмичења, фудбалери изводе опсежне интензивне активности, као што су убрзања, нагла заустављања, скокови, шутеви ка голу, промене правца и уклизавања. Ови покрети су идентификовани као ризични, пре свега уклизавања, као и успостављање баланса након шута и доскока, где се јавља највећи број повреда ACL-а (51). Забележено је да стопа учесталости повреде ACL-а код европских фудбалера варира од 0.04 до 0.06 на 1000 h изложености тренингу и такмичењу, комбиновано (24, 52, 53). Повреда ACL-а је једна од најтежих повреда, која се сусреће у професионалном фудбалу, како због опсежне рехабилитације тако и због дугог одсуства са терена (54). Одсуство са терена одржава се негативно на физичку спремност играча, али и на функционисање тима у економском смислу.

Делимична или потпуна руптура ACL-а може довести до поновне нестабилности колена, оштећења менискуса, хроничног бола и остеоартритиса (55, 56). Индикација за оперативно лечење, тј. реконструкцију ACL-а постоји код активних спортиста који желе да наставе да се баве спортом након повреде, код пацијената који имају удружену повреду менискуса, код особа код којих постоје мултилигаментарне повреде колена, као и код пацијената са израженом нестабилношћу колена током уобичајених дневних активности. Да би се смањило ризик потенцијалних даљих оштећења, артроскопски асистирани реконструкција ACL-а постала је најчешћи метод решавања руптуре ACL-а, у којем аутографт (сопствено ткиво) или алогографт (ткиво донора) замењује покидани лигамент (57). Централна трећина тетиве пателе или тетиве хамстринга (*semitendinosus*-а и *gracilis*-а) најчешће су коришћени типови графта за реконструкцију ACL-а (58). Иако се прихватљива функција и стабилност колена постижу применом оба типа графта (59), они утичу на смањење снаге различитих мишићних група, са дефицитом око 50% на страни повређене ноге, забележеним четири недеље након ACL реконструкције (60, 61).

Лечење повреде предњег укрштеног лигамента

Лечење зависи од степена повреде па је тако код повреде ACL-а првог степена (прекид мањег броја влакана који се манифестује као осетљивост у пределу колена али без нестабилности) лечење неоперативно, симптоматско и подразумева поштеду. Неоперативно лечење подразумева рехабилитациони програм са физиотерапијом, ношење ортозе и модификацију активности. Овакав вид лечења традиционално се препоручује код мање активних пацијената или оних са седентарним начином живота (62-64). Програми физиотерапије фокусирани су на смањење отока и бола, као и обнављање опсега покрета, а затим се ради на јачању мишића како би се побољшала стабилност колена (65, 66). Ношење ортозе може помоћи код руптуре ACL-а током високо интензивних активности као што су увртање, пивотирање или промена правца.

Мобилизација може да смањи предњу транслацију голењаче за 30-40%, али не може да врати нормалну стабилност колена у вежбама са оптерећењем (67, 68). Услед високе нестабилности колена постоји ризик поновне повреде, као и лезије менискуса, и оштећења хрскавице (69). Модификација активности је такође важна за успешно неоперативно лечење повреде ACL-а, посебно у погледу спорта. Спорт који укључују скокове и оштре промене правца, попут фудбала и кошарке требало би избегавати и идеално прекинути. Ово је велика препрека за младе активне пацијенте који желе да се врате спорту на истом нивоу.

Исход неоперативног лечења повреде ACL-а углавном зависи од нивоа активности пацијента, са бољим резултатима пријављеним код мање активних појединаца (64, 65, 70). Већина пацијената (95%) може се вратити уобичајеном послу и свакодневним активностима без функционалних потешкоћа (65, 70), али 60% пацијената са активношћу осећа бол у колелу (65). Такође, само неколико високо активних пацијената може да се врати на ниво активности пре повреде и већина треба да смањи ниво активности у просеку за 20% (70, 71). Као што је раније објављено, Noyes et al. (72) открили су да скоро једна трећина неоперативно збринутих младих и активних пацијената побољша стање без симптома или са минималним симптомима током свакодневних активности и рекреативних активности, али код једне трећине неоперативно лечење нема ефекта („правило трећине“). Нове повреде колена, укључујући повреде менискуса и хрскавице, пријављене су чешће код неоперативно лечених спортиста са повредом ACL-а који су одлучили да се врате тренингу и такмичењу (73); а сада је тренд да се реконструкција изведе код свих пацијената који желе да се врате спорту који укључује високо ризичне захтеве (74). Веће стопе повреда менискуса које захтевају операцију пријављене су и код пацијената који су пратили дуготрајни период рехабилитације са одложеном операцијом ACL-а (75).

Лечење повреде другог степена (прекид већег броја влакана који се манифестује као губитак функције и адекватне рекације зглоба али без нестабилности) може бити неоперативно и укључује постављање имобилизације (у трајању од четири до шест недеља) а затим спровођење рехабилитације. Треба нагласити да резултати оваквог лечења зависе од природе саме повреде, узраста, удружених патолошких стања колена, јачине мускулатуре, али и од психичког стања. У вези са тим, код половине пацијентата лечених на овај начин остаје одређени степен нестабилности колена уз појаву бола, излива и слабости мишића, а као последица тога долази до смањења обима свакодневних и професионалних активности. Што се тиче трећег степена, тј. потпуног прекида укрштене везе, чак и без удружених повреда других структура колена, у већини случајева је индиковано оперативно лечење, при чему се у обзир узимају старост пацијента, евентуалне дегенеративне промене, ниво физичке активности, професија и мотивација пацијента.

Оперативно лечење руптуре ACL-а подразумева реконструкцију лигамента изведену уз помоћ артроскопије. Реконструкција ACL-а се традиционално препоручује пацијентима са високим нивоом активности који раде физички захтевне послове или који желе да се врате спорту. Главна предност оперативног лечења је решавање нестабилности колена и могућност повратка на исти ниво активности. Ardern et al. (76). у систематском прегледу 48 студија са 5770 пацијената наводе да се већина пацијената након реконструкције ACL-а може вратити неком облику учешћа у спорту (обједињена стопа 82%), да се 63% враћа на ниво пре повреде, а 44% такмичарском спорту. Већина (90%) наводи нормалну или скоро нормалну функцију колена на основу резултата које

је пријавио пацијент након просечног праћења од 41 месец. Релативно ниска стопа повратка на ниво активности пре повреде и такмичарски спорт, упркос високим стопама успешних функционалних исхода, сугеришу да постоје други фактори после операције ACL-а који доприносе овим исходима везаним за активност. Старост је важан фактор који треба узети у обзир, али само старост не треба сматрати јединим разлогом за оперативно лечење. Сваки пацијент са веома активним начином живота, на пример, који укључује покрете пивотирања би био лимитиран због недостатка ACL-а, јер је ACL најважнији стабилизатор ротације. Понекад чак и ниско активни пацијенти имају нестабилност у свакодневним активностима и тада се често препоручује операција. Повезане повреде других лигамената, менискуса или зглобне хрскавице такође се сматрају релативним индикацијама да се пређе на оперативно лечење како би се постигла мања нестабилност и бољи исход.

Последице неоперативног лечења укључују развој дегенеративних промена хрскавице колена и накнадне повреде менискуса. Поред касне дијагностике и неадекватног лечења прекида ACL-а, нестабилност колена бол и повремени излив су основни узроци хроничних тегоба које се завршавају остеоартрозом са видљивим коштано хрскавичавим лезијама, дефектима кондила бутне кости и голењаче, калцификацијама веза и менискуса, поремећајима осовине доњег екстремитета. У складу са тим, уколико физикалне терапије немају ефекта лечење хроничне нестабилности мора бити оперативно. С тим у вези, идентификовање пацијената који би толерисали неоперативно лечење (са минималним ризиком од поновне повреде и повезаних повреда менискуса и хрскавице услед нестабилности) и пацијената који би захтевали оперативно лечење (да би спречили нестабилност, даље повреде и имали жељени ниво активности) представља изазов за клиничаре.

Што се тиче поновне реконструкције ACL-а, она је индикована у случајевима када постоји патолошка нестабилност колена која се манифестује у спортским или чак и у дневним активностима. Циљ поновне реконструкције је стабилизација и постизање максималне функције колена али и спречавање даљих оштећења осталих структура. За добар постоперативни резултат неопходно је спровести детаљну дијагнозу, утврдити узрок нестабилности, донети план оперативног лечења, направити план рехабилитационог третмана и упознати пацијента са предностима и ризицима хирушке процедуре. Сматра се да је најчешћи узрок поновне нестабилности колена лоша позиција графта, тј. позиција феморалног тунела или тунела голењаче који нису анатомски. Анатомска реконструкција ACL-а подразумева функционалну реконструкцију ове везе у њеним анатомским димензијама и у зависности од индивидуалне анатомије пацијента. Уколико је тунел у голењачи постављен сувише напред то доводи до контакта графта са међукондиларном јамом, до руптуре графта и умењења флексије или уколико је постављен сувише позади до лакситета у флексији (77, 78). Такође, чести узроци нестабилности колена произилазе услед неодговарајуће затегнутости графта, величине графта или чак фиксације.

Код пацијената који су погодни за хируршко лечење, време од повреде ACL-а до реконструкције остаје контроверзно питање и мишљење које се доста разликује међу хирурзима и клиничким центрима широм света. Неколико студија је испитало ефекат времена реконструкције ACL-а након повреде на исходе интервенције и покушало да идентификује идеално време од повреде до операције. Још увек нема јасних закључака да ли треба извршити рану или одложену реконструкцију ACL-а јер су налази доступних студија опречни и не постоји консензус међу хирурзима (79-83). У

јединој рандомизираној студији (75) у којој је испитивано оптимално време за реконструкцију ACL-а није пронађена никаква разлика у функционалном исходу између рехабилитације са раном (у року од 10 недеља од повреде) и одложеном реконструкцијом (више од 10 недеља од повреде). Слично, у другој ретроспективној студији није било разлике у опсегу покрета колена након једне године, између пацијената који су имали реконструкцију ACL-а у року од четири недеље и пацијената који су је имали реконструкцију након четири недеље (79). Међутим, увек постоји теоретски ризик за даља оштећења хрскавице и менискуса. Велика проспективна студија спроведена 2013. године упоређивала је реконструкцију ACL-а у различито време од повреде и закључила да су млађи пацијенти који су имали рану реконструкцију ACL-а (пре 5 месеци) развили мања додатна оштећења менискуса и хрскавице од оних који су имали одложену реконструкцију ACL-а (након 5 месеци) (83). Слични резултати су пријављени и у другим студијама (80, 82).

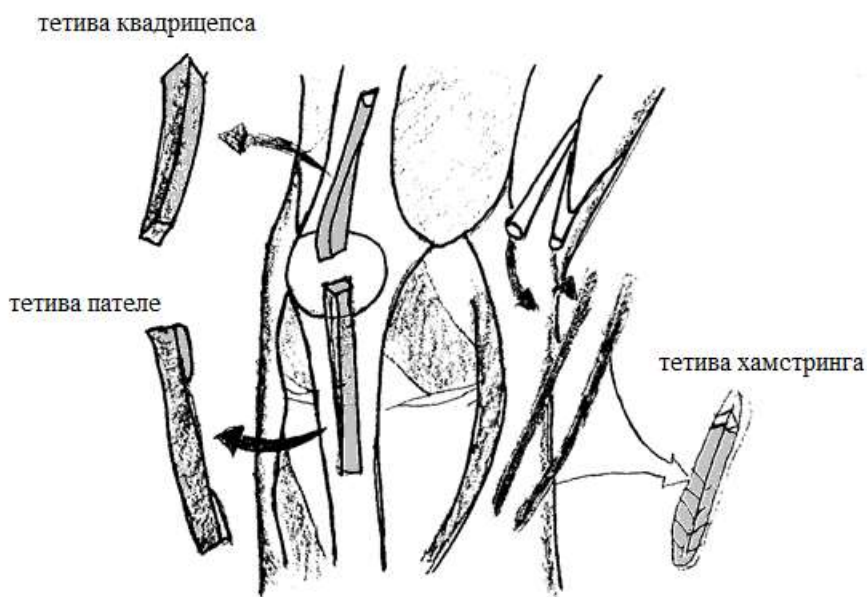
Smith et al. (84) у систематском прегледу и мета-анализи упоређивали су рану (у року од 3 недеље од повреде) и одложену (више од 6 недеља од повреде) реконструкцију ACL-а и нису нашли значајну разлику у клиничким исходима између две групе. Прегледни рад био је ограничен лошим методолошким квалитетом укључених студија. Такође, у овом прегледном раду група са одложеном реконструкцијом је укључивала пацијенте који су прошли операцију ACL-а нешто више од шест недеља од повреде, и мало је вероватно да ће пацијенти имати прилике да напрежу своје колена и изложе га могућности нових повреда мениска или хрскавице у том интервалу. С тим у вези, варијације у дефинисању ране и одложене реконструкције ACL-а отежавају извођење јасних закључака и чине интерпретацију резултата тешком и изазовном. Рана реконструкција ACL-а је дефинисана као операција изведена у року од 10 недеља од повреде (75); али и као операција изведена у року од четири недеље (79); или чак операција која се изводи у року од шест месеци (80). Постоје и студије које су користиле неколико (више од две) различитих дефиниција за рану или одложену интервенцију да би се проценио ефекат времена реконструкције ACL-а на исходе (82, 83).

Иако је дефинисање ране реконструкције ACL-а изазовно, у обзир би свакако требало узети смиривање упале и обнављање опсега покрета. Како је за смиривање упале потребно до 12 недеља, ова фаза би требала бити дефинисана као рана, укључујући акутна прва 72 сата након повреде. Због кашњења у тражењу медицинске помоћи или чекања на операцију, или због личних распореда или клиничких одлука које ће омогућити смиривање упале период од три до шест месеци би требао бити дефинисан као субакутна реконструкција, а након шест месеци као одложена реконструкција.

Типови графтова за реконструкцију предњег укрштеног лигамента

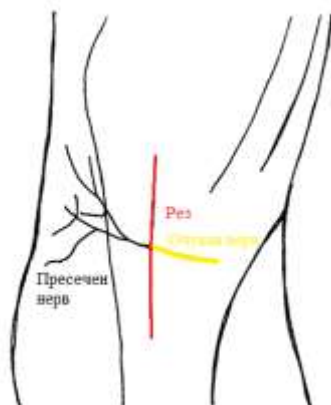
Техника реконструкције ACL-а годинама се усавршавала у погледу оперативних приступа, тако да се данас ова оперативна процедура изводи на више начина помоћу артроскопије. Артроскопски асистирана реконструкција ACL-а постала је најчесталија метода за опоравак руптуре ACL-а, у којем аутографт (сопствено ткиво) или алогографт (ткиво друге особе, тј. донора) замењује покидани лигамент (57). Међутим, примена алогографта захтева добро координисану и поуздану банку људског ткива, са доследним процесима чишћења и деконтаминације, тако да су трошкови обезбеђивања обично високи и ограничени на најразвијеније системе здравствене

заштите. С тим у вези, сопствено ткиво се најчешће користи за реконструкцију ACL-а, специфично централна трећина тетиве пателе и тетиве *m. semitendinosus*-а и *m. gracilis*-а (58). Поред поменутих графтова, може се користити и графт тетиве *quadriceps*-а (илустрација 13). Тетива пателе се пружа од централног дела заједничке тетиве четвороглавог мишића бута (*m. quadriceps femoris*) до чашице, и наставља дистално до храпавог испупчења голењаче (*tuberositas tibiae*) (2). Наведено је разлог што се често у литератури, као синоними, користе називи тетива пателе и лигамент пателе, јер у дисталном делу ова тетива изворно чини везу између две коштане структуре (чашице и голењаче), што је карактеристика лигамената.



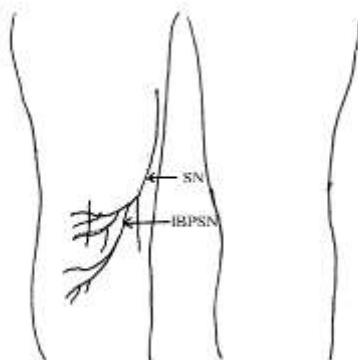
Илустрација 13. Типови графтова који се могу користити за реконструкцију предњег укрштеног лигамента (кандидат је аутор илустрације)

Избор графта који ће користити ортопед често диктира анатомија пацијента, претходне хирушке интервенције, пратеће повреде као и избор пацијента. Фактори који такође утичу на избор јесу функционални исход, доступност графта, морбидитет места донатора, али и хируршко познавање технике. Постоје многобројни извештаји о морбидитету и компликацијама повезаним са коришћењем графта пателе у реконструкцији ACL-а. Компликације укључују руптуру тетиве пателе, фрактуру пателе, фрактуру голењаче, тендинитис, губитак пуне екстензије, слабост *m. quadriceps femoris*-а, и бол у предњем делу колена (85, 86). Такође, ова врста реконструкције може довести до смањења осетљивости и осећаја утрнулости на латералној страни колена, због прекида нерва током изоловања графта (илустрација 14).



Илустрација 14. Прекид нерва код графта пателе (кандидат је аутор илустрације)

Морбидитет, који је специфично повезан са графтом хамстринга, укључује смањење снаге флектора колена и ротацију голењаче, иако то пацијенти често не уоче као дефицит (87). Још једна од компликација која се јавља јесте оштећење инфрапателарне гране сафеног нерва (*n. saphenus*), међутим, то није тако често и може се делимично ублажити временом (илустрација 15) (88).



Илустрација 15. Инфрапателарна грана *n. saphenus* (IPBSN) (кандидат је аутор илустрације)

Критеријуми за повратак спорту

Иако је доминантност једне ноге уобичајена код фудбалера (89), сугерисано је да асиметрија мишићне снаге (екстензора и флектора колена) између екстремитета већа од 10%, повећава ризик за настанак повреде колена (90). С тим у вези, праг за адекватан функционални опоравак након реконструкције ACL-а, прихваћен је када индекс симетричности мишићне снаге између екстремитета прелази 90% (91). Супротно, неадекватан опоравак мишићне снаге екстензора колена након реконструкције, доводи до већег преноса оптерећења са дисталних на проксималне сегменте, повећавајући ризик настанка поновне руптуре ACL-а, повреде супротне ноге, или превремене појаве дегенеративних промена на оперисаном колелу (51, 92). Такође, оптимизација мишићне снаге флектора колена након реконструкције ACL-а веома је важна, јер ова мишићна група ублажава силе превенирајући предњу транслацију голењаче у односу на бутну кост (93). Поред тога, активација задње ложе стабилизује

колена у одговору на спољашња оптерећења, која доводе до варус или валгус положаја (94). Упркос важности обнове мишићне снаге екстензора и флексора колена, мали број фудбалера [такмичарског (95) или професионалног нивоа (54)], са графтом пателе (54, 95) или хамстринга (54), достиже прихватљив ниво индекса симетричности $\geq 90\%$ шест до девет месеци након операције (95) или приликом повратка на терен (54).

Могућност да се надокнади постојећи дефицит (који износи и до 50% након операције) директно је сразмеран интензитету рехабилитације, што захтева периодична тестирања неуромишићне функције. Како примена функционалних тестова (нпр. скокови) није индикована у раној фази рехабилитације (у прва два месеца) процена опоравка се углавном заснива и изокинетичком тестирању. Периодичним тестирањем (на три, шест и девет месеци) које је најчешће условљено трајањем програма рехабилитације стиче се бољи увид у ефекат истог.

Све у свему, још увек нема података који директно упоређују мишићни опоравак екстензора и флексора колена између графта пателе и хамстринга код професионалних фудбалера. Такво поређење је важно, с обзиром на то да врста графта у реконструкцији ACL-а може утицати на мишићни опоравак, а самим тим и на трајање рехабилитације, како би се играч вратио на терен (96).

Утицај типа графта на постоперативни опоравак мишићне снаге

Иако није било података на ову тему код фудбалера, поређења мишићног опоравка између различитих графтова спроведена су код рекреативно активних појединаца (97-99), неспортиста (100), спортиста који се не такмиче на професионалном нивоу (101-104), кадета војне академије (105) и спортиста који се такмиче на различитим нивоима (106, 107). Осим што су резултати сједињени, без обзира на ниво активности и ниво такмичења, подаци су такође презентовани неvezано за врсту спорта (102, 103, 105) и пол (96-103, 105-107). Иако ове студије пружају важан увид у мишићни опоравак након реконструкције ACL-а, постојећи докази се не могу екстраполирати на професионалне фудбалере, имајући у виду евидентирани виши ниво мишићне снаге код ове групе, у односу на фудбалере који се такмиче на нижем нивоу (108). Поред тога, професионални фудбалери имају приступ ширим ресурсима (нпр. надзор, опрема, простор) током рехабилитационог процеса, у односу на играче нижег нивоа, што може допринети бољем и бржем опоравку. Исто тако, докази који произилазе из обједињених налаза, независно од врсте спорта (102, 103, 105) и пола (96-103, 105-107), не треба једноставно применити на фудбалере, с обзиром на разлике у нивоу мишићне снаге у зависности од ових фактора (109) и различитим приступима који се усвајају током рехабилитационог процеса (91). Дакле, процена опоравка мишићне снаге након реконструкције ACL, треба да буде стриктно спроведена код професионалних фудбалера због веће специфичности података у овој популацији.

Преглед постојећих студија (табела 1), које су поредиле мишићни опоравак екстензора и флексора колена након реконструкције ACL-а између графта пателе и графта хамстринга, открива неконзистентне налазе (96-103, 105-107). Специфично, поједина истраживања документовала су значајно инфериорну мишићну снагу екстензора колена код графта пателе у поређењу са графтом хамстринга (5 месеци–5 година након операције) (96, 98-101), док са друге стране, остале студије нису забележиле статистички значајну разлику у мишићној снази екстензора колена између ова два графта (6 месеци–3 године након операције) (97, 101-103, 105-107). Такође, студије су забележиле значајно инфериорнију мишићну снагу флексора колена код

хамстринг графта у поређењу са графтом пателе (5–29 месеци након операције) (96, 97, 99, 101, 102, 107), док остале студије нису пријавиле значајну разлику у мишићној снази флексора између ова два графта (6 месеци–5 година након операције) (98, 100, 103, 105, 106). Иако су професионални фудбалери под огромним притиском да се врате на терен унутар шест месеци након операције (110), нема података који документују опоравак мишићне снаге екстензора и флексора колена између графта пателе и хамстринга током шестомесечног програма рехабилитације.

Табела 1. Поређење индекса симетричности мишићне снаге према типу графта код пацијената са реконструкцијом предњег укрштеног лигамента узрокованог са пателе или хамстринга

Истраживање	Величина узорка	Пол и/или године старости	Ниво активности	Спортска дисциплина	Период праћења	Угаона брзина тестирања	Индекс симетричности екстензора колена	p	Индекс симетричности флексора колена	p
Marder et al. (102)	ГП n = 37 ХГ n = 35	М и Ж	такмичарски и рекреативни спорт без професионалног нивоа	скијање, кошарка, фудбал, веслање, одбојка и друго	средња вредност 29 месеци [24 до 42]	60°·s ⁻¹	ГП 88 ± 17% ГХ 91 ± 19%	>0.05	ГП 91 ± 18% ГХ 83 ± 16%	0.025
Aglietti et al. (103)	ГП n = 30 ХГ n = 30	М и Ж	такмичарски и рекреативни спорт без професионалног нивоа	фудбал, кошарка, скијање, тенис, одбојка и друго	средња вредност 28 месеци [22 до 39]	60°·s ⁻¹	ГП 91.1% ГХ 89.3%	>0.05	ГП 97.8% ГХ 94%	>0.05
Carter et al. (106)	ГП n = 38 СТ/Г n = 35 СТ n = 33	М и Ж	А – такмичарски спорт (професионални, колеџ, средња школа)	/	средња вредност 6 месеци [24 до 28 недеља]	180°·s ⁻¹	ГП 68 ± 20% СТ/Г 78 ± 15% СТ 74 ± 20%	>0.05	ГП 86 ± 22% СТ/Г 82 ± 19% СТ 81 ± 28%	>0.05
			В – нетакмичарски спорт С – повремено учествују у спорту	/		300°·s ⁻¹	ГП 71 ± 21% СТ/Г 82 ± 22% СТ 77 ± 24%	>0.05	ГП 78 ± 26% СТ/Г 76 ± 19% СТ 79 ± 27%	>0.05
Aune et al. (99)	ГП n = 35 ГХ n = 37	М и Ж 26 год. [15 – 50 год.]	ГП ^a 1.4 ± 0.6 ГХ ^a 1.5 ± 0.5	/	6 месеци	60°·s ⁻¹	Вредности приказане графички	< 0.05 >0.05 >0.05	Вредности приказане графички	>0.05 < 0.05 < 0.05 < 0.05
					12 месеци					
					24 месеца					
Beard et al. (107)	n = 60	М и Ж	Тегнер скор 7.5 [распон 4-10]	/	пре операције	60°·s ⁻¹	/	/	/	/
					6 месеци					
					12 месеци					
Feller et al. (111)	ГП n = 31 ГХ n = 34	М и Ж [18-40 год.]	седентарни, ниско, умерено и високо активни	/	4 месеца	60°·s ⁻¹	Дефицит ГП 36 ± 16 ГХ 27 ± 20	>0.05	Дефицит НС 9±38 РТ 10±21	>0.05

Истраживање	Величина узорка	Пол и/или године старости	Ниво активности	Спортска дисциплина	Период праћења	Угаона брзина тестирања	Индекс симетричности екстензора колена	р	Индекс симетричности флексора колена	р
			пацијенти			240°·s ⁻¹	ГП 33 ± 17 ГХ 22 ± 23	<0.05	ГП 15 ± 28 ГХ 21 ± 37	>0.05
Jansson et al. (98)	ГП n = 51 ГХ n = 48	М и Ж	Тегнер скор~6 [распон 0-10]	/	12 месеци	60°·s ⁻¹	ГП 79% ГХ 85%	0.045	/	>0.05
					24 месеца		/	>0.05	/	>0.05
Bizzini et al. (97)	ГП n = 87 ГХ n = 66	М и Ж	рекреативни ниво	/	11 месеци (распон: 9–13 месеци)	180°·s ⁻¹	Дефицит ГП -15 ± 9 ГХ -12 ± 6	>0.05	Дефицит ГП 12 ± 8 ГХ -10 ± 4	<0.001
						300°·s ⁻¹	ГП -13 ± 8 ГХ -13 ± 5	>0.05	ГП 12 ± 6 ГХ -13 ± 5	<0.001
Lautamies et al. (100)	ГП n = 175 ГХ n = 113	М и Ж ГП 28 год. ГХ 29 год. [13-56 год.]	углавном неспортисти	/	5 година	60°·s ⁻¹	ГП 90 ± 12 ГХ 94 ± 12	0.010	ГП 99 ± 12 ГХ 97 ± 13	>0.05
						180°·s ⁻¹	ГП 92 ± 12 ГХ 95 ± 12	0.010	ГП 98 ± 12 ГХ 95 ± 12	>0.05
Taylor et al. (105)	ГП n = 32 ГХ n = 32	М и Ж	кадети војне академије	фудбал, кошарка и атлетика	36 месеци	60°·s ⁻¹	Дефицит ГП 12.1% ГХ 3.1%	0.27	Дефицит ГП 16.8% ГХ 2.5%	0.25
						300°·s ⁻¹	ГП 8.4% ГХ 5.7%	0.72	ГП 4.1% ГХ 3%	0.57
Huber et al. (101)	n = 464	М и Ж 18 до 50 год.	непрофесионални спорт	/	пре операције 5 месеци	120° s ⁻¹	/	>0.05	/	>0.05
					9 месеци		ниже вредности код пацијената са графтом пателе	<0.05	ниже вредности код пацијената са графтом хамстринга	<0.05
							/	>0.05	-/-	<0.05
			/	/	4 месеца	90° s ⁻¹	ГП 61.6 ГХ 76	<0.001	ГП 89.1 ГХ 79.5	<0.001
Cristiani et al. (96)	n = 160	М и Ж ~ 28 год.			6 месеци		ГП 71.7 ГХ 82	<0.001	ГП 96.2 ГХ 85.7	<0.001
					8 месеци		ГП 77.3 ГХ 87.2	<0.001	ГП 98.6 ГХ 86.5	<0.001

Истраживање	Величина узорка	Пол и/или године старости	Ниво активности	Спортска дисциплина	Период праћења	Угаона брзина тестирања	Индекс симетричности екстензора колена	р	Индекс симетричности флексора колена	р
					12 месеци		ГП 85.6 ГХ 91	0.02	ГП 99.2 ГХ 87.4	<0.001
					24 месеца		ГП 92.7 ГХ 92.7	>0.05	ГП 97.1 ГХ 89.1	0.002

Болдирана вредност означава статистички значајну разлику између група; ГП – графт пателе; ГХ – графт хамстринга; М – мушки пол; Ж – женски пол; / – подаци нису наведени; СТ – *semitendinosus*; Г – *gracilis*; ³International Knee Documentation Committee Evaluation Form.

ЦИЉЕВИ И ХИПОТЕЗЕ



Циљ

Циљ овог истраживања био је да се квантификује и упореди опоравак мишићне снаге екстензора и флексора колена након реконструкције ACL-а, у зависности од типа графта (пателе или хамстринга) код врхунских фудбалера, који пролазе упоредиви шестомесечни програм рехабилитације.

Специфични циљеви истраживања су:

- поређење мишићне снаге екстензора и флексора колена између удова (повређене и неповређене ноге) након реконструкције ACL-а коришћењем графта пателе, код фудбалера који пролазе шестомесечни програм рехабилитације;
- поређење мишићне снаге екстензора и флексора колена између удова (повређене и неповређене ноге) након реконструкције ACL-а применом графта хамстринга, код фудбалера који пролазе шестомесечни програм рехабилитације;
- поређење мишићне снаге екстензора и флексора колена између врхунских фудбалера који су имали реконструкцију ACL-а применом графта пателе и врхунских фудбалера, који су имали реконструкцију ACL-а применом графта хамстринга.

Хипотезе

Асиметрија мишићне снаге екстензора и флексора колена између повређене и неповређене ноге биће неутралисана након шестомесечног постоперативног периода, независно од типа графта.

Подхипотезе:

- Неће постојати значајна разлика у мишићној снази екстензора и флексора колена између повређене и неповређене ноге, након шестомесечног постоперативног периода код врхунских фудбалера, који су имали реконструкцију ACL-а применом графта пателе
- Неће постојати значајна разлика у мишићној снази екстензора и флексора колена између повређене и неповређене ноге, након шестомесечног постоперативног периода код врхунских фудбалера, који су имали реконструкцију ACL-а применом графта хамстринга
- Неће постојати значајна разлика у мишићној снази екстензора и флексора колена, након шестомесечног постоперативног периода између врхунских фудбалера, који су имали реконструкцију ACL-а применом графта пателе и применом графта хамстринга.

МЕТОДЕ



Испитаници

Седамнаест фудбалера (из 15 различитих тимова), који се такмиче на интернационалном нивоу, са примарном дијагнозом руптуре ACL, прошли су артроскопски асистирану реконструкцију применом графта пателе ($n = 8$, старост: 23.1 ± 4.0 год. [распон: 18-28 год.], висина: 182.1 ± 2.7 cm; телесна маса: 77.5 ± 3.5 kg) или хамстринг графта ($n = 9$, старост: 24.8 ± 4.9 год. [распон: 19-32 год.], висина: 182.7 ± 7.5 cm; телесна маса: 76.5 ± 7.7 kg). Да би се обезбедио врхунски узорак, укључени су само фудбалери који су се такмичили на интернационалном нивоу, непосредно пре повреде (112). Фудбалери су могли да учествују у студији, уколико нису имали било какве значајне лезије менискуса (највише делимична менисектомија), оштећење хрскавице (процењено било магнетном резонанцом било током операције од самог ортопеда), претходну повреду ACL-а (исте или супротне ноге) и других мишићноскелетних повреда које могу негативно утицати на резултате студије. Сходно томе, 4 фудбалера је искључено на основу наведених критеријума, док је преосталих 17 укључено (из Србије, Хрватске, Украјине и Швајцарске) у истраживање. Сви фудбалери су дали писани пристанак за учествовање у студији, након објашњења ризика и предности повезаних са учествовањем.

Процедуре

У овом истраживању примењен је контролисани експериментални дизајн на хуманом моделу између (енгл. *between subject design* – за поређење између група у зависности од типа графта) и унутар испитаника (енгл. *within subject design* – за поређење повређене и неповређене ноге код истог испитаника). Фудбалери су сврстани у две групе, у зависности од коришћеног графта за реконструкцију ACL-а. Оба графта су фиксирана на бутној кости и голењачи применом интерферентних вијака. У групи где је примењен графт пателе, централна трећина пателарне тетиве (лигамента пателе) изолована је вертикалним резом блокирањем чашице и голењаче. Стандардни уздужни рез преко *pes anserinus* (спој три тетиве мишића *semitendinosus-a*, *gracilis-a*, и *sartorius-a*) коришћен је за изоловање хамстринг графта. Графт пателе био је у пречнику између 9–10 mm, док је графт хамстринга био између 7–9 mm у пречнику. Све операције извео је исти ортопед са искуством у примени обе технике реконструкције ACL. Графт је селектован према избору пацијента и уз консултације са ортопедом. Узорак повреда је обухватао и доминантну ($n = 7$) и недоминантну страну ($n = 10$). Сви фудбалери су прошли стандардизовани шестомесечни програм рехабилитације у истом приватном фитнес центру за физиотерапију („Фемур”). Мишићна снага екстензора и флексора колена мерена је коришћењем изокинетичког динамометра, три и шест месеци након реконструкције ACL-а. Иако се постизање симетрије између повређене и неповређене ноге у мишићној снази очекивало у шестом месецу, контролно мерење спроведено је и у трећем месецу како би се пратио ток опоравка и правилно дозирало оптерећење (113). Сва тестирања спроведена су у сличним условима (~ 22 °C и $\sim 60\%$ релативна влажност), као и временском периоду (између 09.00 и 11.00). Вербално објашњење и демонстрирање је спроведено пре сваког тестирања. Пре тестирања мишићне снаге фудбалери су се загрејали петоминутним умерено интензивним вежбањем на бицикл ергометру (Group Cycle™ Ride, TechnoGym, Gambettola, Italy) (114, 115), које је праћено вежбама пасивног истезања четвороглавог мишића бута, хамстринга, адуктора кука и мишића листа (116), као и субмаксималним покретима екстензије и флексије колена при угаоној брзини $60^\circ \cdot s^{-1}$. Положаји истезања су задржавани кратко (15 s по мишићној групи), како би се

избегао негативан утицај на перформансе (115), и да би се постигао правилнији положај тела, који оптимизује опсег покрета без изазивања бола (116, 117). Ово истраживање је наставак мање студије, у којој је испитан опоравак екстензора и флексора колена код осам фудбалера, без разматрања утицаја типа графта на ток опоравка (118).

Протокол рехабилитације

Фудбалери су учествовали у шестомесечном програму рехабилитације, који је подразумевао вежбање 6 дана недељно по 90 min. Примењени програм рехабилитације заснован је на смерницама, које су недавно објављене у овој области (92, 119), и претходно се показао ефикасним за обнову мишићне снаге доњих екстремитета у постоперативном периоду (118). Рехабилитациони програм спровео је искусни физиотерапеут (AM), који је у досадашњем раду успешно опоравио више од 100 фудбалера са реконструкцијом ACL-а. Програм је подељен у фазе, на основу степена опоравка ткива и способности зглоба да издржи захтеве оптерећења (1–4 недеље, 5–8 недеља, 9–12 недеља, 13–18 недеља и 19–24 недеље). Током прва три дана након операције, фокус је стављен на развијање опсега покрета (постепеним повећањем до ~90°, који је достигнут крајем прве недеље, док је пун опсег покрета постигнут у четвртој или петој недељи) и смањење бола и отока. Фудбалери су користили штацике у трајању од две недеље, тј. до 14 дана након операције, након чега је дозвољен пун ослонац. Хидротерапија је примењивана у трајању од две недеље (нпр. трчање у дубокој води, чучњеви, вожња бицикле, скокови) почев од 18. дана након операције када су пацијентима скинути шавови (скидање је обављено 16–18 дана након операције код свих пацијената). Електростимулација (Comrex SP 2.0, Comrex Medical, Switzerland) примењивана је у режиму 2 × 12 минута у прве 4 недеље након реконструкције ACL-а, као додатак текућем програму рехабилитације, да би се смањио артрогени ефекат инхибиције мишића због отока, подржао опоравак мишићне снаге и омогућило додатно активирање инхибираних мотоневрона (120). Комплексност покрета, брзина извођења и оптерећење повећавали су се кроз изометријске, изотоничне и изокинетичке вежбе. Однос оптерећења у вежбама екстензије и флексије колена, у прва четири месеца рехабилитације, био је прилагођен у зависности од типа графта, који је коришћен за реконструкцију ACL-а (нпр. однос оптерећења четвороглавог мишића буте и хамстринга код графта пателе: 60/40). У петом и шестом месецу оптерећење је изједначено. Програм рехабилитације описан је у табели 2.

Табела 2. Опис рехабилитационог програма (118)

Фаза	0 – 4 недеље	5 – 8 недеље	9 – 12 недеље	13 – 18 недеље	19 – 24 недеље
Општи циљеви у фазама	<ul style="list-style-type: none"> • Комплетна обнова опсега покрета • Регулисање бола и отока • Успостављање основних моторних кретања • Минимизација атрофије мишића 	<ul style="list-style-type: none"> • Успостављање брзог хода • Регулисање асиметрије мишићне снаге 	<ul style="list-style-type: none"> • Обнова кретања високог оптерећења • Обнова мишићне снаге унутар 20% у односу на неповређену ногу • Обнова аеробне издржљивости 	<ul style="list-style-type: none"> • Обнова неуромишићне функције унутар 10% у односу на неповређену ногу 	<ul style="list-style-type: none"> • Обнова квалитета, фитнеса и вештина у специфичним кретањима и развој обима поректа за повратак на терен
Специфични циљеви опоравка и критеријуми	<ul style="list-style-type: none"> • Обнова механике хода без помагала • Обнова једноножних и суножних покрета као што су чучањ, искорак, пењање уз степенице 	<ul style="list-style-type: none"> • Обнова суножне контроле доскока (30–40 cm корак) • Обнова механике ниско интензивног трчања на тредмилу (8–10 km/h) 	<ul style="list-style-type: none"> • Обнова једноножне контроле доскока • Обнова механике умерено интензивног трчања на тредмилу (14 km/h) 	<ul style="list-style-type: none"> • Обнова максималне мишићне снаге екстензора и флексора колена (> 90%) • Обнова и развијање квалитета покрета у високо интензивним задацима специфичним за фудбал, као што су доскоци, нагла заустављања, плиометријске активности, праволинијски спринт и трчање са променом правца 	<ul style="list-style-type: none"> • Развијање контроле покрета у специфичним задацима као што су планирана промена правца, реактивна промена правца при максималној брзини, реактивни покрети са и без контакта, у комплексним ситуацијама и под утицајем замора • Симулациони тренинг (у малој групи) у реалним условима интензитета и контакта
Интензитет	Низак	Низак-умерени	Умерени	Умерени-високи	Високи-веома високи
Обим	Низак	Умерени	Умерени-високи	Умерени	Низак-умерен
Вежбе	<ul style="list-style-type: none"> • Успостављање хода са и без помагала • Екстензија колена у седу са исправљеним ногама • Суножни чучањ/ уз зид • Суножно одизање пета у стојећем положају • Једноножно одизање пете у стојећем положају • Стационални бицикл • Искорак у страну • Чучањ у искорак • Ход уз степенице • Потисак куковима • Абдукција ногу у лежећем положају на боку са флектираним коленима 	<ul style="list-style-type: none"> • Суножни <i>Goblet</i> чучањ • Суножни чучањ • Мртво дизање/ Румунско мртво дизање • Једноножни чучањ • Искорак/Румунско мртво дизање на једној ноzi • Мост на једној ноzi • Потисак ногу на машини • Шут машина – флексија и екстензија • Потисак куковима са оптерећењем • Поскоци напред и у страну • Суножни доскок са степера • Трчање у месту • Увођење у трчање на тредмилу 	<ul style="list-style-type: none"> • Доскоци на једној ноzi (напред/ у страну) • Трчање на тредмилу-рад на техници и повећање брзине • Дубински доскок на једној ноzi • Доскок након ротационог скока • Праволинијско умерено интензивно трчање (тредмил, напољу на атлетској стази или трави) • Поскоци различитог смера • Криволинијско трчање и побољшање промене правца 	<ul style="list-style-type: none"> • Суножни дубински скок • Заустављање на једној ноzi (почетно кретање из трка) – бочно и напред • <i>Squat jump</i> на једној ноzi • <i>Countermovement jump</i> на кутији/степеру • Вишеструки скокови на једној ноzi • Криволинијско трчање и побољшање промене правца • Нордијски прегиб 	<ul style="list-style-type: none"> • Линеарно максимално убрзање и заустављање • Рад на брзини промене правца • Реактивна унилатерална плиометрија • Реактивна брзина промене правца • Промена правца под утицајем замора • Рад на агилности у пару (рад у огледалу) • Специфичан технички рад у фудбалу • Специфичан технички рад са контактом • Специфични технички рад под утицајем замора

Процена мишићне снаге

Мишићна снага екстензора и флексора колена процењена је коришћењем изокинетичког динамометра (HUMAC-NORM, Model 770; Computer Sports Medicine Inc., Stoughton, MA) три и шест месеци након реконструкције ACL-а. Поузданост (интракласни коефицијент корелације = 0.82–0.93; типична грешка = 5.7–7.7 N·m) изокинетичког динамометра претходно је потврђена (121). Тестирање је спроведено при угаоној брзини од $60^{\circ}\cdot\text{s}^{-1}$, која се показала као најосетљивија за процену асиметрије екстремитета код спортиста са реконструкцијом ACL-а (122).

Груп, карлица, натколеница и малеолус били су фиксирани каишевима током тестирања. Супротна нога је фиксирана иза стабилизатора у пределу скочног зглоба. Фудбалери су извели пет покрета флексије и екстензије са пасивним одмором између, у трајању од 2 минута. Прво је тестирана неповређена нога, а затим је исти поступак примењен и за повређену ногу. Максимални обртни моменти (Nm), забележени током концентричне контракције *quadriceps-a* и хамстринга, узети су као мере исхода. Индекс симетричности удова израчунат је за максимални обртни момент екстензора и флексора колена, дељењем постигнутог резултата повређене ноге са супротном ногом и помножен са 100, како би се добио проценат.

$$\text{Индекс симетричности удова} = \frac{\text{Максимални обртни момент повређене ноге}}{\text{Максимални обртни момент неповређене ноге}} \times 100\%$$

Конвенционални однос (концентрично/концентрично) хамстринга и *quadriceps-a* (H/Q), израчунат је као момент флексије подељен са моментом екстензије колена при истој угаоној брзини ($60^{\circ}\cdot\text{s}^{-1}$).

$$\text{Конвенционални однос хамстринга и } \textit{quadriceps-a} = \frac{\textit{Hamstring peak torque}}{\textit{Quadriceps peak torque}}$$

Статистичке анализе

Коришћењем програма G*Power (version 3.1.9.4; Heinrich Heine University Düsseldorf, Düsseldorf, Germany) препоручен је узорак од укупно 16 фудбалера [$\alpha = 0.05$; effect size (ES) = 0.30; and power = 0.80], на основу истраживања које је испитивало симетрију мишићне снаге доњих екстремитета након реконструкције ACL-а (118). Нормалност дистрибуције потврђена је применом Шапиро-Вилковог теста. У складу са тим, сви подаци представљени су средњом вредношћу и стандардном девијацијом. Разлике у излазним резултатима између графтова (ефекат графта), трећег и шестог месеца (ефекат времена) и повређене и неповређене ноге (ефекат ноге), као и мишићних група (ефекат мишића) испитане су применом 2x2x2 комбиноване анализе варијансе, са два фактора унутар група (било ефекат времена и ноге или времена и мишића) и једним фактором између група (ефекат графта). Парцијални ета квадрат (η_p^2) коришћен је за изражавање величине ефекта у свакој комбинованој анализи варијансе, и интерпретиран је на следећи начин (123): *нема ефекта* (≤ 0.04); *минимални ефекат* (0.05–0.25); *умерени ефекат* (0.26–0.64); или *јак ефекат* (≥ 0.65). Накнадна поређења између временских тачака, ногу, или између мишићних група, спроведена су применом

t теста независних узорака. Hedge's g (са 95% CI) је такође израчунат да би се одредила величина ефекта за сва накнадна поређења. Hedge's g је интерпретиран као (124): *тривијални* (<0.20); *мали* ($0.20-0.49$); *умерени* ($0.50-0.79$); или *велики* (≥ 0.80). Статистичке анализе су извршене употребом IBM® SPSS® софтвера (version 19; IBM Corp., Armonk, NY, USA). Статистичка значајност прихваћена је на $p < 0.05$.

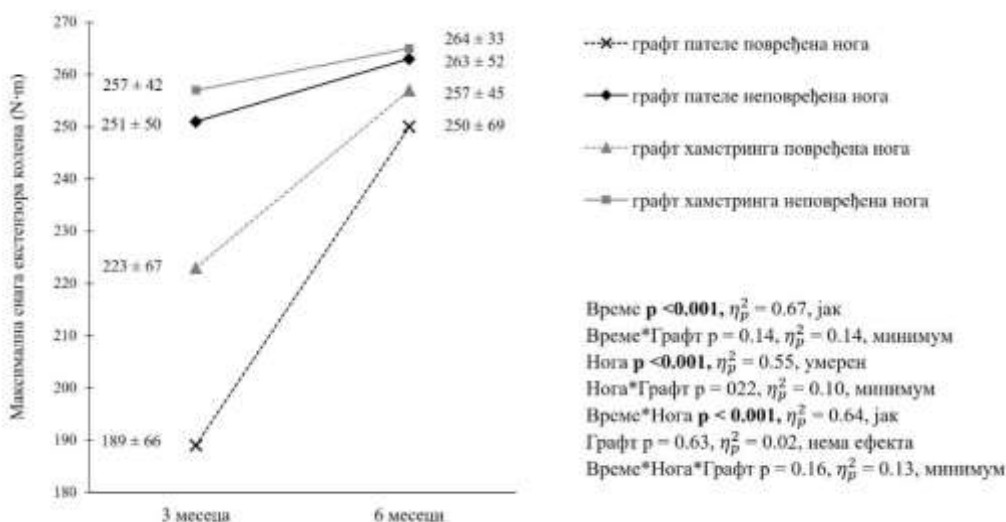
РЕЗУЛТАТИ



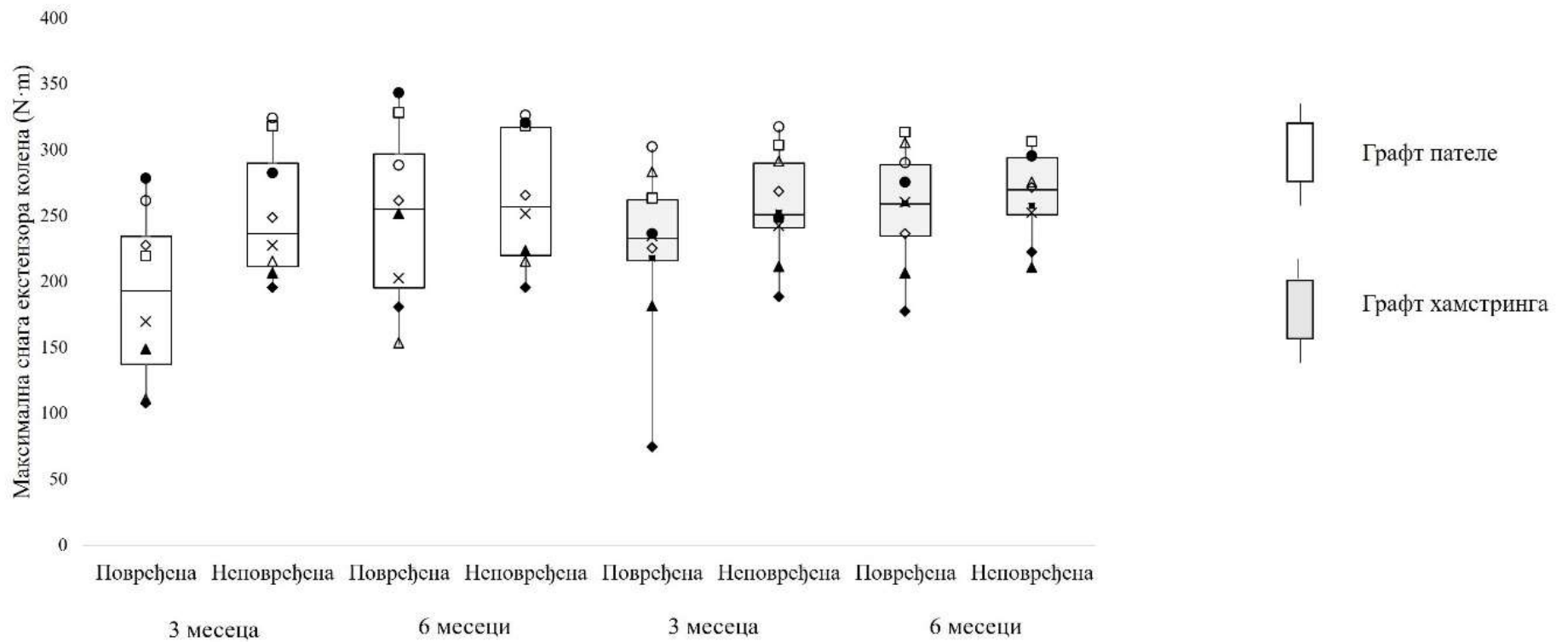
Мишићна снага екстензора колена

Резултати комбиноване анализе варијансе и дескриптивне статистике (средња вредност и стандардна девијација) за максималну мишићну снагу екстензора колена, три и шест месеци након реконструкције ACL-а, приказани су на графикону 1. Индивидуалне вредности, као и вредности медијане, минимума, максимума и интерквartilног (25 и 75 перцентила) распона за максималну мишићну снагу екстензора колена, три и шест месеци након реконструкције ACL-а, приказане су на графикону 2. Вредности величине ефекта у накнадним поређењима (између трећег и шестог месеца, између повређене и неповређене ноге, као и између графта пателе и хамстринга) за максималну мишићну снагу екстензора колена, приказане су на графикону 3.

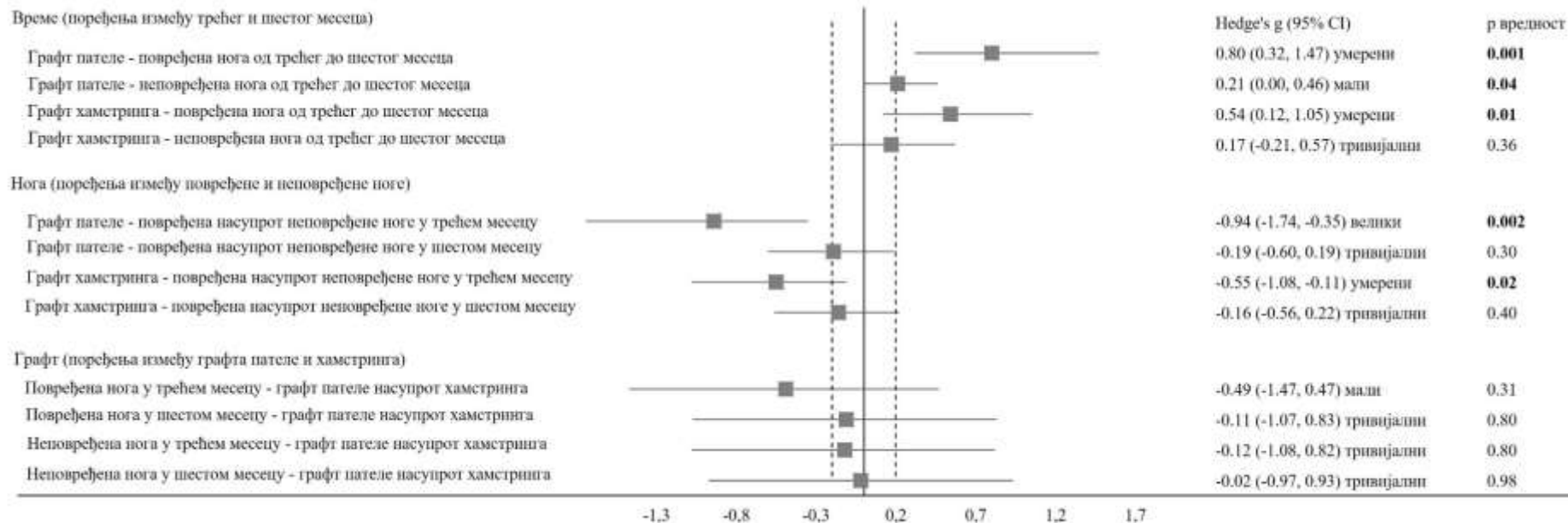
Комбинованом 2x2x2 анализом варијансе откривена је значајна интеракција време*нога ($p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.64$), са значајним ефектом времена ($p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.67$) и ноге ($p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.55$), у максималној мишићној снази екстензора колена. Накнадна поређења открила су значајна *умерена* повећања максималне мишићне снаге екстензора колена на повређеној нози, између трећег и шестог месеца у обе групе (графт пателе: $p < 0.001$, $g = 0.80$; графт хамстринга: $p = 0.01$, $g = 0.54$), док је значајно *мало* повећање (графт пателе: $p = 0.04$, $g = 0.21$) и *тривијално*, али не статистички значајно повећање (графт хамстринга: $p = 0.36$, $g = 0.17$), забележено код неповређене ноге у овом временском интервалу. Поред тога, значајне *умерено-велике* асиметрије у мишићној снази екстензора колена између повређене и неповређене ноге у обе групе у трећем месецу (графт пателе: $p = 0.002$, $g = -0.94$; графт хамстринга: $p = 0.02$, $g = -0.55$) смањене су на *тривијалне* без статистичке значајности у шестом месецу (графт пателе: $p = 0.30$, $g = -0.19$; графт хамстринга: $p = 0.40$, $g = -0.16$).



Графикон 1. Резултати комбиноване анализе варијансе и дескриптивне статистике (средња вредност и стандардна девијација) за максималну мишићну снагу екстензора колена, три и шест месеци након реконструкције предњег укрштеног лигамента



Графикон 2. Индивидуалне вредности, као и вредности медијане, минимума, максимума и интерквartilног (25 и 75 перценти) распона за максималну мишићну снагу екстензора колена, три и шест месеци након реконструкције предњег укрштеног лигамента

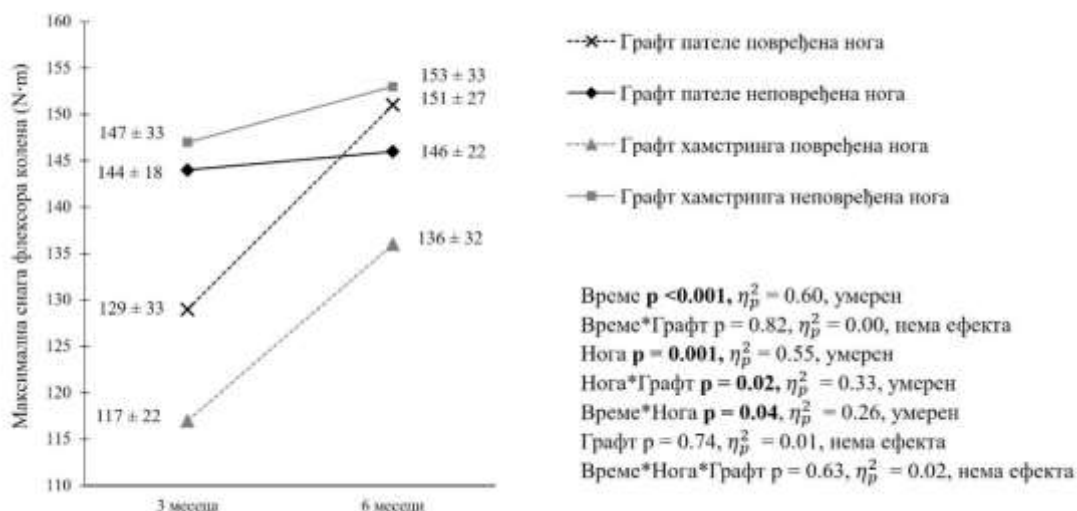


Графикон 3. Вредности величине ефекта у накнадним поређењима (између трећег и шестог месеца, између повређене и неповређене ноге, као и између графта пателе и хамстринга) за максималну мишићну снагу екстензора колена

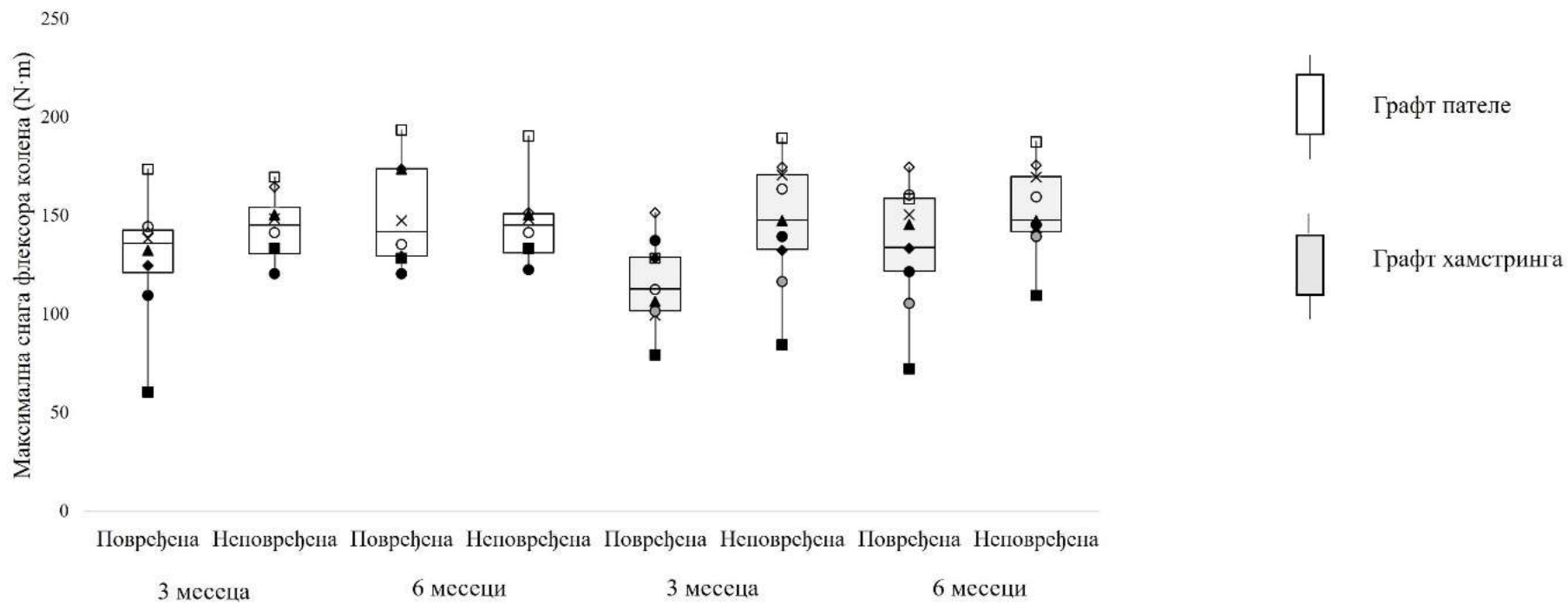
Мишићна снага флексора колена

Резултати комбиноване анализе варијансе и дескриптивне статистике (средња вредност и стандардна девијација) за максималну мишићну снагу флексора колена, три и шест месеци након реконструкције ACL-а, приказани су на графикону 4. Индивидуалне вредности, као и вредности медијане, минимума, максимума и интерквartilног (25 и 75 перцентила) распона за максималну мишићну снагу флексора колена, три и шест месеци након реконструкције ACL-а, приказане су на графикону 5. Вредности величине ефекта у напредним поређењима (између трећег и шестог месеца, између повређене и неповређене ноге, као и између графта пателе и хамстринга) за максималну мишићну снагу флексора колена, приказане су на графикону 6.

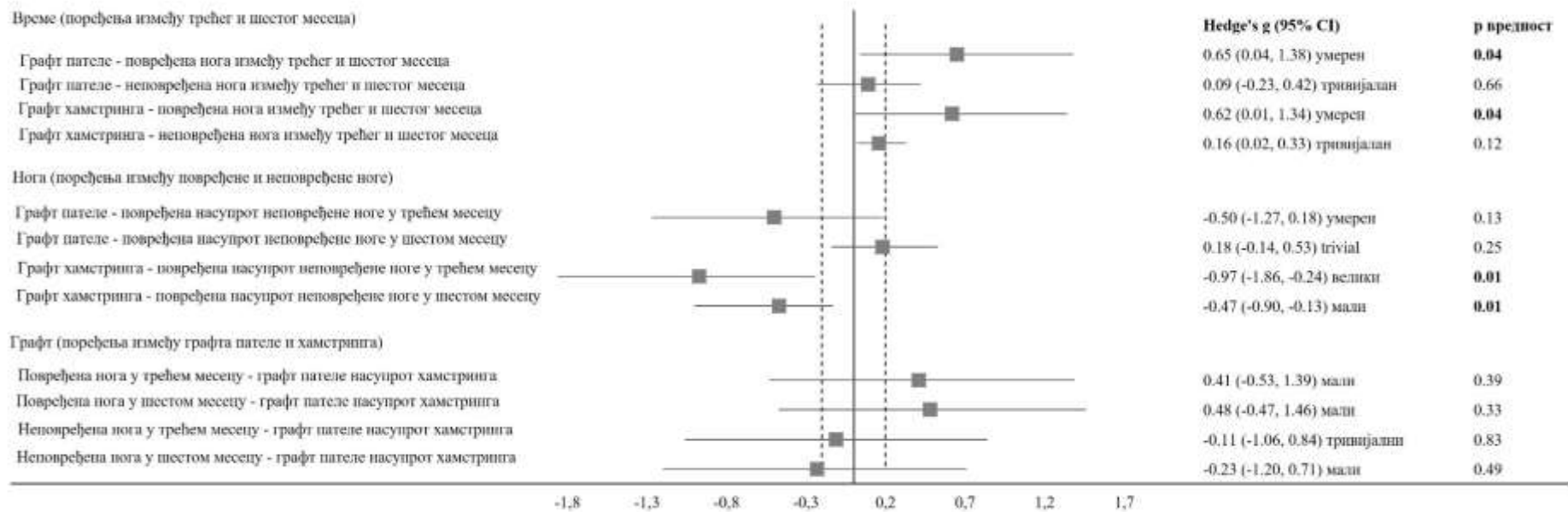
Комбинованом 2x2x2 анализом варијансе откривена је значајна интеракција време*нога ($p = 0.04$, $\eta_p^2 = 0.26$), са значајним ефектом времена ($p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.60$) и ноге ($p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.55$), у максималној мишићној снази флексора колена. Накнадна поређења открила су значајна, умерена повећања максималне мишићне снаге флексора колена на повређеној ноzi, између трећег и шестог месеца у обе групе (графт пателе: $p = 0.04$, $g = 0.65$; графт хамстринга: $p = 0.04$, $g = 0.62$), док су тривијалне промене, без статистичке значајности забележене код неповређене ноге у овом временском интервалу (графт пателе: $p = 0.66$, $g = 0.09$; графт хамстринга: $p = 0.12$, $g = 0.16$). Значајна, велика асиметрија у максималној мишићној снази флексора колена између повређене и неповређене ноге у трећем месецу ($p = 0.01$, $g = -0.97$), смањена је на значајно малу у шестом месецу ($p = 0.01$, $g = -0.47$), у групи са графтом хамстринга. Поред тога, умерена, али не и статистички значајна асиметрија у максималној мишићној снази флексора колена између повређене и неповређене ноге у трећем месецу ($p = 0.13$, $g = -0.50$), смањена је на тривијалну, такође без статистичке значајности у шестом месецу ($p = 0.25$, $g = 0.18$) у групи са графтом пателе.



Графикон 4. Резултати комбиноване анализе варијансе и дескриптивне статистике (средња вредност и стандардна девијација) за максималну мишићну снагу флексора колена, три и шест месеци након реконструкције предњег укрштеног лигамента



Графикон 5. Индивидуалне вредности, као и вредности медијане, минимума, максимума и интерквartilног (25 и 75 перценти) распона за максималну мишићну снагу флексора колена, три и шест месеци након реконструкције предњег укрштеног лигамента

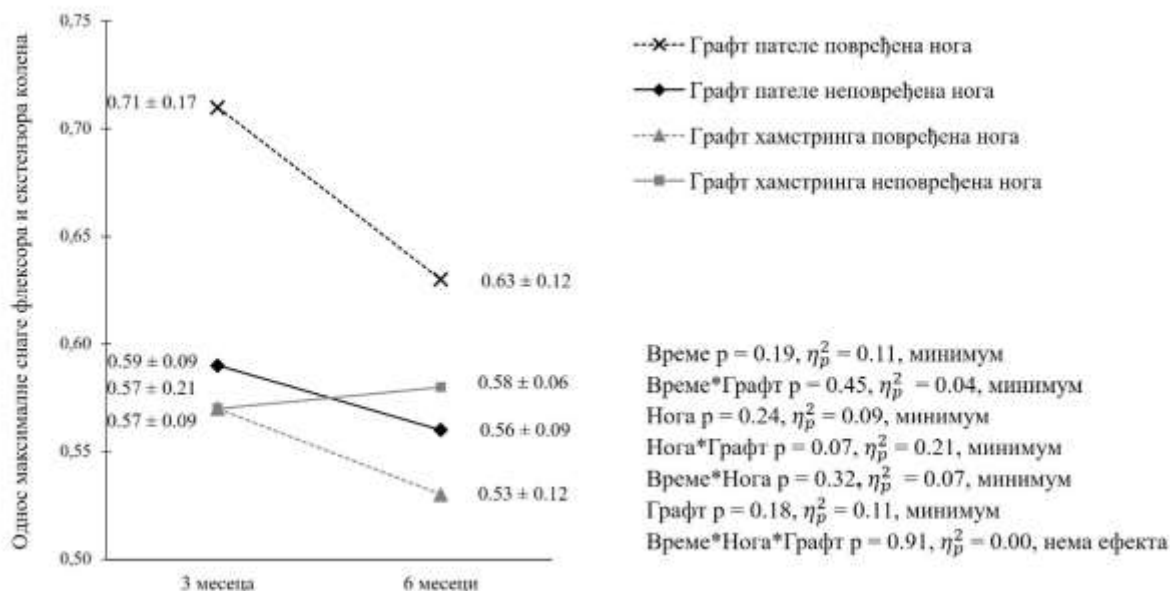


Графикон 6. Вредности величине ефекта у накнадним поређењима (између трећег и шестог месеца, између повређене и неповређене ноге, као и између графта пателе и хамстринга) за максималну мишићну снагу флексора колена

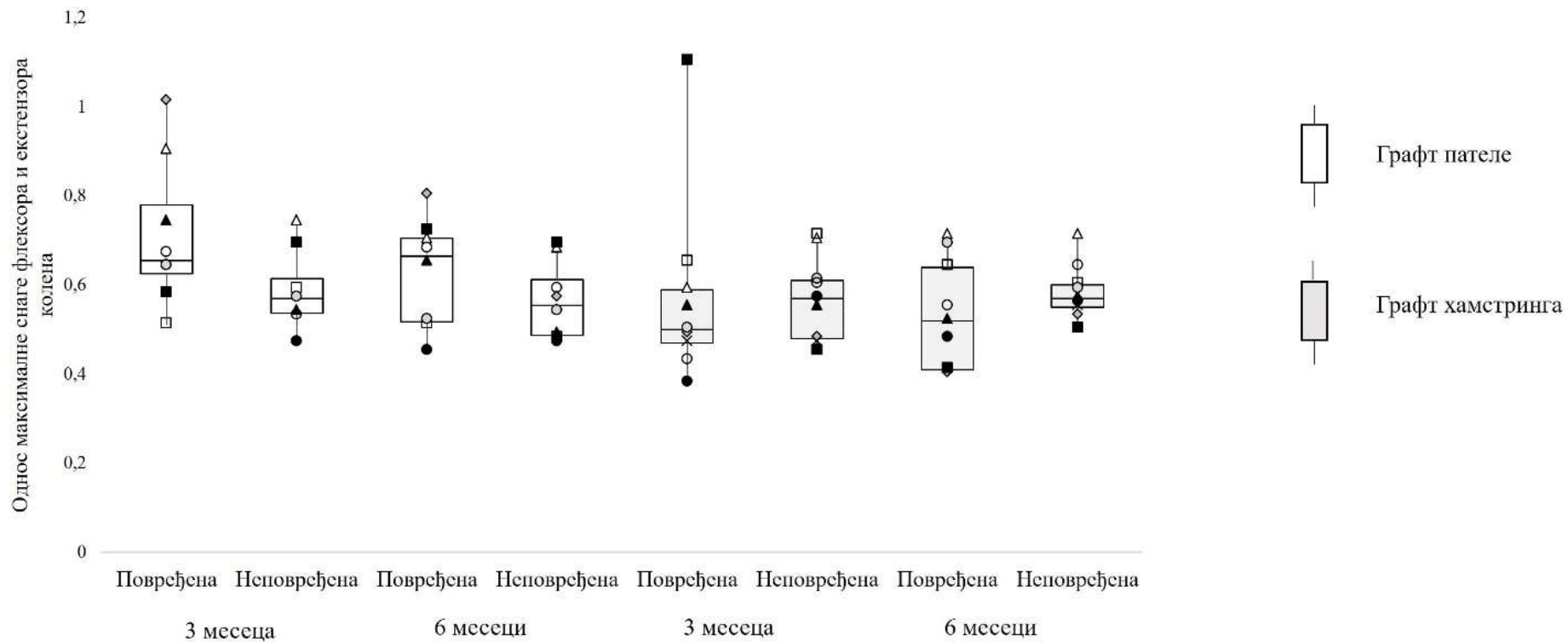
Однос максималне мишићне снаге флексора и екстензора колена

Резултати комбиноване анализе варијансе и дескриптивне статистике (средња вредност и стандардна девијација) за однос максималне мишићне снаге флексора и екстензора колена, три и шест месеци након реконструкције ACL-а, приказани су на графикону 7. Индивидуалне вредности, као и вредности медијане, минимума, максимума и интерквartilног (25 и 75 перцентила) распона за однос максималне мишићне снаге флексора и екстензора колена, три и шест месеци након реконструкције ACL-а, приказане су на графикону 8. Вредности величине ефекта у накнадним поређењима (између трећег и шестог месеца, између повређене и неповређене ноге, као и између графта пателе и хамстринга) за однос максималне мишићне снаге флексора и екстензора колена, приказане су на графикону 9.

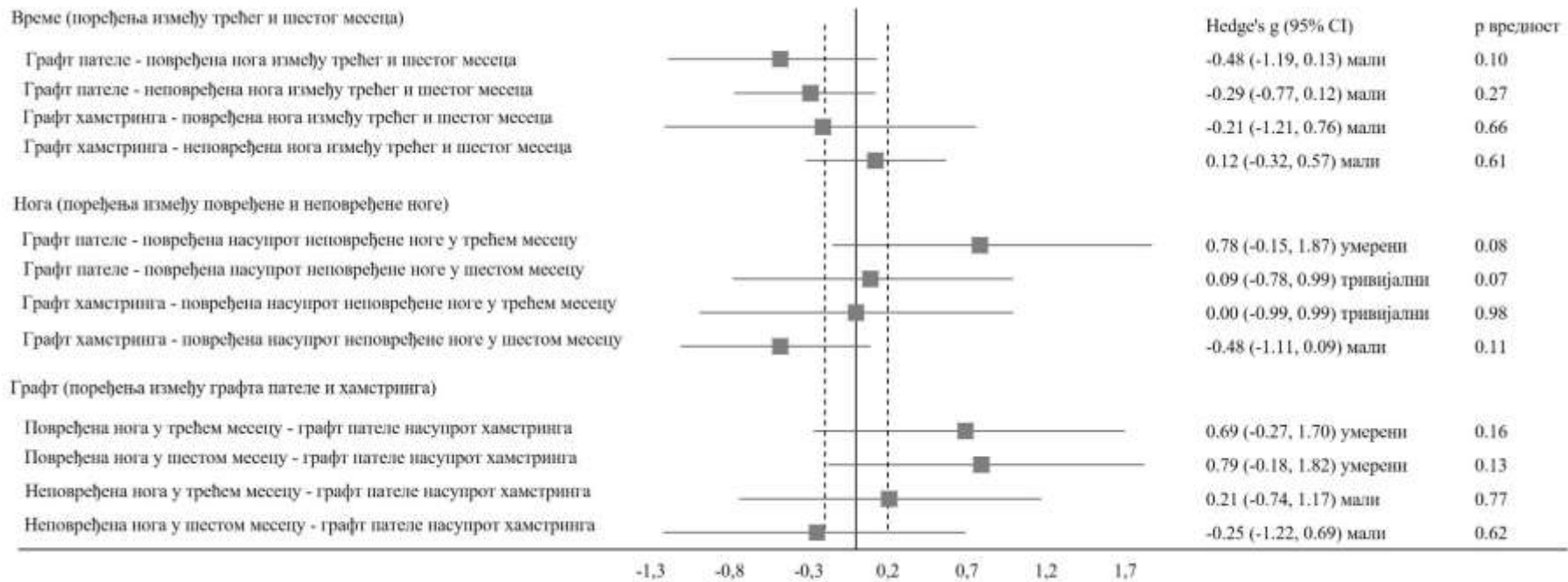
Комбинованом 2x2x2 анализом варијансе није откривена значајна интеракција, као ни главни ефекти за однос максималне снаге флексора и екстензора колена. Слично томе, у свим накнадним поређењима забележени су *тривијално-умерени* ефекти, али без статистичке значајности.



Графикон 7. Резултати комбиноване анализе варијансе и дескриптивне статистике (средња вредност и стандардна девијација) за однос максималне мишићне снаге флексора и екстензора колена, три и шест месеци након реконструкције предњег укрштеног лигамента



Графикон 8. Индивидуалне вредности, као и вредности медијане, минимума, максимума и интерквartilног (25 и 75 перценти) распона за однос максималне мишићне снаге флексора и екстензора колена, три и шест месеци након реконструкције предњег укрштеног лигаментa

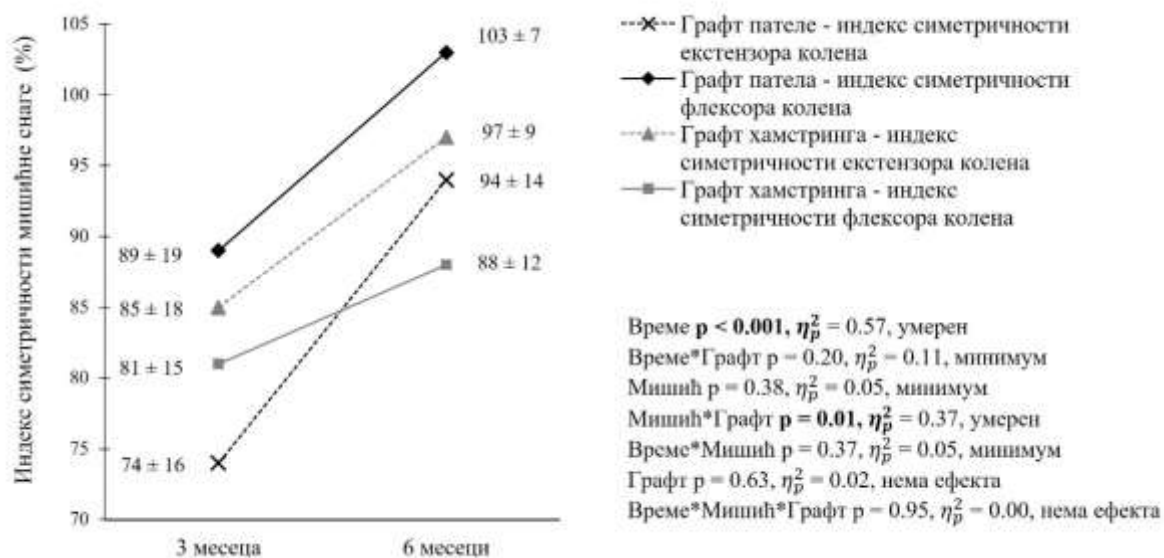


Графикон 9. Вредности величине ефекта у накнадним поређењима (између трећег и шестог месеца, између повређене и неповређене ноге, као и између графта пателе и хамстринга) за однос максималне мишићне снаге флексора и екстензора колена

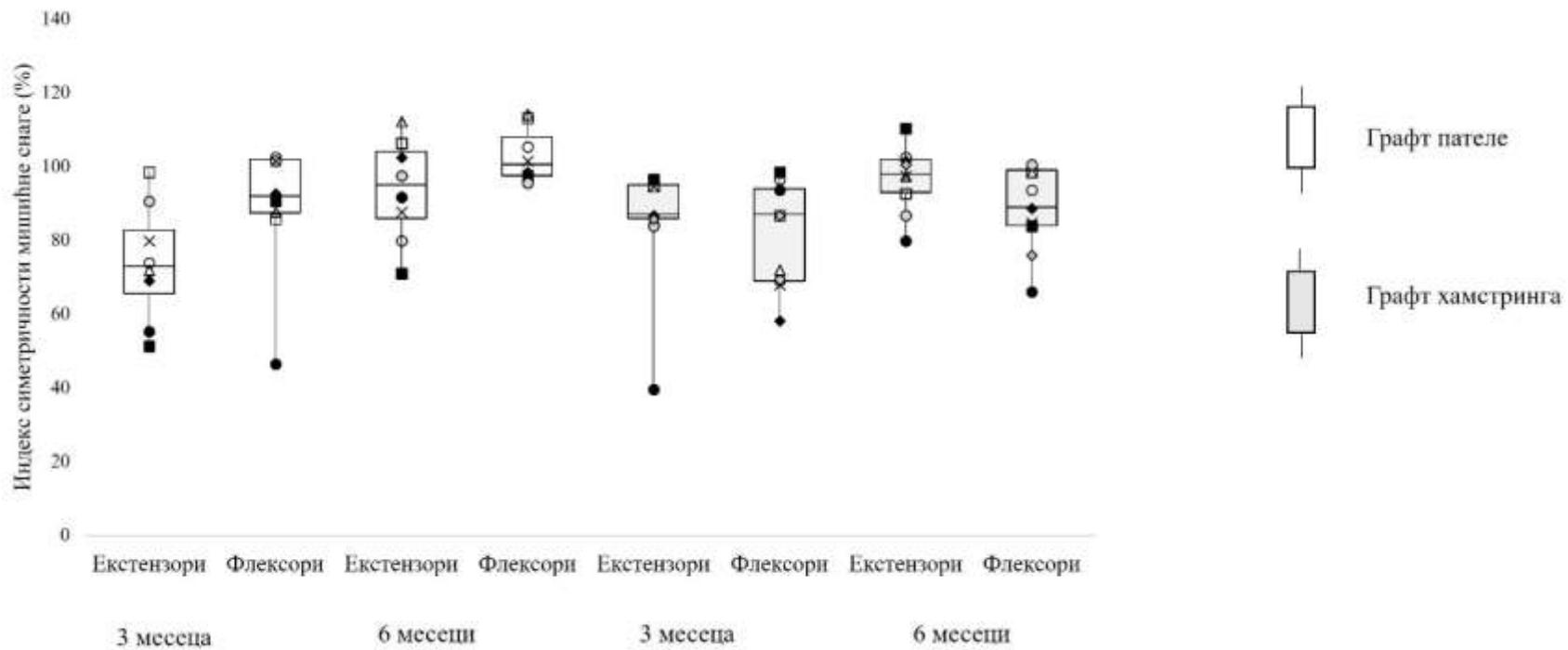
Индекс симетричности максималне мишићне снаге

Резултати комбиноване анализе варијансе и дескриптивне статистике (средња вредност и стандардна девијација) за индекс симетричности максималне мишићне снаге, три и шест месеци након реконструкције ACL-а, приказани су на графикону 10. Индивидуалне вредности, као и вредности медијане, минимума, максимума и интерквartilног (25 и 75 перцентила) распона за индекс симетричности максималне мишићне снаге, три и шест месеци након реконструкције ACL-а, приказане су на графикону 11. Вредности величине ефекта у накнадним поређењима (између трећег и шестог месеца, између екстензора и флексора колена, као и између графта пателе и хамстринга) за индекс симетричности максималне мишићне снаге, приказане су на графикону 12.

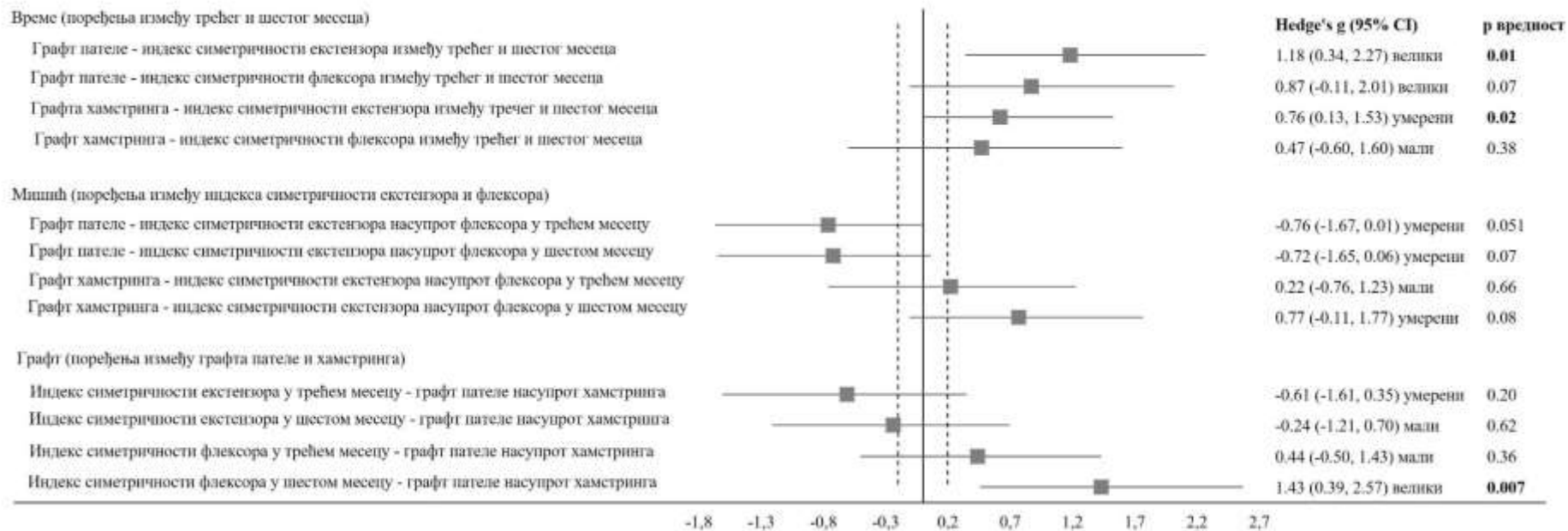
Комбинованом 2x2x2 анализом варијансе откривена је значајна интеракција мишић*графт ($p = 0.01$, $\eta_p^2 = 0.37$), са значајним ефектом времена ($p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.57$). Накнадна поређења открила су значајно, умерено-велика повећања у индексу симетричности екстензора колена између трећег и шестог месеца у обе групе (графт пателе: $p = 0.01$, $g = 1.18$; графт хамстринга: $p = 0.02$, $g = 0.76$), док су мале-велике промене, без статистичке значајности забележене у индексу симетричности флексора колена у овом временском интервалу (графт пателе: $p = 0.07$, $g = 0.87$; графт хамстринга: $p = 0.38$, $g = 0.47$). Мале-умерене разлике, али без статистичке значајности, пронађене су између индекса симетричности екстензора и флексора колена у обе групе у трећем (графт пателе: $p = 0.05$, $g = -0.76$; графт хамстринга: $p = 0.66$, $g = 0.22$) и шестом месецу (графт пателе: $p = 0.07$, $g = -0.72$; графт хамстринга: $p = 0.08$, $g = 0.77$). Пронађена је значајна, велика разлика у индексу симетричности флексора колена у шестом месецу, у корист групе са графтом пателе у односу на графт хамстринга ($p = 0.007$, $g = 1.43$).



Графикон 10. Резултати комбиноване анализе варијансе и дескриптивне статистике (средња вредност и стандардна девијација) за индекс симетричности максималне мишићне снаге, три и шест месеци након реконструкције предњег укрштеног лигамента



Графикон 11. Индивидуалне вредности, као и вредности медијане, минимума, максимума и интерквartilног (25 и 75 перцентила) распона за индекс симетричности максималне мишићне снаге, три и шест месеци након реконструкције предњег укрштеног лигамента



Графикон 12. Вредности величине ефекта у накнадним поређењима (између трећег и шестог месеца, између екстензора и флексора колена, као и између графта пателе и хамстринга) за индекс симетричности максималне мишићне снаге

ДИСКУСИЈА



Први број часописа *Sports Medicine Arthroscopy Review* публикован у априлу 1993. године имао је 7 чланака који су се односили на реконструкцију ACL-а. Од тада, поменути часопис заузима водеће мести из области артроскопске хирургије и спортске медицине (125). Управо у овом времену операција ACL-а је почела да се све више изводи уз постављање темеља технике рада на којима се базира и данашњи хируршки третман. Иако је реконструкција ACL-а доживела свој пуни замањ пре више од 30 година, њени почеци се везују за још ранији период тачније 70-их година прошлог века. Тако су Feagen и Curl 1976. године изразили сумњу у трајност односно учинковитост реконструкције ACL-а (126). Након овог рада дошло је до проширења реконструктивних техника при чему се употреба пателарне тетиве наметнула као најпопуларнија интраартикуларна техника. Екстраартикуларне технике реконструкције самостално примењене или у комбинацији са интраартикуларним приступом су такође биле спровођене. Будући да су ово биле тада отворене технике, захтевале су релативно велике резове. Због бојазни да би рано кретање тј. покретање зглоба угрозило фиксацију графтова, пацијенти су често били имобилисани током више недеља после операције. Комбинација отворене хирургије и имобилизације је у овом случају често резултирала укоченошћу и улцерацијом зглобних површина пателе или трохлеа (125, 126).

Током 1980-их година поменути проблем са укоченошћу зглоба и потенцијалним постоперативним болом и осећајем неопходности имобилизације довели су до употребе синтетских графтова као што су Gore-Tex, Dacron, LAD и остали. Иако су у почетку ови графтови прихваћени са пуно ентузијазма, убрзо су се показали као непоуздани, будући да нису успели да обезбеде квалитетну подршку зглобу у дужем временском периоду. Сматра се да је разлог слабог успеха поменутих вештачких графтова материјал од кога су направљени као и немогућност графта да стимулише биолошку замену синтетског материјала (127).

Доктор Shelbourne, један од најјеминентнијих стручњака у области реконструкције ACL-а током последње три деценије, био је заговорник идеје о развијању агресивних програма мобилизације и рехабилитације, који су и данас основа најсавременијих протокола рехабилитације након реконструктивне хирургије ACL-а (128). Остале промене у реконструктивном и рехабилитационом приступу су подразумевале напуштање отворене реконструктивне технике и прелаз на артроскопски потпомогнуте технике уз очување интактне капсуле колена и мању бол након операције (129).

Са друге стране, употреба алогофта доживљава експанзију деведесетих година прошлог века, с обзиром да се сматрало да су алогофти разумна алтернатива за аутографт, због чињенице да се употребом алогофта избегава бол, као и потенцијална слабост квадрицепса након узимања графта пателарне тетиве или слабости хамстринга после узимања графта од тетива хамстринга (130, 131). Током наредне деценије ендоскопска транстибијална реконструкција ACL-а постала је популарна. На овај начин је дошло до популаризације хируршке реконструкције ACL-а, будући да се све већи број спортиста успешно враћао на терен. Употреба графта хамстринга постала је широко распрострањена како су се технике фиксирања трансплантата меких ткива унапређивале (131).

Током 21. века дошло је до стабилизације напретка и еволуције у погледу реконструктивне технике, избора графта као и задовољавајућег нивоа разумевања

узрока неуспеха хируршке процедуре. Фокусирајући се на успостављање претходне анатомије ACL-а током реконструкције, Fu и сарадници су показали да је транстибијална ендоскопска реконструкција ACL-а повезана са тежом реконструкцијом анатомских карактеристика ACL-а. Ови аутори су били пионири у покушају да репродукују анатомију ACL-а користећи технику узимања и прављења двотруког снопа графта (132). Овакав приступ је довео до развоја великог броја истраживања која су испитивала оправданост употребе, трајност и ефикасност реконструкције коришћењем двоструког снопа.

Неколико великих промена у техникама истраживања ACL хирургије су оствариле значајан утицај на реконструкцију ACL-а у последњих деценију и по. Међу њима се посебно истиче коришћење великих проспективних мултицентричних рандомизованих контролисаних студија, од којих се најзначајније везују за рад MOON групе (133). Развој и примена техника мета-анализа и систематских прегледних радова побољшали су способност идентификације разлика у техникама реконструкције ACL-а и избору материјала за графтове. Осим тога, недавно успостављање великих регистара укључујући оне из Сједињених Америчких Држава и Скандинавских земаља, унапредили су способност идентификације суптилних разлика у резултатима код различитих трансплантата и/или техника (134). Иако подаци из ових регистара не могу да остваре снагу и ниво значајности доказа великих проспективних мултицентричних рандомизованих контролисаних студија, чињеница да одражавају успех или неуспех хируршких техника од стране великог броја хирурга из широког спектра географских подручја, може драгоцено помоћи у разумевању исхода реконструкције.

Многобројне мета-анализе и систематски прегледни чланци различитих извора трансплантата за реконструкцију ACL-а, показали су да је аутоген трансплатат кост-тетива-кост за сада најбољи графт у погледу повратка стабилности и функције зглоба код младих активних спортиста (135). Подаци MOON групе су потврдили да се употреба графтова хамстринга мањег пречника доводи у везу са већим процентом неуспешности реконструкције. Алографти такође нису показали задовољавајући степен поузданости поготово код особа млађих од 40 година старости. Међу најважнијим сазнањима MOON групе је да стопа успешности графтова хамстринга може бити нарочито висока уколико су ови графтови > 8 mm у пречнику (136). Технике које повећавају дијаметар графтова хамстринга, као што су краћи графтови састављени који су састављени из 4 снопа semitendinosus-а или 4 снопа semitendinosus-а уз 2 снопа gracilis-а, најчешће обезбеђују пречник графта од > 8 mm. Осим тога, комбинација алографта и 4 снопа неког од поменутих аутографтова омогућава добијање још већег пречника и додатно побољшава успешност реконструкције (135, 136).

Интересантно је да подаци Скандинавског регистра и регистра Сједињених Америчких Држава показују повећан ризик од ревизија након употребе графта хамстринга у поређењу са графтом пателарне тетиве (136). Хипотетички анализирано може се претпоставити да повећање дијаметра графта хамстринга преко 8 mm може смањити стопу ревизије код ове технике реконструкције. Препорука неких аутора је да за младе спортисте који немају контраиндикације (слабо развијена пателарна тетива, пателарни тендинитис озбиљнијег степена), треба користити графт пателе. Исти аутори предлажу да се код мање захтевних спортова и рекреативаца између 22. и 30. године користи графт хамстринга. Уз то је сугестија да се користи графт узет из semitendinosus-а који је састављен из 4 снопа. Овај графт може бити укупне дужине од

7,5 до 8,0 cm. Уколико је графт не више од 8,5 mm у пречнику, потребно га је ојачати са 2 снопа gracilis-a. Употреба алографта је резервисана са особе старије од 40 година (или оне у касним 30-им годинама који су релативно неактивни) и у ситуацијама мултилигаментних повреда (136).

Правци даљег унапређења реконструктивне технике и њеног даљег развоја према литературним подацима усмерени су на напреднију технику ушивања уз употребу унутрашњег стента и хематолошког скафолда ради заштите места репарације од штетних ефеката синовијалне течности (137). Са друге стране Claes и сарадници су недавно открили антеролатерални лигамент колена. На овај начин поменути аутори су опет истакли значај средње трећине латералне стране капсуле као структуре која је важна за контролу покрета колена код повреде ACL-a. Велики број екстраартикуларних бочних реконструкција је рађен 1980-их. Све оне ипак нису прихваћене у рутинској пракси будући да нису довеле до побољшане стабилности зглоба колена, а уз то су биле повезане са већим болом (138).

Са друге стране, многобројни еминентни ортопеди широм света су у последње време усмерили пажњу на нагиб тибије као круцијални проблем који може допринети повреди ACL-a и неуспеху реконструкције. Тако су поједине студије показале да тибијални нагиб једнак или већи од 12 степени не само да повећава ризик од повреде ACL-a, већ значајно повећава ризик од неуспеха реконструкције ACL-a. Због тога су неки аутори препоручили поравњавање тибијалне косине код пацијената са неуспелим претходним реконструкцијама (139).

У последњих 20 година коришћење графта тетиве квадрицепса постала је све популарнија техника у реконструкцији ACL-a због својих предности у погледу стабилности колена и опоравка мишићне снаге. Међутим, графт пателе и графт хамстринга су ипак најчешће коришћени аутографтови (140). Графт пателе се показао успешним с обзиром да омогућава ефикасан опоравак квадрицепса, док је графт хамстринга повезан са морфо-функционалним дефицитом мишића хамстринга и споријим процесом рехабилитације (141). Приликом употребе графта пателе мишићи хамстринга задржавају своју функционалност уз стандардно добру стабилност коленог зглоба (141). Насупрот томе, графт пателе се често доводе у везу са болом у предњем делу колена и недостатком снаге квадрицепса (141). Управо се на стално присутној дилеми избора аутографтова заснивала једна од идеја водиља за спровођење ове докторске дисертације.

Тип рехабилитационог протокола игра важну улогу у брзом повратку на терен спортиста. Преоперативни протоколи се састоје од једне фазе и имају за циљ постизање индекса симетрије квадрицепса од приближно 90% (142). Постооперативни протокол обухвата четири до пет фаза и траје око 6 месеци (142). Међутим, студије су показале да врста графта који се користи у реконструкцији може битно да утиче на наведене фазе. На пример, код пацијената са графтом пателе вежбе хамстринга са отпором се одлажу за каснији период (142). Стога је оправдано проучавање утицаја врсте графта на рехабилитационе протоколе.

Брз повратак на терен спортиста (143) једна од најчешће коришћених крајњих тачака за процену ефикасности хируршких техника реконструкције ACL-a. У том смислу поједине студије су известиле се између 62% и 81% повређених спортиста вратило на ниво пре повреде након операције. Осим тога, 44% се вратило на свој

такмичарски ниво (143). Штавише, критеријуми за брз повратак на терен су мултифакторски и укључују време након операције, снагу мишића и функционалне исходе (143). Функционални исходи се сматрају субјективним методама за процену напретка пацијената након рехабилитационих протокола (нпр. Lysholm, Tegner, International Knee Documentation Committee, и Cincinnati скор) (142, 143). Међу свим критеријумима, мишићна снага је најважнији разматрани критеријум, а најчешће коришћене методе за њену процену су мануелно тестирање мишића, изометријски тестови снаге и тестови изокинетичке снаге (144). Штавише, изокинетичка технологија се сматра методом „златног стандарда“ за процену снаге мишића, омогућавајући квантификацију мишићне снаге кроз утврђену угаону брзину (144). У објављеним научним радовима међутим до сада није коришћен јасан стандардизован протокол изокинетичког тестирања, што ограничава квантитативно поређење између објављених података (144). Због тога је хомогеност временских тачака процене пацијента, протокола за испитивање изокинетичке снаге и коришћених инструмената сложена.

У литератури се све чешће могу пронаћи истраживања у којима се упоређује ефикасност графта пателе и хамстринга. Једно од таквих истраживања је обухватило податке из 17 мета-анализа упоређујући успешност примене графта пателе и хамстринга у погледу мишићне снаге, функционалних исхода и стабилности колена (143, 144). Уочено је да није било никакве разлике у времену повратка на терен између поменутих типова графта. Осим тога, претходни систематски прегледни чланци упоређивали су графт бутног мишића са графтовима пателе и хамстринга и такође забележили одсуство било какве разлике у функционалним резултатима између графтова уз боље резултате стабилности колена након употребе графта бутног мишића.

Доступна литература није показала да постоји разлика у вези са брзином повратка на терен и повратком функционалних способности између сва три поменута типа графта. У том смислу једна од студија је поредила изокинетичке и изометријске тестове између сва три типа графта користећи категоричку угаону брзину (ниска: $60^\circ/s$ – $90^\circ/s$ и умерена: $160^\circ/s$ – $180^\circ/s$) и категоричке периоде праћења (5–8, 9–15, 24 и 36–60 месеци) (143, 144). Стога, имајући у виду како велики број научних доказа, као и све неконзистентности које су уочене у мета-анализама може се претпоставити да: 1) постоје значајне разлике између графта бутног мишића, графта пателе и графта хамстринга у тесту изокинетичке снаге и 2) постоје разлике између све три врсте графта у погледу стабилности колена и функционалних исхода на истим тачкама праћења (143, 144).

Руптура ACL-а је честа повреда у општој популацији, са учесталошћу до 75.000 до 100.000 годишње, поготово код млађих активних спортиста који се баве контактним спортовима. С обзиром да се млади све раније укључују у бављење спортом, инциденца руптуре ACL-а расте у педијатријској популацији (145). Како биолошка терапија има мало учинка у лечењу руптуре ACL-а, хируршка реконструкција остаје једина метода која омогућава пуну функционалну способност колена, брз повратак на терен и спречавање дегенерације зглоба колена (146). Као што смо поменули у претходном делу дискусије током хируршке реконструкције користе различите врсте графтова од којих сваки има своје предности и недостатке. Упркос великом обиму истраживања и побољшању хируршке технике, још увек постоји значајна дебата о томе који је идеалан избор графта за сваког пацијента.

Иако се реконструисаном ACL-у не враћа у потпуности првобитна структура или биомеханичка својства, графт који се користи за реконструкцију осим структурне и механичке сличности са матичним лигаментом, такође мора имати минималну антигеност и довољан биолошки потенцијал за адекватну уградњу у кост домаћина. Приликом одабира графтова постоји неколико критеријума који се морају узети у обзир од којих је нарочито битно разматрање компарације: аутографтова наспрам алографтова и графтова меких ткива наспрам графтова са коштаном чеповима. Најчешће коришћени типови аутографта су коштано – лигаментарно пателарни аутографт или графт хамстринга. Међу алографтовима, додатне опције укључују употребу тетива *tibialis anterior*-а и *posterior*-а, као и Ахилове тетиве. Оптимални избор графта не зависи само од својства графта, већ још важније од карактеристика и очекивања пацијената (146).

Аутографтови се најчешће користе за реконструкцију ACL-а. Теоретски, из перспективе биолошког лечења, аутографтови су најоптималнији јер поседују низ предности: састоје се од аутогеног ткива и не носе ризик од преношења болести, максимизирајући брзину и способност потпуне биолошке интеграције у зглобне структуре. Приликом избора аутографта, главна разматрања се односе на морбидитет места узимања графта и зарастање тунела графта. Клинички најчешће коришћени аутографтови су коштано – лигаментарно пателарни аутографт или графт хамстринга (147).

Аутографт пателе је био први графт који је коришћен у реконструкцији ACL-а. Присуство коштаног чепа на оба краја овог графта омогућава задржавање природног контакта тетива-кост и тиме добру интеграцију ткива графта путем зарастања кост-кост. Са биомеханичког становишта, графт пателе има слична својства као ACL, са нешто већим крајњим затезним оптерећењем, али мањом површином попречног пресека (148). Варијације у дужини графта могу довести до техничких потешкоћа, посебно неусклађености димензија графта и тунела. С обзиром на фиксну дужину тетиве графта пателе и мању површину попречног пресека, неусклађеност у површини попречног пресека са отвором тунела омогућава веће кретње графта. Ово се често решава фиксирањем отвора тунела током саме интервенције. Ипак, без обзира на одређене биомеханичке недостатке графт пателе доводи до побољшане постоперативне стабилности и смањене стопе поновне руптуре у раној постоперативној фази у поређењу са другим типовима графта (148).

Постоји неколико клиничких недостатака употребе графта пателе. Први се односи на оштећење мишића на месту узимања графта. Наиме, графт пателе се узима са централне трећине тетиве пателе уз коштане блокове на крајевима, кроз већи рез него код узимања графта хамстринга. Бол у предњем делу колена је чешћи након узимања графта пателе, уз инциденцу од 42%, иако најчешће без утицаја на функционални опоравак и укупни ниво активности или повратак на исти степен спортских перформанси (149). Већи рез носи теоретски повећан ризик од инфекције иако то није показано у клиничким студијама, са пријављеним стопама инфекције у распону од 0,1% до 0,3%. Интраоперативни и постоперативни прелом пателе услед поремећаја екстензорског механизма је ретка компликација код узимања графта пателе. Преломи се могу јавити после директне или индиректне трауме или као резултат физиолошке силе примењене на механички слабију пателу. На крају поједине студије су сугерисале да употреба графта пателе може бити повезана и са већим ризиком од

настанка остеоартритичних промена које се јављају 15 до 20 година након операције (149).

Са друге стране, хамстринг графтови се обично узимају кроз мали уздужни рез преко медијалне проксималне тибие. Најпре се идентификују инсерције semitendinosus-а и gracilis-а, а тетиве се узимају проксималним скидањем и одвајањем мишића. Будући да се овом приликом прави рез малих димензија, без додатне трауме екстензора, и да нема оштећења костију, морбидитет места донора је много мањи него у случају коришћења графта пателе. Биолошки посматрано, међутим, као чисто меко ткивно графт, одсуство коштаног чепа захтева тетивно-коштано зарастање и стварање фиброваскуларног ожиљног ткива. У контролисаним лабораторијским студијама, тетивно-коштано зарастање показало се као спорије од чисто коштаног зарастања. Додатно, велике студије су показале већу стопу поновне руптура након употребе хамстринг графта у поређењу са графтом пателе (150).

Осим раног неуспеха интервенције и малог пречника графта, постоји још неколико постоперативних отежавајућих околности приликом коришћења графта хамстринга. Морбидитет места донора односно слабост мишића хамстринга након узимања графта се може јавити, јер је показано да се максимални изокинетички момент смањује након употребе графта хамстринга у поређењу са графтом пателе пет година након хируршке интервенције (100). У светлу овог постоперативног губитка снаге мишића хамстринга, неки аутори препоручују избегавање коришћења овог графта код спортских дисциплина код којих се ови мишићи интензивно користе. Ипак, постоје и студије које сугеришу да нема разлике у постоперативној снази флексије колена након употребе графта хамстринга у поређењу са графтом пателе. Због тога су потребна будућа истраживања да би се у потпуности разјаснила вероватноћа постоперативне слабости хамстринга и улога програма рехабилитације у његовој превенцији (100).

Још један од проблема који се јављају приликом коришћења графта хамстринга је проширење тунела и могућа повезаност са повећаном постоперативном лабавошћу. Радиографски потврђено проширење тунела је било забележено чешће него након употребе графта пателе, како у краткорочном тако и у средњерочном периоду праћења, према наводима прегледних радова рандомизованих студија. Претпостављени механизам проширења канала су микропокрети графта, који су на основу резултата анималних модела најчешћи на улазу а најмање фреквентни на излазу из тунела. Техника фиксирања вероватно утиче на ове микропокрете графта. Тако се суспензорна фиксација повезује се већим ризиком од микропокретања графта на улазу у тунел, иако то тек треба доказати у великим студијама (100).

Многе студије су упоређивале клиничке исходе и стопе поновне руптуре након употребе графта пателе у поређењу са графтом хамстринга. Постоперативни исходи су слични, при чему оба графта пружају висок ниво задовољства пацијената (151). Осим тога, показало се да је временска инстанца до безбедног повратка на терен такође слично између ове две врсте графта. Међутим, постоји неколико исхода који се разликују након употребе графта пателе у поређењу са графтом хамстринга. Графт пателе је повезан са већом стабилности колена и што је важније, са 2-4 пута нижим ризиком од поновне повреде у односу на хамстринг графтове (151). Ова разлика у стопи ре-руптуре је посебно важна за младе спортисте који се баве контактним спортовима. Ипак, упркос нижем ризику од поновне повреде, графт пателе је повезан са већим антериорним болом у колену у односу на графт хамстринга. Осим тога,

повећан ризик од постоперативне слабости квадрицепса се чешће среће након узимања графта пателе (151).

У литератури постоје постоје две недавне студије са 15- и 20-годишњим праћењем које сугеришу да повећан ризик од поновне руптуре перзистира у раном и средњем постоперативном периоду. Занимљиво је да је у обе студије појава радиографски потврђеног остеоартритиса била чешћа након употребе графта пателе. Ипак, клинички значај овог налаз је нејасан будући да су сви функционални исходи били слични, без обзира на врсту употребљеног графта (151). Осим поменутих аутографтова у последње време се све више употребљава и графт пореклом тетиве quadriceps-a. Узимање овог графта се обично изводи путем предње горњег реза у нивоу тетиве дисталног квадрицепса при чему се користи централна трећина тетиве. У зависности од хируршке преференције коштани блок са површине пателе може се такође узети ради задржавања природног контакта између тетиве и кости. Предности употребе графта квадрицепса је већа површина попречног пресека графта, смањен ризик од болова у предњем делу колена, као и смањен ризик од прелома пателе у поређењу са графтом пателе (152).

Постоји неколико недавних клиничких компаративних студија које су истраживале исход након употребе графта квадрицепса у поређењу са другим аутографтовима који се користе у реконструкцији ACL-a. Проспективна рандомизирана студија открила је да у поређењу са графтом пателе, у 1- и 2-годишњем праћењу, није било разлике у исходима али је забележена мања инциденца бола на месту графта (153). Новија, нерандомизирана ретроспективна студија које је пратила исходе три године након реконструкције упоређивала је исходе употребе графта квадрицепса наспрам хамстринг графта. Добијени резултати сугеришу готово идентичне исходе уз побољшану стабилност након употребе аутографта тетиве квадрицепса. Слична недавна ретроспектива компаративна студија графта квадрицепса у поређењу са графтом хамстринга показала је да нема разлика у резултатима постоперативног исхода и повратку на ниво активности пре повреде (153).

Упркос великом броју студија и значајним напретцима у разумевању предности и недостатака различитих типова графтова, идеалног графта још увек нема, а што је још интересантније нема ни општеприхваћеног алгорита за индивидуални избор графта. У клиничком смислу, морају се узети у обзир сви фактори узимања и фиксације графтова о којима је било речи, као што су биомеханичка својства, присуство коштаног чепа, морбидитет места донора и доступност графта. Узевши у обзир литературу која проучава стопа неуспеха и клиничке исходе реконструкције, неколико кључних клиничких фактора треба размотрити приликом избора графта: године, жељена врста и ниво физичке активности, тип и врста спорта, позиција на којој играч игра, баријере у рехабилитацији и очекивања пацијената (151-153).

Генерално посматрано, приликом реконструкције ACL-a, пацијенти се могу сврстати у 3 главне категорије: осим професионалних спортиста, који су најважнија група са аспекта ове студије, првој категорији припадају и младе високо активне особе, другу чине рекреативци и активне особе, а трећу старији или мање активне особе. Сумарно анализирано, код реконструкције ACL-a у најмлађој, најактивнијој групи предлаже се да избор буде графт пателе, иако се последњих година графт квадрицепса намеће као све успешнија опција у истој категорији становништва. С обзиром да су графт пателе и алогографтови показали већу стопу неуспеха и повећану постоперативну

лабавост, ови графтови су зато мање идеални избори али се и даље често користе, посебно у ревизији или ако пацијент има већ постојећи бол у предњем делу колена (151-153). За пацијенте друге категорије који су млади умерено активни и не нужно професионални спортисти, графт избора је најчешће хамстринг графт. Овај графт је повезан са нижом стопом неуспеха и ревизије у поређењу са алографтовима, уз одсуство морбидитета места донора као у случају узимања графта пателе. Иако се може јавити лабавост одређеног степена у поређењу са графтом пателе, нејасно је да ли је ова разлика клинички релевантна. За старије, мање активне пацијенте, уколико неоперативно лечење не успе, графт избора остаје хамстринг графт (151-153).

Циљ овог истраживања био је да се квантификује и упореди опоравак мишићне снаге екстензора и флектора колена након реконструкције ACL-а, у зависности од типа графта (пателе или хамстринга) код врхунских фудбалера, који пролазе упоредиви шестомесечни програм рехабилитације. Резултати откривају да је снага екстензора колена повређене ноге скоро еквивалентна (графт пателе: 0%; графт хамстринга: 3%) супротној ноzi, независно од типа графта, шест месеци након реконструкције ACL-а. Специфично, умерено-велике асиметрије између повређене и неповређене ноге, у максималној снази екстензора колена три месеца након реконструкције, смањене су на тривијалне у шестом месецу, са разликом испод 10% код оба графта (графт пателе: 6%; графт хамстринга: 3%). Слично, умерено-велике асиметрије између повређене и неповређене ноге у максималној снази флектора колена, смањене су на тривијално-мале у шестом месецу код оба типа графта (графт пателе: 0%; графт хамстринга: 12%). Међутим, упркос тривијално-малим асиметријама између ногу у максималној снази флектора колена, у шестом месецу након реконструкције ACL-а, поређења између графтова откривају велику разлику у индексу симетричности, са инфериорнијим опоравком флектора у групи која је имала графт хамстринга у поређењу са графтом пателе.

Рационалност за употребу графта хамстринга и пателе заснована је чврстини ткива која се користе за реконструкцију ACL-а. Noyes et al. (154) утврдили су да графт пателе има приближну снагу 170% у поређењу са нетакнутим ACL-ом, док тетиве semitendinosus-а и gracilis-а одговарају снази од 70% и 49%, респективно. Удвостручавање тетиве повећава попречни пресек и требало би да удвостручи чврстину у средњем делу графта, под условом да је једнака напетост одржана дуж сваког крака удвострученог графта. Узимајући у обзир пад затезне чврстине лигамента након реконструкције услед некрозе и ревакуларизације, оба графта (пателе и хамстринга - semitendinosus и gracilis) требају да имају упоредиву чврстину са нормалним ACL-ом. Паралелено са развојем приступа у реконструкцији ACL-а дошло је и до развоја и напретка програма рехабилитације. Као резултат тога, прошириле су се дебате који од ова два графта има мањи морбидитет с обзиром на снагу. Налази овог истраживања допринели су развоју ове дебате на узорку врхунских фудбалера.

Поређења између трећег и шестог месеца открила су умерено побољшање максималне снаге екстензора колена повређене ноге. Такође, индекс симетричности удова био је изнад 90% код оба типа графта, шест месеци након реконструкције ACL-а. Поред индекса симетричности који је био изнад 90%, побољшање снаге екстензора колена даље је поткрепљено тривијалном асиметријом удова у обе групе. У складу са резултатима овог истраживања, неколико претходних студија (97, 101-103, 105-107) забележило је упоредив индекс симетричности quadriceps-а након реконструкције ACL-а применом графта пателе или хамстринга. На другу страну, поједина

истраживања су показала значајно нижи индекс симетричности quadriceps-a, у групи где је реконструкција ACL-a извршена коришћењем графта пателе у односу на графт хамстринга (17, 18, 20, 21). Претпоставља се да различити неуролошки фактори, као што су виши моторни праг, смањени моторички евоцирани потенцијали, пластичност мозга, абнормална екситабилност спиналних рефлексних и кортикоспиналних путева, и оштећени механорецептори, могу подстаћи продужену слабост екстензора колена која се јавља након реконструкције ACL-a применом графта пателе (155). Ипак, већина постојећих студија (97, 101-103, 105-107) и нови налази овог истраживања на узорку врхунских фудбалера, указују да су оба графта довољно и једнако ефективна у обнови мишићне снаге екстензора колена након реконструкције ACL-a. Међутим, треба бити опрезан у директним поређењима, с обзиром на разлике у временским интервалима када су вршена тестирања мишићне снаге након реконструкције ACL-a [6 месеци (106), 9 месеци (101), 11 месеци (97), 12 месеци (107), 28 месеци (103), 29 месеци (102) и 36 месеци (105)] као и у угаоним брзинама које су биле коришћене приликом изокинетичког тестирања (60°s^{-1} (102, 103, 105, 107), 90°s^{-1} (17), 120°s^{-1} (101), 180°s^{-1} (97, 106) и 300°s^{-1} (97, 105, 106)]. Прецизније, дужи период рехабилитације пре тестирања може омогућити пацијентима бољу обнову мишићне снаге, независно од типа графта. Поред тога, виша угаона брзина може показати већи дефицит мишићне снаге због значајне активности мишићних влакана типа II (100), која показују израженију атрофију у односу на мишићна влакна типа I након реконструкције ACL-a (156). Индекс симетричности екстензора колена, који је забележен у овом истраживању, показује да период од шест месеци може бити довољан за адекватну обнову мишићне снаге quadriceps-a применом одговарајућег програма рехабилитације код врхунских фудбалера, независно од типа графта који се користи за реконструкцију ACL-a. С тим у вези, решавање асиметрије снаге quadriceps-a између удова може бити важно за фудбалере, јер се показало да она варира у зависности од нивоа игре (89) и негативно корелира са брзином промене правца и спринтом (157), што су неизоставни сегменти који утичу на успех у игри (158).

Поред обнове мишићне снаге екстензора колена, у овом истраживању забележена су умерено-велика побољшања мишићне снаге флексора колена повређене ноге, између трећег и шестог месеца. Међутим, еквивалентна снага флексора колена између удова достигнута је само код графта пателе, док је дефицит од 12% забележен на повређеној нози код хамстринг графта у шестом месецу. Слично налазима овог истраживања, поједине студије су забележиле већу асиметрију између удова у мишићној снази флексора колена код опште популације (96), рекреативно активних пацијената (97), и непрофесионалних спортиста (101, 102) који су имали реконструкцију ACL-a коришћењем графта хамстринга у поређењу са графтом пателе, у различитим временским интервалима након операције (i.e., 5–24 месеци) и при различитим угаоним брзинама (i.e., 60°s^{-1} – 300°s^{-1}). Супротно наведеним студијама, поједина истраживања су забележила упоредиви индекс симетричности флексора колена између графта хамстринга и пателе код рекреативно активних пацијената (98), неспортиста (100), спортиста који се не такмиче на професионалном нивоу (103), војних кадета (105) и различито активних пацијента (106) у различитим временским интервалима након реконструкције (i.e., 5–11 месеци) и применом различитих угаоних брзина у процени снаге (60°s^{-1} – 300°s^{-1}). Међутим, упркос упоредивом индексу симетричности мишићне снаге флексора колена између графтова након реконструкције (19, 21, 24, 26, 27), у ниједној од ових студија није достигнут препоручени ниво опоравка, тј. индекс симетричности хамстринга $>90\%$ у шестом месецу рехабилитације након реконструкције ACL-a коришћењем графта хамстринга. С тим у вези, дефицит

мишићне снаге код графта хамстринга, у односу на графт пателе, доследно пријављен на узорку различитих пацијената, може бити делимично приписан хроничној неуромишићној инхибицији мишића донора (92), спором регенеративном капацитету тетива *semitendinosus*-а и *gracilis*-а (12–24 месеца након операције) (96, 159) и споријем зарастању тетиве-до-кости (у поређењу са тунелом кост-до-кости, који је евидентан код графта пателе) (160). Иако је скоро прихватљива асиметрија мишићне снаге флектора колена од 12% достигнута у групи са графтом хамстринга, очигледне разлике у опоравку између графтова указују да клиничари и физиотерапеути треба да усмере више пажње ка вежбама задње ложе, специфично циљајући активност *semitendinosus*-а и *gracilis*-а код играча са графтом хамстринга.

Поред индекса симетричности, конвенционални однос максималне мишићне снаге екстензора и флектора колена широко је коришћен за скрининг појединаца, који су изложени ризику за повреду ACL-а, при чему је смањена снага флектора у односу на екстензоре идентификована као ризичан фактор за повреду ACL-а код спортиста (161). С тим у вези, доминантност екстензора може повећати предњу транслацију голењаче и оптерећење ACL-а, док супротно, истовремена коактивација флектора обезбеђује динамичку стабилизацију зглоба, која штити колено током различитих такмичарских захтева (162). Односи максималне мишићне снаге флектора и екстензора, које смо забележили за оба графта, унутар су нормативног опсега (0.5 to 0.8), који је пријављен код професионалних фудбалера (163). Такође, подаци прикупљени у овом истраживању показују да разлике између трећег и шестог месеца, повређене и неповређене ноге и између графтова, нису статистички значајне. Непостојање статистички значајне разлике, у односу максималне мишићне снаге хамстринга и *quadriceps*-а између трећег и шестог месеца, може се објаснити паралелним побољшањем снаге обе мишићне групе. Паралелно побољшање мишићне снаге флектора и екстензора колена током рехабилитационог периода, може бити очекивано с обзиром на изражену мишићну атрофију, која се јавља након реконструкције, без обзира на тип графта који се користи, што је доказано ниским индексом симетричности удова забележеним у трећем месецу у односу на шести месец. Имајући у виду нарушену мишићну снагу код оба типа графта, резултати истраживања показују слично побољшање односа максималне снаге екстензора и флектора колена код оба типа графта. Штавише, однос максималне снаге хамстринга и *quadriceps*-а није се разликовао између повређене и неповређене ноге у шестом месецу, што је један од прихватљивих критеријума, поред адекватне симетричности мишићне снаге, за повратак играча на тренинг и такмичење (164).

Важно је напоменути и ограничења овог истраживања приликом интерпретирања резултата. Прво, рано тестирање мишићне снаге одмах након операције и током дужег временског периода (> 6 месеци) није спроведено, што може бити важно за боље разумевање утицаја типа графта на опоравак мишићне снаге и процену спремности играча за повратак у тренинг и такмичење. Друго, додатна функционална мерења, поред мишићне снаге, нису спроведена у овом истраживању. Дакле, процена лакситета лигамента (105), скокови на једној ноzi (164), као и стопа развоја силе у затвореном и отвореном кинетичком ланцу (91, 122), требају се узети у обзир у комбинацији са тестовима снаге, како би се указало на комплетан функционални опоравак и утврдила спремност за повратак у игру. Треће, иако је процена мишићне снаге извршена у концентрично-концентричном режиму, како би се превенирало истегнуће мишића, треба напоменути да се повреде ACL код фудбалера могу јавити када је *quadriceps* у ексцентричној контракцији (165), што указује на

потенцијалну важност процене ексцентричне снаге током рехабилитације (166). Четврто, иако су фудбалери били упоредиви у погледу година старости, телесне висине, телесне масе, нивоа такмичења и нивоа активности пре повреде, ово истраживање није имало рандомизирани дизајн. Пето, постоперативни период није јасно дефинисан у претходним студијама, што ограничава директна поређења између студија, јер осим јасних разлика у узрокованој популацији, диспаритети, као што је примена или одсуство електростимулације, спровођење програма под надзором или без, могу такође утицати на крајњи исход опоравка.

Будуће студије су потребне како би испитале ефекат програма превенције на учесталост повреде ACL-а врхунских фудбалера. У последње две деценије, програм FIFA 11+ (илустрација 16) је учестало имплементиран на узорку колеџ спортиста и младих фудбалера (167). Ради се о мултикомпонентном програму који укључује вежбе истезања, баланса, снаге, агилности, скокове и трчање. С обзиром на више такмичарске захтеве са повећањем нивоа такмичења потребне су студије на врхунском узорку. Такође, поређења између аутографта и алогографта, као и преосталих оперативних техника могу пружити важне налазе у погледу приступа који треба применити убудуће на овом узорку.

The 11+

PART 1 RUNNING EXERCISES · 8 MINUTES

<p>1 RUNNING STRAIGHT AHEAD</p> <p>The course is made up of 4 to 10 pairs of parallel cones, approx. 5-6 m apart. Two players start at the same time from the first pair of cones. Jog together all the way to the last pair of cones. On the way back, you can increase your speed progressively as you warm up. 2 sets</p>	<p>2 RUNNING HIP OUT</p> <p>Walk or jog easily, stepping each pair of cones to lift your knee and rotate your hip upwards. Alternate between left and right legs at successive cones. 2 sets</p>	<p>3 RUNNING HIP IN</p> <p>Walk or jog easily, stepping each pair of cones to lift your knee and rotate your hip downwards. Alternate between left and right legs at successive cones. 2 sets</p>
<p>4 RUNNING CIRCLING PARTNER</p> <p>Run forwards as a pair to the first set of cones. Shuffle sideways by 90 degrees to meet in the middle. Shuffle in an anticlockwise circle one after another and then return back to the cones. Repeat for each pair of cones. Remember to stay on your toes and keep your centre of gravity low by bending your hips and knees. 2 sets</p>	<p>5 RUNNING SHOULDER CONTACT</p> <p>Run forwards in pairs to the first pair of cones. Shuffle sideways by 90 degrees to meet in the middle then jump sideways towards each other to make shoulder-to-shoulder contact. Have 10-15 cones laid on both feet with your hips and knees bent. Do not let your knees buckle inwards. Make it a full jump and synchronize your timing with your team-mate as you jump and land. 2 sets</p>	<p>6 RUNNING QUICK FORWARDS & BACKWARDS</p> <p>As a pair, run quickly to the second set of cones from run backwards rapidly to the first pair of cones, keeping your hips and knees slightly bent. Keep repeating the drill, running first cones forwards and then back backwards. Remember to relax and, quick steps. 2 sets</p>

PART 2 STRENGTH · PLYOMETRICS · BALANCE · 10 MINUTES

<p>LEVEL 1</p> <p>7 THE BENCH STATIC</p> <p>Starting position: Lie on your front, supporting yourself on your forearms and feet. Your elbows should be directly under your shoulders. Exercise: Lift your body up, supported on your forearms, pull your stomach in, and hold the position for 20-30 sec. Your body should be in a straight line. Try not to sway or arch your back. 3 sets</p>	<p>LEVEL 2</p> <p>7 THE BENCH ALTERNATE LEGS</p> <p>Starting position: Lie on your front, supporting yourself on your forearms and feet. Your elbows should be directly under your shoulders. Exercise: Lift your body up, supported on your forearms, and pull your stomach in. Lift each leg in turn, holding for a count of 2 sec. Continue for 30-30 sec. Your body should be in a straight line. Try not to sway or arch your back. 3 sets</p>	<p>LEVEL 3</p> <p>7 THE BENCH ONE LEG LIFT AND HOLD</p> <p>Starting position: Lie on your front, supporting yourself on your forearms and feet. Your elbows should be directly under your shoulders. Exercise: Lift your body up, supported on your forearms, and pull your stomach in. Lift one leg about 10-15 cm off the ground, and hold the position for 20-30 sec. Your body should be straight. 30 sec for your opposite hip down and do not sway or arch your lower back. Take a short break, change legs and repeat. 3 sets</p>
<p>8 SIDWAYS BENCH STATIC</p> <p>Starting position: Lie on your side with the knee of your lower leg bent to 90 degrees. Support your upper body by resting on your forearm and knee. The elbow of your supporting arm should be directly under your shoulder. Lift your opposite leg, parallel to your shoulder, to a 90-degree angle in a straight line. Hold the position for 20-30 sec. Take a short break, change sides and repeat. 3 sets on each side.</p>	<p>8 SIDWAYS BENCH RAISE & LOWER HIP</p> <p>Starting position: Lie on your side with both legs straight. Lean on your forearm and the side of your foot so that your body is in a straight line from shoulder to foot. The elbow of your supporting arm should be directly under your shoulder. Exercise: Lower your hips to the ground and raise them back up again. Repeat for 20-30 sec. Take a short break, change sides and repeat. 3 sets on each side.</p>	<p>8 SIDWAYS BENCH WITH LEG LIFT</p> <p>Starting position: Lie on your side with both legs straight. Lean on your forearm and the side of your foot so that your body is in a straight line from shoulder to foot. The elbow of your supporting arm should be directly under your shoulder. Exercise: Lift your supporting leg up and slowly lower it down again. Repeat for 20-30 sec. Take a short break, change sides and repeat. 3 sets on each side.</p>
<p>9 HAMSTRINGS BEGINNER</p> <p>Starting position: Kneel on a soft surface. Ask your partner to hold your ankles down firmly. Exercise: Your body should be completely straight from the shoulder to the knee throughout the exercise. Lean forward as far as you can, controlling the movement with your hamstring and your gluteal muscles. When you can no longer hold the position, gently take your weight on your hands, falling into a push-up position. Complete a minimum of 3-5 repetitions and/or 60 sec. 1 set</p>	<p>9 HAMSTRINGS INTERMEDIATE</p> <p>Starting position: Kneel on a soft surface. Ask your partner to hold your ankles down firmly. Exercise: Your body should be completely straight from the shoulder to the knee throughout the exercise. Lean forward as far as you can, controlling the movement with your hamstring and your gluteal muscles. When you can no longer hold the position, gently take your weight on your hands, falling into a push-up position. Complete a minimum of 7-10 repetitions and/or 60 sec. 1 set</p>	<p>9 HAMSTRINGS ADVANCED</p> <p>Starting position: Kneel on a soft surface. Ask your partner to hold your ankles down firmly. Exercise: Your body should be completely straight from the shoulder to the knee throughout the exercise. Lean forward as far as you can, controlling the movement with your hamstring and your gluteal muscles. When you can no longer hold the position, gently take your weight on your hands, falling into a push-up position. Complete a minimum of 12-15 repetitions and/or 60 sec. 1 set</p>
<p>10 SINGLE-LEG STANCE HOLD THE BALL</p> <p>Starting position: Stand on one leg. Exercise: Balance on one leg whilst holding the ball with both hands. Keep your body weight on the ball of your foot. Remember: try not to let your knees buckle inwards. Hold for 30 sec. Change legs and repeat. The exercise can be made more difficult by passing the ball around your waist and/or under your other knee. 2 sets</p>	<p>10 SINGLE-LEG STANCE THROWING BALL WITH PARTNER</p> <p>Starting position: Stand 2-3 m apart from your partner, with each of you standing on one leg. Exercise: Keeping your balance, and with your stomach held in, throw the ball to one another. Keep your weight on the ball of your foot. Remember: keep your knees just slightly bent and try not to let it buckle inwards. Keep going for 30 sec. Change legs and repeat. 2 sets</p>	<p>10 SINGLE-LEG STANCE TEST YOUR PARTNER</p> <p>Starting position: Stand on one leg opposite your partner and at arm's length apart. Exercise: Whilst you both try to keep your balance, each of you in turn tries to push the other off balance in different directions. Try to keep your weight on the ball of your foot and prevent your knee from buckling inwards. Continue for 30 sec. Change legs and repeat. 2 sets</p>
<p>11 SQUATS WITH TOE RAISE</p> <p>Starting position: Stand with your feet hip-width apart. Place your hands on your hips if you like. Exercise: Imagine that you are about to sit down on a chair. Perform squats by bending your hips and knees to 90 degrees. Do not let your knees buckle inwards. Descend slowly then ascend up more quickly. When your legs are completely straight, stand up on your toes then slowly lower down again. Repeat the exercise for 30 sec. 2 sets</p>	<p>11 SQUATS WALKING LUNGES</p> <p>Starting position: Stand with your feet at hip-width apart. Place your hands on your hips if you like. Exercise: Lunge forward slowly at an even pace. As you lunge, bend your leading leg until your hip and knee are flexed to 90 degrees. Do not let your knee buckle inwards. Try to keep your upper body and hips steady. Lunge your way across the pitch (approx. 10 times on each leg) and then jog back. 2 sets</p>	<p>11 SQUATS ONE-LEG SQUATS</p> <p>Starting position: Stand on one leg, loosely holding onto your partner. Exercise: Slowly bend your knee as far as you can manage. Concentrate on preventing the knee from buckling inwards. Bend your knee slowly then straighten it slightly more quickly. Keeping your hips and upper body in line. Repeat the exercise 10 times on each leg. 2 sets</p>
<p>12 JUMPING VERTICAL JUMPS</p> <p>Starting position: Stand with your feet hip-width apart. Place your hands on your hips if you like. Exercise: Imagine that you are about to sit down on a chair. Bend your legs slowly until your knees are flexed to approx. 90 degrees, and hold for 2 sec. Do not let your knees buckle inwards. From this position, jump up as high as you can. Land softly on the balls of your feet with your hips and knees slightly bent. Repeat the exercise for 30 sec. 3 sets</p>	<p>12 JUMPING LATERAL JUMPS</p> <p>Starting position: Stand on one leg with your upper body bent slightly forward from the waist, with knees and hips slightly bent. Exercise: Jump approx. 1 m sideways from the supporting leg on to the free leg. Land gently on the ball of your foot. Bend your hip and knees slightly as you land and do not let your knee buckle inward. Fall into your balance with each jump. Repeat the exercise for 30 sec. 2 sets</p>	<p>12 JUMPING BOX JUMPS</p> <p>Starting position: Stand with your feet hip-width apart. Imagine that there is a cross marked on the ground and you are standing in the middle of it. Exercise: Alternate between jumping forwards and backwards, from side to side, and diagonally across the cross. Jump as quickly and explosively as possible. Your knees and hips should be slightly bent. Land softly on the balls of your feet. Do not let your knees buckle inwards. Repeat the exercise for 30 sec. 2 sets</p>

PART 3 RUNNING EXERCISES · 2 MINUTES

<p>13 RUNNING ACROSS THE PITCH</p> <p>Run across the pitch, from one side to the other, at 75-80% maximum pace. 2 sets</p>	<p>14 RUNNING BOUNDING</p> <p>Run with high bounding steps with a high knee lift, landing gently on the ball of your foot. Use an exaggerated arm swing for each step. Opposite arm and leg. Try not to let your leading leg cross the middle of your body or let your knee buckle inwards. Repeat the exercise until you reach the other side of the pitch, then jog back to recover. 2 sets</p>	<p>15 RUNNING PLANT & CUT</p> <p>Jog 4-5 steps, then plant on the outside leg and cut to change direction. Accelerate and sprint 5-7 steps at high speed (85-90% maximum pace) before you decelerate and do a new plant. Etc. Do not let your knee buckle inwards. Repeat the exercise until you reach the other side, then jog back. 2 sets</p>
---	--	---



Илустрација 16. Програм превенције FIFA 11+ (доступно без ограничења на extranet.fifa.com/medical)

ЗАКЉУЧАК



Резултати овог истраживања показали су побољшање мишићне снаге екстензора и флексора колена, индекса симетричности удова (асиметрија мишићне снаге екстензора колена: графт пателе = 6%, графт хамстринга = 3%, асиметрија мишићне снаге флексора колена: графт пателе = 0%, графт хамстринга = 12%), као и односа хамстринга и *quadriceps-a* код оба типа графта након шестомесечног рехабилитационог програма. С обзиром на то да је рехабилитациони програм био мање ефикасан у обнови мишићне снаге флексора колена код фудбалера са реконструкцијом ACL-а применом графта хамстринга, кондициони тренери и физиотерапеути, који раде са фудбалерима са овим типом графта, треба да се фокусирају на вежбе за јачање задње ложе, како би се обезбедила оптимална обнова мишићне снаге, у одговарајућем временском оквиру за потпуни повратак игри. Узимајући у обзир да је ово прва студија која је разматрала опоравак мишићне снаге у односу на тип графта код врхунских фудбалера, добијени подаци могу помоћи у информисању клиничара, који раде са овом популацијом о очекиваним исходима опоравка између трећег и шестог месеца.

Хипотеза „Асиметрија мишићне снаге екстензора и флексора колена између повређене и неповређене ноге биће неутралисана након шестомесечног постоперативног периода, независно од типа графта” **може се делимично прихватити**, јер је асиметрија мишићне снаге екстензора колена била неутралисана у обе групе, док је група са графтом хамстринга имала дефицит мишићне снаге флексора колена од 12% након шестомесечног програма рехабилитације.

Подхипотезе:

- Подхипотеза „Неће постојати значајна разлика у мишићној снази екстензора и флексора колена између повређене и неповређене ноге након шестомесечног постоперативног периода код врхунских фудбалера, који су имали реконструкцију ACL-а, применом графта пателе” **може се у потпуности прихватити** јер је забележена *тривијална* разлика између удова, без статистичке значајности.
- Подхипотеза „Неће постојати значајна разлика у мишићној снази екстензора и флексора колена између повређене и неповређене ноге након шестомесечног постоперативног периода код врхунских фудбалера, који су имали реконструкцију ACL-а, применом графта хамстринга” **може се делимично прихватити**, јер је у мишићној снази екстензора забележена *тривијална* разлика између удова, без статистичке значајности, док је разлика у снази флексора између удова сведена на значајно *малу* (12%).
- Подхипотеза „Неће постојати значајна разлика у мишићној снази екстензора и флексора колена након шестомесечног постоперативног периода између врхунских фудбалера, који су имали реконструкцију ACL-а, применом графта пателе и применом графта хамстринга” **може се делимично прихватити** јер је разлика у мишићној снази екстензора према типу графта сведена на *тривијалну*, док је разлика у мишићној снази флексора била *велика* након шестомесечног постоперативног периода, са инфериорнијим опоравком евидентним код фудбалера са графтом хамстринга.

ЛИТЕРАТУРА



1. Scott WN. Ligament and extensor mechanism injuries of the knee: Diagnosis and treatment: Mosby Incorporated; 1991.
2. Aithal Padur A, Kumar N, Lewis MG, Sekaran VC. Morphometric analysis of patella and patellar ligament: a cadaveric study to aid patellar tendon grafts. *Surgical and Radiologic Anatomy*. 2021;43:2039-46.
3. Juneja P, Hubbard JB. Anatomy, bony pelvis and lower limb, knee medial collateral ligament. Treasure Island: StatPearls; 2019.
4. Sprouse RA, McLaughlin AM, Harris GD. Braces and splints for common musculoskeletal conditions. *American Family Physician*. 2018;98(10):570-6.
5. Tadlock BA, Pierpoint LA, Covassin T, Caswell SV, Lincoln AE, Kerr ZY. Epidemiology of knee internal derangement injuries in United States high school girls' lacrosse, 2008/09-2016/17 academic years. *Research in Sports Medicine*. 2019;27(4):497-508.
6. Girgis FG, Marshall JL, Monajem A. The cruciate ligaments of the knee joint: anatomical. functional and experimental analysis. *Clinical Orthopaedics and Related Research®*. 1975;106:216-31.
7. Amis AA, Jakob RP. Anterior cruciate ligament graft positioning, tensioning and twisting. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 1998;6:S2-S12.
8. Amiel D, Abel MF, Kleiner JB, Lieber RL, Akeson WH. Synovial fluid nutrient delivery in the diarthral joint: an analysis of rabbit knee ligaments. *Journal of Orthopaedic Research*. 1986;4(1):90-5.
9. Amiel D, Billings Jr E, Harwood F. Collagenase activity in anterior cruciate ligament: protective role of the synovial sheath. *Journal of Applied Physiology*. 1990;69(3):902-6.
10. Mérida-Velasco JA, Sánchez-Montesinos I, Espín-Ferra J, Mérida-Velasco JR, Rodríguez-Vázquez JF, Jiménez-Collado J. Development of the human knee joint ligaments. *The Anatomical Record: An Official Publication of the American Association of Anatomists*. 1997;248(2):259-68.
11. Kennedy JC, Alexander IJ, Hayes KC. Nerve supply of the human knee and its functional importance. *The American Journal of Sports Medicine*. 1982;10(6):329-35.
12. Scanlon VC, Sanders T. Essentials of anatomy and physiology. Philadelphia: FA Davis Company; 2006.
13. Fleming BC, Renstrom PA, Ohlen G, Johnson RJ, Peura GD, Beynnon BD, et al. The gastrocnemius muscle is an antagonist of the anterior cruciate ligament. *Journal of Orthopaedic Research*. 2001;19(6):1178-84.
14. Myers CA, Torry MR, Shelburne KB, Giphart JE, LaPrade RF, Woo SL, et al. In vivo tibiofemoral kinematics during 4 functional tasks of increasing demand using biplane fluoroscopy. *The American Journal of Sports Medicine*. 2012;40(1):170-8.
15. Maniar N, Schache AG, Cole MH, Opar DA. Lower-limb muscle function during sidestep cutting. *Journal of Biomechanics*. 2019;82:186-92.
16. Maniar N, Schache AG, Pizzolato C, Opar DA. Muscle contributions to tibiofemoral shear forces and valgus and rotational joint moments during single leg drop landing. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2020;30(9):1664-74.
17. Protopapadaki A, Drechsler WI, Cramp MC, Coutts FJ, Scott OM. Hip, knee, ankle kinematics and kinetics during stair ascent and descent in healthy young individuals. *Clinical Biomechanics*. 2007;22(2):203-10.
18. Maniar N, Cole MH, Bryant AL, Opar DA. Muscle force contributions to anterior cruciate ligament loading. *Sports Medicine*. 2022;52(8):1737-50.

19. Waldén M, Krosshaug T, Børneboe J, Andersen TE, Faul O, Hägglund M. Three distinct mechanisms predominate in non-contact anterior cruciate ligament injuries in male professional football players: a systematic video analysis of 39 cases. *British Journal of Sports Medicine*. 2015;49(22):1452-60.
20. Faunø P, Jakobsen BW. Mechanism of anterior cruciate ligament injuries in soccer. *International Journal of Sports Medicine*. 2005;75-9.
21. Boden BP, Dean GS, Feagin JA, Garrett WE. Mechanisms of anterior cruciate ligament injury. *Orthopedics*. 2000;23(6):573-8.
22. Markolf KL, Burchfield DM, Shapiro MM, Shepard MF, Finerman GA, Slaughterbeck JL. Combined knee loading states that generate high anterior cruciate ligament forces. *Journal of Orthopaedic Research*. 1995;13(6):930-5.
23. Oh YK, Lipps DB, Ashton-Miller JA, Wojtys EM. What strains the anterior cruciate ligament during a pivot landing? *The American Journal of Sports Medicine*. 2012;40(3):574-83.
24. Waldén M, Hägglund M, Magnusson H, Ekstrand J. Anterior cruciate ligament injury in elite football: a prospective three-cohort study. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2011;19(1):11-9.
25. Shin CS, Chaudhari AM, Andriacchi TP. Valgus plus internal rotation moments increase anterior cruciate ligament strain more than either alone. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2011;43(8):1484-91.
26. Fleming BC, Renstrom PA, Beynon BD, Engstrom B, Peura GD, Badger GJ, et al. The effect of weightbearing and external loading on anterior cruciate ligament strain. *Journal of Biomechanics*. 2001;34(2):163-70.
27. Kiapour A, Murray M. Basic science of anterior cruciate ligament injury and repair. *Bone and Joint Research*. 2014;3(2):20-31.
28. Quisquater L, Bollars P, Vanlommel L, Claes S, Corten K, Bellemans J. The incidence of knee and anterior cruciate ligament injuries over one decade in the Belgian Soccer League. *Acta Orthopaedica Belgica*. 2013;79(5):541-6.
29. Roos H, Ornell M, Gärdsell P, Lohmander L, Lindstrand A. Soccer after anterior cruciate ligament injury—an incompatible combination? A national survey of incidence and risk factors and a 7-year follow-up of 310 players. *Acta Orthopaedica Scandinavica*. 1995;66(2):107-12.
30. Prodromos CC, Han Y, Rogowski J, Joyce B, Shi K. A meta-analysis of the incidence of anterior cruciate ligament tears as a function of gender, sport, and a knee injury–reduction regimen. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*. 2007;23(12):1320-5.e6.
31. Söderman K, Werner S, Pietilä T, Engström B, Alfredson H. Balance board training: prevention of traumatic injuries of the lower extremities in female soccer players? A prospective randomized intervention study. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2000;8:356-63.
32. Alentorn-Geli E, Myer GD, Silvers HJ, Samitier G, Romero D, Lázaro-Haro C, et al. Prevention of non-contact anterior cruciate ligament injuries in soccer players. Part 1: Mechanisms of injury and underlying risk factors. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2009;17:705-29.
33. Yu B, Garrett WE. Mechanisms of non-contact ACL injuries. *British Journal of Sports Medicine*. 2007;41(suppl 1):i47-i51.
34. Şenişik S, Özgürbüz C, Ergün M, Yüksel O, Taskiran E, İşlegen Ç, et al. Posterior tibial slope as a risk factor for anterior cruciate ligament rupture in soccer players. *Journal of Sports Science & Medicine*. 2011;10(4):763-767.

35. Withrow TJ, Huston LJ, Wojtys EM, Ashton-Miller JA. Effect of varying hamstring tension on anterior cruciate ligament strain during in vitro impulsive knee flexion and compression loading. *The Journal of Bone and Joint Surgery American*. 2008;90(4):815-823.
36. Chappell JD, Creighton RA, Giuliani C, Yu B, Garrett WE. Kinematics and electromyography of landing preparation in vertical stop-jump: risks for noncontact anterior cruciate ligament injury. *The American Journal of Sports Medicine*. 2007;35(2):235-41.
37. Hewett TE, Stroupe AL, Nance TA, Noyes FR. Plyometric training in female athletes: decreased impact forces and increased hamstring torques. *The American Journal of Sports Medicine*. 1996;24(6):765-73.
38. Kostov H, Arsovski O, Kostova E, Nikolov V. Diagnostic assessment in anterior cruciate ligament (ACL) tears. *Pril (Makedon Akad Nauk Umet Odd Med Nauki)*. 2014;35(1):209-18.
39. Navali AM, Bazavar M, Mohseni MA, Safari B, Tabrizi A. Arthroscopic evaluation of the accuracy of clinical examination versus MRI in diagnosing meniscus tears and cruciate ligament ruptures. *Archives of Iranian Medicine*. 2013;16(4):229-32.
40. Brady MP, Weiss W. Clinical diagnostic tests versus MRI diagnosis of ACL tears. *Journal of Sport Rehabilitation*. 2018;27(6):596-600.
41. Benjaminse A, Gokeler A, van der Schans CP. Clinical diagnosis of an anterior cruciate ligament rupture: a meta-analysis. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*. 2006;36(5):267-88.
42. Scholten R, Opstelten W, Van Der Plas CG, Bijl D, Deville W, Bouter LM. Accuracy of physical diagnostic tests for assessing ruptures of the anterior cruciate ligament: a meta-analysis. *Journal of Family Practice*. 2003;52(9):689-96.
43. Müller W. *Das Knie: Form, Funktion und ligamentäre Wiederherstellungschirurgie*: Springer-Verlag; 2013.
44. Rosenberg T, Rasmussen G. The function of the anterior cruciate ligament during anterior drawer and Lachman's testing: An in vivo analysis in normal knees. *The American Journal of Sports Medicine*. 1984;12(4):318-22.
45. Donaldson WF, Warren RF, Wickiewicz T. A comparison of acute anterior cruciate ligament examinations: initial versus examination under anesthesia. *The American Journal of Sports Medicine*. 1985;13(1):5-10.
46. Torg JS, Conrad W, Kalen V. Clinical I diagnosis of anterior cruciate ligament instability in the athlete. *The American Journal of Sports Medicine*. 1976;4(2):84-93.
47. Goerner FL, Clarke GD. Measuring signal-to-noise ratio in partially parallel imaging MRI. *Medical Physics*. 2011;38(9):5049-57.
48. Vaz CES, Camargo OPd, Santana Pjd, Valezi AC. Accuracy of magnetic resonance in identifying traumatic intraarticular knee lesions. *Clinics*. 2005;60:445-50.
49. Siddiqui MA, Ahmad I, Sabir AB, Ullah E, Rizvi S, Rizvi S. Clinical examination vs. MRI: evaluation of diagnostic accuracy in detecting ACL and meniscal injuries in comparison to arthroscopy. *Polish Orthopedics and Traumatology*. 2013;78:59-63.
50. Khodae M, Mathern SA. *Soccer. Sports-related fractures, dislocations and trauma*: Springer Cham; 2020. p. 951-3.
51. Della Villa F, Buckthorpe M, Grassi A, Nabiuzzi A, Tosarelli F, Zaffagnini S, et al. Systematic video analysis of ACL injuries in professional male football (soccer): injury mechanisms, situational patterns and biomechanics study on 134 consecutive cases. *British Journal of Sports Medicine*. 2020;54(23):1423-32.

52. Schiffner E, Latz D, Grassmann JP, Schek A, Thelen S, Windolf J, et al. Anterior cruciate ligament ruptures in German elite soccer players: epidemiology, mechanisms, and return to play. *The Knee*. 2018;25(2):219-25.
53. Grassi A, Macchiarola L, Filippini M, Lucidi GA, Della Villa F, Zaffagnini S. Epidemiology of anterior cruciate ligament injury in Italian first division soccer players. *Sports Health*. 2020;12(3):279-88.
54. Herrington L, Ghulam H, Comfort P. Quadriceps strength and functional performance after anterior cruciate ligament reconstruction in professional soccer players at time of return to sport. *The Journal of Strength and Conditioning Research*. 2021;35(3):769-75.
55. Nagelli CV, Cook JL, Kuroki K, Bozynski C, Ma R, Hewett TE. Does anterior cruciate ligament innervation matter for joint function and development of osteoarthritis? *The Journal of Knee Surgery*. 2017;30(04):364-71.
56. Mehl J, Otto A, Baldino JB, Achtnich A, Akoto R, Imhoff AB, et al. The ACL-deficient knee and the prevalence of meniscus and cartilage lesions: a systematic review and meta-analysis (CRD42017076897). *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*. 2019;139(6):819-41.
57. Condello V, Zdanowicz U, Di Matteo B, Spalding T, Gelber P, Adravanti P, et al. Allograft tendons are a safe and effective option for revision ACL reconstruction: a clinical review. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2019;27(6):1771-81.
58. Lin KM, Boyle C, Marom N, Marx RG. Graft selection in anterior cruciate ligament reconstruction. *Sports Medicine and Arthroscopy Review*. 2020;28(2):41-8.
59. Feller JA, Webster KE. A randomized comparison of patellar tendon and hamstring tendon anterior cruciate ligament reconstruction. *The American Journal of Sports Medicine*. 2003;31(4):564-73.
60. Harput G, Kilinc HE, Ozer H, Baltaci G, Mattacola CG. Quadriceps and hamstring strength recovery during early neuromuscular rehabilitation after ACL hamstring-tendon autograft reconstruction. *Journal of Sport Rehabilitation*. 2015;24(4):398-404.
61. Harput G, Tunay VB, Ithurburn MP. Quadriceps and hamstring strength symmetry after anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective study. *Journal of Sport Rehabilitation*. 2020;30(1):1-8.
62. Bogunovic L, Matava MJ. Operative and nonoperative treatment options for ACL tears in the adult patient: a conceptual review. *The Physician and Sportsmedicine*. 2013;41(4):33-40.
63. Herrington L, Fowler E. A systematic literature review to investigate if we identify those patients who can cope with anterior cruciate ligament deficiency. *The Knee*. 2006;13(4):260-5.
64. Strehl A, Eggli S. The value of conservative treatment in ruptures of the anterior cruciate ligament (ACL). *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*. 2007;62(5):1159-62.
65. Buss DD, Min R, Skyhar M, Galinat B, Warren RF, Wickiewicz TL. Nonoperative treatment of acute anterior cruciate ligament injuries in a selected group of patients. *The American Journal of Sports Medicine*. 1995;23(2):160-5.
66. Williams Jr JS, Bach Jr BR. Operative and nonoperative rehabilitation of the ACL-injured knee. *Sports Medicine and Arthroscopy Review*. 1996;4(1):69.
67. Beynon BD, Fleming BC, Churchill DL, Brown D. The effect of anterior cruciate ligament deficiency and functional bracing on translation of the tibia relative to the

- femur during nonweightbearing and weightbearing. *The American Journal of Sports Medicine*. 2003;31(1):99-105.
68. Wojtys EM, Kothari SU, Huston LJ. Anterior cruciate ligament functional brace use in sports. *The American Journal of Sports Medicine*. 1996;24(4):539-46.
69. Nebelung W, Wuschech H. Thirty-five years of follow-up of anterior cruciate ligament—deficient knees in high-level athletes. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*. 2005;21(6):696-702.
70. Muaidi QI, Nicholson LL, Refshauge KM, Herbert RD, Maher CG. Prognosis of conservatively managed anterior cruciate ligament injury: a systematic review. *Sports Medicine*. 2007;37:703-16.
71. Andersson C, Odensten M, Gillquist J. Knee function after surgical or nonsurgical treatment of acute rupture of the anterior cruciate ligament: a randomized study with a long-term follow-up period. *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 1991;264:255-63.
72. Noyes FR, Mooar PA, Matthews DS, Butler DL. The symptomatic anterior cruciate-deficient knee. Part I: the long-term functional disability in athletically active individuals. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*. 1983;65(2):154-62.
73. Waldén M, Hägglund M, Ekstrand J. High risk of new knee injury in elite footballers with previous anterior cruciate ligament injury. *British Journal of Sports Medicine*. 2006;40(2):158-62.
74. Kaplan Y. Identifying individuals with an anterior cruciate ligament-deficient knee as copers and noncopers: a narrative literature review. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*. 2011;41(10):758-66.
75. Frobell RB, Roos EM, Roos HP, Ranstam J, Lohmander LS. A randomized trial of treatment for acute anterior cruciate ligament tears. *The New England Journal of Medicine*. 2010;363(4):331-42.
76. Ardern CL, Webster KE, Taylor NF, Feller JA. Return to sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery: a systematic review and meta-analysis of the state of play. *British Journal of Sports Medicine*. 2011;45(7):596-606
77. Fok AW, Yau W. Anterior cruciate ligament tear in Hong Kong Chinese patients. *Hong Kong Medical Journal*. 2015;21(2):131-5.
78. Bach BR, Tradonsky S, Bojchuk J, Levy ME, Bush-Joseph CA, Khan NH. Arthroscopically assisted anterior cruciate ligament reconstruction using patellar tendon autograft. *The American Journal of Sports Medicine*. 1998;26(1):20-9.
79. Almekinders L, Moore T, Freedman D, Taft T. Post-operative problems following anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 1995;3:78-82.
80. Anstey DE, Heyworth BE, Price MD, Gill TJ. Effect of timing of ACL reconstruction in surgery and development of meniscal and chondral lesions. *The Physician and Sportsmedicine*. 2012;40(1):36-40.
81. Frobell RB, Roos EM, Roos HP, Ranstam J, Lohmander LS. A randomized trial of treatment for acute anterior cruciate ligament tears. *New England Journal of Medicine*. 2010;363(4):331-42.
82. Razi M, Salehi S, Dadgostar H, Cherati AS, Moghaddam AB, Tabatabaiaand SM, et al. Timing of anterior cruciate ligament reconstruction and incidence of meniscal and chondral injury within the knee. *International Journal of Preventive Medicine*. 2013;4(Suppl 1):S98.

83. Sri-Ram K, Salmon L, Pinczewski L, Roe J. The incidence of secondary pathology after anterior cruciate ligament rupture in 5086 patients requiring ligament reconstruction. *The Bone & Joint Journal*. 2013;95(1):59-64.
84. Smith TO, Davies L, Hing CB. Early versus delayed surgery for anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review and meta-analysis. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2010;18:304-11.
85. Allum R. Complications of arthroscopic reconstruction of the anterior cruciate ligament. *The Journal of Bone and Joint Surgery British*. 2003;85(1):12-6.
86. Rahimi A, Minoonejad H, Norouzi Fashkhami A, Sohani S. Which acl-reconstruction surgery is better? A comparative study of the complications of the bone-patellar tendon-bone (BTPB) and Hamstring Tendon (4-Strand) Techniques (A Review of the Literature). *World J Sport Sci*. 2009;2(2):100-5.
87. Barenius B, Webster WK, McClelland J, Feller J. Hamstring tendon anterior cruciate ligament reconstruction: does gracilis tendon harvest matter? *International Orthopaedics*. 2013;37:207-12.
88. Shaerf DA, Pastides PS, Sarraf KM, Willis-Owen CA. Anterior cruciate ligament reconstruction best practice: A review of graft choice. *World Journal of Orthopedics*. 2014;5(1):23-29.
89. Beato M, Young D, Stiff A, Coratella G. Lower-limb muscle strength, anterior-posterior and inter-limb asymmetry in professional, elite academy and amateur soccer players. *Journal of Human Kinetics*. 2021;77(1):135-46.
90. Izovska J, Mikic M, Dragijsky M, Zahalka F, Bujnovsky D, Hank M. Pre-season bilateral strength asymmetries of professional soccer players and relationship with non-contact injury of lower limb in the season. *Sport Mont*. 2019;17(2):107-10.
91. Buckthorpe M. Optimising the late-stage rehabilitation and return-to-sport training and testing process after ACL reconstruction. *Sports Medicine*. 2019;49(7):1043-58.
92. Buckthorpe M, Danelon F, La Rosa G, Nanni G, Stride M, Della Villa F. Recommendations for hamstring function recovery after ACL reconstruction. *Sports Medicine*. 2021;51(4):607-24.
93. Thomas AC, Villwock M, Wojtys EM, Palmieri-Smith RM. Lower extremity muscle strength after anterior cruciate ligament injury and reconstruction. *Journal of Athletic Training*. 2013;48(5):610-20.
94. Herbort M, Michel P, Raschke MJ, Vogel N, Schulze M, Zoll A, et al. Should the ipsilateral hamstrings be used for anterior cruciate ligament reconstruction in the case of medial collateral ligament insufficiency? Biomechanical investigation regarding dynamic stabilization of the medial compartment by the hamstring muscles. *The American Journal of Sports Medicine*. 2017;45(4):819-25.
95. Xergia SA, Pappas E, Zampeli F, Georgiou S, Georgoulis AD. Asymmetries in functional hop tests, lower extremity kinematics, and isokinetic strength persist 6 to 9 months following anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 2013;43(3):154-62.
96. Cristiani R, Mikkelsen C, Wange P, Olsson D, Stålmán A, Engström B. Autograft type affects muscle strength and hop performance after ACL reconstruction. A randomised controlled trial comparing patellar tendon and hamstring tendon autografts with standard or accelerated rehabilitation. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2021;29(9):3025-36.
97. Bizzini M, Gorelick M, Munzinger U, Drobny T. Joint laxity and isokinetic thigh muscle strength characteristics after anterior cruciate ligament reconstruction: bone patellar tendon bone versus quadrupled hamstring autografts. *Clinical Journal of Sport Medicine*. 2006;16(1):4-9.

98. Jansson KA, Linko E, Sandelin J, Harilainen A. A prospective randomized study of patellar versus hamstring tendon autografts for anterior cruciate ligament reconstruction. *The American Journal of Sports Medicine*. 2003;31(1):12-8.
99. Aune AK, Holm I, Risberg MA, Jensen HK, Steen H. Four-strand hamstring tendon autograft compared with patellar tendon-bone autograft for anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized study with two-year follow-up. *The American Journal of Sports Medicine*. 2001;29(6):722-8.
100. Lautamies R, Harilainen A, Kettunen J, Sandelin J, Kujala UM. Isokinetic quadriceps and hamstring muscle strength and knee function 5 years after anterior cruciate ligament reconstruction: comparison between bone-patellar tendon-bone and hamstring tendon autografts. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2008;16(11):1009-16.
101. Huber R, Viecelli C, Bizzini M, Friesenbichler B, Dohm-Acker M, Rosenheck T, et al. Knee extensor and flexor strength before and after anterior cruciate ligament reconstruction in a large sample of patients: influence of graft type. *The Physician and Sportsmedicine*. 2019;47(1):85-90.
102. Marder RA, Raskind JR, Carroll M. Prospective evaluation of arthroscopically assisted anterior cruciate ligament reconstruction: patellar tendon versus semitendinosus and gracilis tendons. *The American Journal of Sports Medicine*. 1991;19(5):478-84.
103. Aglietti P, Buzzi R, Zaccherotti G, De Biase P. Patellar tendon versus doubled semitendinosus and gracilis tendons for anterior cruciate ligament reconstruction. *The American Journal of Sports Medicine*. 1994;22(2):211-8.
104. Johnston PT, Feller JA, McClelland JA, Webster KE. Knee strength deficits following anterior cruciate ligament reconstruction differ between quadriceps and hamstring tendon autografts. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2022;30(4):1300-10.
105. Taylor DC, DeBerardino TM, Nelson BJ, Duffey M, Tenuta J, Stoneman PD, et al. Patellar tendon versus hamstring tendon autografts for anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled trial using similar femoral and tibial fixation methods. *The American Journal of Sports Medicine*. 2009;37(10):1946-57.
106. Carter TR, Edinger S. Isokinetic evaluation of anterior cruciate ligament reconstruction: hamstring versus patellar tendon. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*. 1999;15(2):169-72.
107. Beard D, Anderson J, Davies S, Price A, Dodd C. Hamstrings vs. patella tendon for anterior cruciate ligament reconstruction: a randomised controlled trial. *The Knee*. 2001;8(1):45-50.
108. Gouveia JN, Franca C, Martins F, Henriques R, Nascimento MdM, Ihle A, et al. Characterization of Static Strength, Vertical Jumping, and Isokinetic Strength in Soccer Players according to Age, Competitive Level, and Field Position. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2023;20(3):1799.
109. Andrade MDS, De Lira CAB, Koffes FDC, Mascarin NC, Benedito-Silva AA, Da Silva AC. Isokinetic hamstrings-to-quadriceps peak torque ratio: The influence of sport modality, gender, and angular velocity. *Journal of Sports Sciences*. 2012;30(6):547-53.
110. Zaffagnini S, Grassi A, Serra M, Marcacci M. Return to sport after ACL reconstruction: how, when and why? A narrative review of current evidence. *Joints*. 2015;3(1):25-30.

111. Feller JA, Webster KE, Gavin B. Early post-operative morbidity following anterior cruciate ligament reconstruction: patellar tendon versus hamstring graft. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2001;9(5):260-6.
112. McKay AK, Stellingwerff T, Smith ES, Martin DT, Mujika I, Goosey-Tolfrey VL, et al. Defining Training and Performance Caliber: A Participant Classification Framework. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2022;17(2):317-31.
113. Buckthorpe M, Della Villa F. Optimising the 'Mid-Stage' Training and Testing Process After ACL Reconstruction. *Sports Medicine*. 2020;50(4):657-78.
114. Kelly SB, Alvar BA, Black LE, Dodd DJ, Carothers KF, Brown LE. The effect of warm-up with whole-body vibration vs. cycle ergometry on isokinetic dynamometry. *The Journal of Strength and Conditioning Research*. 2010;24(11):3140-3.
115. Aguilar AJ, DiStefano LJ, Brown CN, Herman DC, Guskiewicz KM, Padua DA. A dynamic warm-up model increases quadriceps strength and hamstring flexibility. *The Journal of Strength and Conditioning Research*. 2012;26(4):1130-41.
116. Knezevic OM, Mirkov DM, Kadija M, Milovanovic D, Jaric S. Evaluation of isokinetic and isometric strength measures for monitoring muscle function recovery after anterior cruciate ligament reconstruction. *The Journal of Strength and Conditioning Research*. 2014;28(6):1722-31.
117. Taylor JB, Waxman JP, Richter SJ, Shultz SJ. Evaluation of the effectiveness of anterior cruciate ligament injury prevention programme training components: a systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*. 2015;49(2):79-87.
118. Milutinović A, Jakovljević V, Dabović M, Faude O, Radovanović D, Stojanović E. Isokinetic Muscle Strength in Elite Soccer Players 3 and 6 months After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *The Journal of Strength and Conditioning Research*. 2023;37(4):e297-e304.
119. Buckthorpe M. Recommendations for movement re-training after ACL reconstruction. *Sports Medicine*. 2021;51(8):1601-1618.
120. Buckthorpe M, La Rosa G, Della Villa F. Restoring knee extensor strength after anterior cruciate ligament reconstruction: a clinical commentary. *International Journal of Sports Physical Therapy*. 2019;14(1):159-172.
121. Nugent EP, Snodgrass SJ, Callister R. The effect of velocity and familiarisation on the reproducibility of isokinetic dynamometry. *Isokinetics and Exercise Science*. 2015;23(3):205-14.
122. Kadija M, Knezevic O, Milovanovic D, Bumbasirevic M, Mirkov D. Effect of isokinetic dynamometer velocity on muscle strength deficit in elite athletes after ACL reconstruction. *Medicina dello Sport*. 2010;63(1-2):495-507.
123. Ferguson CJ. An effect size primer: a guide for clinicians and researchers. *Professional Psychology: Research and Practice*. 2009;40(5):532-538.
124. Tomczak M, Tomczak E. The need to report effect size estimates revisited. An overview of some recommended measures of effect size. *Trends in Sport Sciences*. 2014;1(21):19-25.
125. Richmond JC. Anterior cruciate ligament reconstruction. *Sports Medicine and Arthroscopy Review*. 2018;26(4):165-7.
126. Feagin JR JA, Curl WW. Isolated tear of the anterior cruciate ligament: 5-year follow-up study. *The American Journal of Sports Medicine*. 1976;4(3):95-100.

127. Paulos LE, Rosenberg TD, Grewe SR, Tearse DS, Beck CL. The GORE-TEX anterior cruciate ligament prosthesis: A long-term followup. *The American Journal of Sports Medicine*. 1992;20(3):246-52.
128. Shelbourne KD, Nitz P. Accelerated rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. *The American Journal of Sports Medicine*. 1990;18(3):292-9.
129. Beck Jr CL, Paulos LE, Rosenberg TD. Anterior cruciate ligament reconstruction with the endoscopic technique. *Operative Techniques in Orthopaedics*. 1992;2(2):86-98.
130. Harner CD, Marks PH, Fu FH, Irrgang JJ, Silby MB, Mengato R. Anterior cruciate ligament reconstruction: endoscopic versus two-incision technique. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*. 1994;10(5):502-12.
131. Shino K, Kimura T, Hirose H, Inoue M, Ono K. Reconstruction of the anterior cruciate ligament by allogeneic tendon graft. An operation for chronic ligamentous insufficiency. *The Journal of Bone and Joint Surgery British Volume*. 1986;68(5):739-46.
132. Buoncristiani AM, Tjoumakaris FP, Starman JS, Ferretti M, Fu FH. Anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*. 2006;22(9):1000-6.
133. Lynch TS, Parker RD, Patel RM, Andrish JT, Spindler KP, Group M. The impact of the Multicenter Orthopaedic Outcomes Network (MOON) research on anterior cruciate ligament reconstruction and orthopaedic practice. *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*. 2015;23(3):154.
134. Boyer P, Villain B, Pelissier A, Loriaut P, Dalaudière B, Massin P, et al. Current state of anterior cruciate ligament registers. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*. 2014;100(8):879-83.
135. Goldblatt JP, Fitzsimmons SE, Balk E, Richmond JC. Reconstruction of the anterior cruciate ligament: meta-analysis of patellar tendon versus hamstring tendon autograft. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*. 2005;21(7):791-803.
136. Mariscalco MW, Flanigan DC, Mitchell J, Pedroza AD, Jones MH, Andrish JT, et al. The influence of hamstring autograft size on patient-reported outcomes and risk of revision after anterior cruciate ligament reconstruction: a Multicenter Orthopaedic Outcomes Network (MOON) Cohort Study. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*. 2013;29(12):1948-53.
137. Steiner ME, Murray MM, Rodeo SA. Strategies to improve anterior cruciate ligament healing and graft placement. *The American Journal of Sports Medicine*. 2008;36(1):176-89.
138. O'Brien SJ, Warren RF, Wickiewicz TL, Rawlins BA, Allen AA, Panariello R, et al. The iliotibial band lateral sling procedure and its effect on the results of anterior cruciate ligament reconstruction. *The American Journal of Sports Medicine*. 1991;19(1):21-5.
139. Dejour D, Saffarini M, Demey G, Baverel L. Tibial slope correction combined with second revision ACL produces good knee stability and prevents graft rupture. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2015;23:2846-52.
140. Lee JK, Lee S, Lee MC. Outcomes of anatomic anterior cruciate ligament reconstruction: bone-quadriceps tendon graft versus double-bundle hamstring tendon graft. *The American Journal of Sports Medicine*. 2016;44(9):2323-9.
141. Maletis GB, Inacio MC, Funahashi TT. Risk factors associated with revision and contralateral anterior cruciate ligament reconstructions in the Kaiser Permanente ACLR registry. *The American Journal of Sports Medicine*. 2015;43(3):641-7.

142. Perriman A, Leahy E, Semciw AI. The effect of open-versus closed-kinetic-chain exercises on anterior tibial laxity, strength, and function following anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 2018;48(7):552-66.
143. Meierbachtol A, Yungtum W, Paur E, Bottoms J, Chmielewski TL. Psychological and functional readiness for sport following advanced group training in patients with anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 2018;48(11):864-72.
144. Johnston PT, McClelland JA, Feller JA, Webster KE. Knee muscle strength after quadriceps tendon autograft anterior cruciate ligament reconstruction: systematic review and meta-analysis. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2021;29:2918-33.
145. Beck NA, Lawrence JTR, Nordin JD, DeFor TA, Tompkins M. ACL tears in school-aged children and adolescents over 20 years. *Pediatrics*. 2017;139(3).
146. Sanders TL, Pareek A, Kremers HM, Bryan AJ, Levy BA, Stuart MJ, et al. Long-term follow-up of isolated ACL tears treated without ligament reconstruction. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2017;25:493-500.
147. Samuelsen BT, Webster KE, Johnson NR, Hewett TE, Krych AJ. Hamstring autograft versus patellar tendon autograft for ACL reconstruction: is there a difference in graft failure rate? A meta-analysis of 47,613 patients. *Clinical Orthopaedics and Related Research®*. 2017;475:2459-68.
148. West RV, Harner CD. Graft selection in anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*. 2005;13(3):197-207.
149. Gabler CM, Jacobs CA, Howard JS, Mattacola CG, Johnson DL. Comparison of graft failure rate between autografts placed via an anatomic anterior cruciate ligament reconstruction technique: a systematic review, meta-analysis, and meta-regression. *The American Journal of Sports Medicine*. 2016;44(4):1069-79.
150. Rahr-Wagner L, Thillemann TM, Pedersen AB, Lind M. Comparison of hamstring tendon and patellar tendon grafts in anterior cruciate ligament reconstruction in a nationwide population-based cohort study: results from the Danish registry of knee ligament reconstruction. *The American Journal of Sports Medicine*. 2014;42(2):278-84.
151. Mohtadi NG, Chan DS. A randomized clinical trial comparing patellar tendon, hamstring tendon, and double-bundle ACL reconstructions: patient-reported and clinical outcomes at 5-year follow-up. *Journal of Bone and Joint Surgery*. 2019;101(11):949-60.
152. Slone HS, Romine SE, Premkumar A, Xerogeanes JW. Quadriceps tendon autograft for anterior cruciate ligament reconstruction: a comprehensive review of current literature and systematic review of clinical results. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*. 2015;31(3):541-54.
153. Cavaignac E, Coulin B, Tscholl P, Nik Mohd Fatmy N, Duthon V, Menetrey J. Is quadriceps tendon autograft a better choice than hamstring autograft for anterior cruciate ligament reconstruction? A comparative study with a mean follow-up of 3.6 years. *The American Journal of Sports Medicine*. 2017;45(6):1326-32.
154. Noyes FR, Butler D, Grood ES, Zernicke RF, Hefzy M. Biomechanical analysis of human ligament grafts used in knee-ligament repairs and reconstructions. *Journal of Bone and Joint Surgery*. 1984;66(3):344-52.
155. Nuccio S, Del Vecchio A, Casolo A, Labanca L, Rocchi JE, Felici F, et al. Muscle fiber conduction velocity in the vastus lateralis and medialis muscles of soccer

- players after ACL reconstruction. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2020;30(10):1976-84.
156. Noehren B, Andersen A, Hardy P, Johnson DL, Ireland ML, Thompson KL, et al. Cellular and morphological alterations in the vastus lateralis muscle as the result of ACL injury and reconstruction. *The Journal of Bone and Joint Surgery American volume*. 2016;98(18):1541.
157. Coratella G, Beato M, Schena F. Correlation between quadriceps and hamstrings inter-limb strength asymmetry with change of direction and sprint in U21 elite soccer-players. *Human Movement Science*. 2018;59:81-7.
158. Gomez-Piqueras P, Gonzalez-Villora S, Castellano J, Teoldo I. Relation between the physical demands and success in professional soccer players. *Journal of Human Sport and Exercise*. 2019;14(1):1-11.
159. Bregenhof B, Jørgensen U, Aagaard P, Nissen N, Creaby MW, Thorlund JB, et al. The effect of targeted exercise on knee-muscle function in patients with persistent hamstring deficiency following ACL reconstruction—study protocol for a randomized controlled trial. *Trials*. 2018;19(1):1-13.
160. Zhao L, Lu M, Deng M, Xing J, He L, Wang C. Outcome of bone–patellar tendon–bone vs hamstring tendon autograft for anterior cruciate ligament reconstruction: A meta-analysis of randomized controlled trials with a 5-year minimum follow-up. *Medicine*. 2020;99(48).
161. O'Donnell SR, Eitan DN, Roper JL. A comparison of quadriceps-to-hamstrings ratios during isokinetic testing, cutting, and drop landings in male soccer players. *International Journal of Exercise Science*. 2020;13(4):157.
162. Begalle RL, DiStefano LJ, Blackburn T, Padua DA. Quadriceps and hamstrings coactivation during common therapeutic exercises. *Journal of Athletic Training*. 2012;47(4):396-405.
163. Baroni BM, Ruas CV, Ribeiro-Alvares JB, Pinto RS. Hamstring-to-quadriceps torque ratios of professional male soccer players: a systematic review. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2020;34(1):281-93.
164. Van Grinsven S, Van Cingel R, Holla C, Van Loon C. Evidence-based rehabilitation following anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2010;18(8):1128-44.
165. Koverech G, Gaj E, Marzilli F, Fantoni F, Lorenzon F, Ferretti A. Anterior cruciate ligament injury in elite football players: video analysis of 128 cases. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 2021;62(2):222-8.
166. Yoon T, Hwange JW. Comparison of eccentric and concentric isokinetic exercise testing after anterior cruciate ligament reconstruction. *Yonsei Medical Journal*. 2000;41(5):584-92.
167. Silvers-Granelli HJ, Bizzini M, Arundale A, Mandelbaum BR, Snyder-Mackler L. Does the FIFA 11+ injury prevention program reduce the incidence of ACL injury in male soccer players? *Clinical Orthopaedics and Related Research®*. 2017;475:2447-55.

ЛИСТА СКРАЋЕНИЦА

LCL	енгл. <i>Laterale Collaterale Ligament</i>	латерални колатерални лигамент
MCL	енгл. <i>Mediale Collaterale Ligament</i>	медијални колатерални лигамент
ACL	енгл. <i>Anterior Cruciate Ligament</i>	предњи укрштени лигамент
PCL	енгл. <i>Posterior Cruciate Ligament</i>	задњи укрштени лигамент
CI	енгл. <i>Confidence Intervals</i>	

БИОГРАФИЈА КАНДИДАТА

Андреја Милутиновић рођен је 15. августа 1979. године у Крагујевцу. Дипломирао на Факултету спорта и физичког васпитања Универзитета у Београду 2003. године. Мастер академске студије завршио на Факултету за спорт Универзитета „Унион Никола Тесла” 4. марта 2021. године. Докторске студије, смер Експериментална и примењена физиологија са спортском медицином, уписао 2020. године на Факултету медицинских наука Универзитета у Крагујевцу. У жељи да унапреди опоравак спортиста, своја истраживања је усмерио на процес рехабилитације фудбалера и различите показатеље функционалног опоравка након повреде.

Део је стручног штаба Фудбалског клуба Динамо (Dynamo) из Москве (*Head of Sport Science*) и Интера (Inter) из Милана (*Head of Rehabilitation*). Кроз консултативне улоге и директно у рехабилитацији фудбалера, сарађивао је са више од 20 врхунских тимова (Real Madrid C.F., Borussia Dortmund, AFC Ajax, S.L. Benfica, ACF Fiorentina, FC Schalke 04, Hamburger SV, SV Werder Bremen, RSC Anderlecht, PFK CSKA Moscow, FC Shakhtar Donetsk, FK Partizan Beograd, FK Crvena Zvezda, Udinese Calcio, Sporting Club de Braga, FC Twente, Rayo Vallecano, Sevilla итд.). У каријери дугој више од две деценије, радио је на индивидуалном опоравку великог броја врхунских фудбалера, међу којима су актуелни репрезентативци Србије, Украјине, Хрватске, Италије, Немачке, Швајцарске и Русије.

Библиографија

1. **Milutinović A, Jakovljević V, Dabović M, Scanlan A, Radovanović D, Orlova A, & Stojanović E.** A comparison in knee flexor and extensor strength following ACL reconstruction in international, male soccer players receiving patellar tendon or hamstrings grafts. *Biology of Sport*. 2023; Epub ahead of print [IF₂₀₂₂ = 5.6, M21a]
2. **Milutinović A, Jakovljević V, Dabović M, Faude O, Radovanović D, & Stojanović E.** Isokinetic muscle strength in elite soccer players 3 months and 6 months after anterior cruciate ligament reconstruction. *The Journal of Strength and Conditioning Research*. 2023;37:e297-e304. [IF₂₀₂₁ = 4.415, M21]
3. **Milutinović A, Čopić N, Petrović A, Dabović M, & Janićijević D.** Muscle strength capacities in elite football players after anterior cruciate ligament reconstruction. *Acta of Bioengineering and Biomechanics*. 2021;23:107–114. [IF₂₀₂₁ = 1.238, M23]

ИЗЈАВЕ



Образац 1

ИЗЈАВА АУТОРА О ОРГИНАЛНОСТИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Изјављујем да докторска дисертација под насловом:

МИШИЋНА СНАГА ЕКСТЕНЗОРА И ФЛЕКСОРА КОЛЕНА ШЕСТ МЕСЕЦИ НАКОН РЕКОНСТРУКЦИЈЕ ПРЕДЊЕГ УКРИПТЕНОГ ЛИГАМЕНТА: ПОРЕЂЕЊЕ ГРАФТА ПАТЕЛЕ И ХАМСТРИНГА КОД ФУДБАЛЕРА представља *оригинално ауторско дело* настало као резултат *сопственог истраживачког рада*.

Овом Изјавом такође потврђујем:

- да сам *једини аутор* наведене докторске дисертације,
- да у наведеној докторској дисертацији *нисам извршио/ла повреду* ауторског нити другог права интелектуалне својине других лица,

У Крагујевцу, _____ године,

Андреја Милутиновић
потпис аутора

Образац 2

**ИЗЈАВА АУТОРА О ИСТОВЕТНОСТИ ПШТАМПАНЕ И ЕЛЕКТРОНСКЕ ВЕРЗИЈЕ
ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ**

Изјављујем да су штампана и електронска верзија докторске дисертације под насловом:
МИШИЋИНА СНАГА ЕКСТЕНЗОРА И ФЛЕКСОРА КОЛЕНА ШЕСТ МЕСЕЦИ НАКОН
РЕКОНСТРУКЦИЈЕ ПРЕДЊЕГ УКРШТЕНОГ ЛИГАМЕНТА: ПОРЕЂЕЊЕ ГРАФТА
ПАТЕЛЕ И ХАМСТРИНГА КОД ФУДБАЛЕРА истоветне.

У Крагујевцу, _____ године,

Андреја Милутиновић
потпис аутора

Образац 3

ИЗЈАВА АУТОРА О ИСКОРИШЋАВАЊУ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Ја, Андреја Милутиновић,

дозвољавам

не дозвољавам

Универзитетској библиотеци у Крагујевцу да начини два трајна умножена примерка у електронској форми докторске дисертације под насловом:

МИШИЋНА СНАГА ЕКСТЕНЗОРА И ФЛЕКСОРА КОЛЕНА ШЕСТ МЕСЕЦИ НАКОН РЕКОНСТРУКЦИЈЕ ПРЕДЊЕГ УКРИШТЕНОГ ЛИГАМЕНТА: ПОРЕЂЕЊЕ ГРАФТА ПАТЕЛЕ И ХАМСТРИНГА КОД ФУДБАЛЕРА

и то у целини, као и да по један примерак тако умножене докторске дисертације учини трајно доступним јавности путем дигиталног репозиторијума Универзитета у Крагујевцу и централног репозиторијума надлежног министарства, тако да припадници јавности могу начинити трајне умножене примерке у електронској форми наведене докторске дисертације путем *преузимања*.

Овом Изјавом такође

дозвољавам

не дозвољавам¹

¹ Уколико аутор изабере да не дозволи припадницима јавности да тако доступну докторску дисертацију користе под условима утврђеним једном од *Creative Commons* лиценци, то не искључује право припадника јавности да наведену докторску дисертацију користе у складу са одредбама Закона о ауторском и сродним правима.

припадницима јавности да тако доступну докторску дисертацију користе под условима утврђеним једном од следећих *Creative Commons* лиценци:

- 1) Ауторство
- 2) Ауторство - делити под истим условима
- 3) Ауторство - без прерада
- 4) Ауторство - некомерцијално
- 5) Ауторство - некомерцијално - делити под истим условима
- 6) Ауторство - некомерцијално - без прерада²

У Крагујевцу, _____ године,

Андреја Милутиновић
потпис аутора

² Молимо ауторе који су изабрали да дозволе припадницима јавности да тако доступну докторску дисертацију користе под условима утврђеним једном од *Creative Commons* лиценци да заокруже једну од понуђених лиценци. Детаљан садржај наведених лиценци доступан је на: <http://creativecommons.org.rs/>