

UNIVERZITET U BEOGRADU

MEDICINSKI FAKULTET

Boris D.Vukomanović

MIKROMORFOLOŠKE KARAKTERISTIKE
PRIPOJA I SEGMENTATA PREDNJE
UKRŠTENE VEZE I NJIHOV MOGUĆI
UTICAJ NA MESTO POVREĐIVANJA I
NAČIN REKONSTRUKCIJE OVE VEZE

Doktorska disertacija

Beograd, 2018.

UNIVERSITY OF BELGRADE

SCHOOL OF MEDICINE

Boris D.Vukomanović

MICRO-MORPHOLOGICAL
CHARACTERISTICS OF ATTACHMENTS
AND SEGMENTS OF ANTERIOR
CRUCIATE LIGAMENT AND THEIR
POSSIBLE EFFECT ON THE PLACE OF
RUPTURE AND TYPE RECONSTRUCTION

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2018.

Mentor:

Prof. dr Zoran Blagojević, redovni profesor Medicinskog fakulteta, Univerziteta u Beogradu

Komentor:

Prof. dr Miloš Mališ, vanredni profesor Medicinskog fakulteta, Univerziteta u Beogradu

Članovi Komisije:

Prof.dr Radovan Manojlović, vanredni profesor Medicinskog fakulteta, Univerziteta u Beogradu

Prof.dr Branko Ristić, redovni profesor Medicinskog fakulteta, Univerziteta u Kragujevcu

Doc.dr Branka Marković, docent Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja, Univerziteta u Beogradu

Zahvaljujem se:

Mentoru, Prof. dr Zoranu Blagojeviću na izuzetnom entuzijazmu i podršci tokom izrade teze

Komentoru, Prof. dr Milošu Mališu na stručnoj saradnji.

Kolegama sa Instituta za ortopedsko hirurgijske bolesti "Banjica" na razumevanju i saradnji tokom godina istraživačkog rada.

Kolegama sa Instituta za anatomiju Medicinskog fakulteta u Beogradu.

Prijateljima koji su pomogli da se uradi ovo istraživanje.

Roditeljima na ljubavi, podršci i strpljenju i što su me naučili da istrajem do kraja.

Mojim najmilijima ...

Todoru, Anji i Kseniji.

Beograd, jun 2018. godine.

MIKROMORFOLOŠKE KARAKTERISTIKE PRIPOJA I SEGMENTA PREDNJE UKRŠTENE VEZE I NJIHOV MOGUĆI UTICAJ NA MESTO POVREĐIVANJA I NAČIN REKONSTRUKCIJE OVE VEZE

Boris D.Vukomanović

Uvod: Prednja ukrštena veza kolena (LCA) je jedna od najčešće istraživanih struktura lokomotornog sistema i nastavlja da stimuliše nove debate i izazove među istraživačima i hirurzima. Učestalost povreda te veze i dosadašnje primene raznih načina lečenja među kojima se sve više pridaje značaja rekonstrukciji ove veze kao i podataka da 10-30% pacijenata navodi tegobe nakon toga, u smislu bolova i nestabilnosti, dovodi nas do toga da krajnji cilj približavanja anatomske rekonstrukciji, što je ključ uspeha, i dalje ostaje.

Mikromorfološko ispitivanje topografskih osobina LCA i mernih karakteristika srednje arterije kolena i njenih grana, omogućilo bi da se precizno definišu vaskularne teritorije prednje ukrštene veze. Detaljno poznavanje karakteristika periligamentozne i subsinovijalne arterijske mreže prednje ukrštene veze, kao i karakteristike strukture same veze i njenih pripoja može da bude osnova razumevanja mesta rupture LCA i uspešnog hirurškog rešavanja povreda LCA i bazična podrška u rekonstruktivnoj hirurgiji ove strukture korišćenjem jednostrukog tetivnog grafta.

Ciljevi: (I) Precizno registrovanje mikroanatomskih karakteristika *a. genus mediae* (MGA) i njenih grana, ekstrakapsularnih, intrakapsularnih i intraligamentoznih. Mikromorfološko ispitivanje topografskih (položaj, odnosi, tipovi grananja, područje vaskularizacije i anastomoze) i mernih karakteristika srednje arterije kolena (dužina i prečnik) i njenih grana. (II) Određivanje topografski karakteristike femoralnog i tibijalnog pripoja LCA na koštanim delovima kao i proksimalne, srednje i distalne trećine ligamenta sa posebnim osvrtom na zone vaskularizacije LCA. (III) Analiza slučajeva ruptur LCA definisaće mesta najčešćeg oštećenja ove veze. Poređenjem ovog parametra sa mikromorfološkim karakteristikama strukture odgovarajućeg segmenta ligamenta ispitaćemo njihovu moguću povezanost. (IV) Analiza rezultata nakon

rekonstrukcije LCA definišaće potencijalno najprihvatljiviji način rekonstrukcije ove veze.

Materijal i metodologija: Mikroanatomsko proučavanje karakteristika srednje arterije kolena (MGA) i njenih grana sprovedeni su na 30 preparata zatkolene jame iz kolekcije Laboratorije za vaskularnu anatomiju Instituta sa anatomiju Medicinskog fakulteta u Beogradu. Preciznosti disekcije doprinelo je prethodno ubrizgavanje 10% rastvora formalina i 5% mešavine rastopljenog želatina i tuša u arterijski mrežu kolena. Mikrodisekciju i određivanje mernih karakteristika proučavanih sudova obavljaće se pod stereomikroskopom uz pomoć okular-mikrometra. Podaci iz ovog uzorka upoređeni su sa drugim uzorkom od 30 maceriranih odraslih femura gde su izmereni interkondilarna rastojanja i visina oba kondila svakog femura i interkondilarna širina. Za razumevanje položaja PA i MGA, urađena je multidirekciona kompijuterizovana angiografija (MDCTA) područja kolena u odseku za radiologiju, Univerzitetske bolnice Ženeva, Švajcarska. Obrađena su dva nova kadaverska uzorka levog i desnog donjeg uda, Sektora anatomije Medicinskog fakulteta Univerziteta u Ženevi. Drugi deo ovog istraživanja se odnosi na topografske karakteristike LCA, mesta rupture, zone vaskularizacije LCA i procene uspešnosti lečenja nakon rekonstrukcije LCA (BPTB ili St/G tehnikom). Ovaj deo istraživanja obaviće se iz istorija bolesti 60 operisanih pacijenata sa Instituta za ortopedsku hirurgiju „Banjica“ u Beogradu, u periodu 2009-2017. godine, kod kojih je preoperativno konstatovana lezija LCA kliničkim pregledom i nalazom NMR kao i kod 30 pacijenata kod kojih je urađena artroskopija kolena sa neoštećenim LCA. I na kraju nakon određenog perioda posle jednostruke rekonstrukcije LCA kod 28 pacijenata koji su podvrgnuti drugom artroskopskom pregledu kolena, procenjivaće se pozicija grafta, sinovijalna prepokrivenost, napetost i oštećenje grafta. Primarno dobijeni podaci su iskorišćeni za formiranje baze podataka i analizirani metodama deskriptivne i inferencijalne statistike.

Rezultati: Srednja genikularna arterija (MGA) je najkraća, najdublja i najmanja vidljiva poplitalna grana zadužena za vaskularizaciju kolenog zgloba. MGA je glavni i najvažniji sud za vaskularizaciju ukrštenih ligamenata i susednih tkiva. Potiče kao

nezavisna kolateralna grana sa prednjeg zida PA u 16 (53,4%) slučajeva (9 sa desne strane, 7 sa leve strane) od kratkog zajedničkog stabla sa SLGA (superiorna lateralna genikularna arterija) u 10 (33,3%) slučajeva (7 desno, 3 levo), ili iz iste tačke porekla sa SLGA i SMGA (superiorna medijalna genikularna arterija) u 4 (13,3%) slučajeva (3 desna, 1 levo) (sl.34). MGA se kreće od 12,5 do 19,2 mm dužine (srednje, $15,58 \pm 1,59$ mm). Njegov spoljašnji prečnik varira od 1,3 do 1,9 mm (srednje, $1,8 \pm 0,13$ mm). Otvor za prolaz MGA kroz zadnju kapsulu bio je najčešći, odmah iznad gornje granice kosog poplitealnog ligamenta, u 19 (63,3%) slučajeva, ili preko samog ligamenta u 11 (36,7%) slučajeva. Prosečna tačka ulaza MGA leži na 75% prosečne visine kondila i 5,74 mm bočno prema posteriornoj sredini.

Demografski posmatrano duplo veći broj slučajeva sa lezijom LCA (41 muški i 19 ženski) je nađen kod muškaraca i češći je kod ljudi koji se bave visokoenergetskim sportovima i do 68.3% kao što su fudbal, košarka, skijanje. Prema lokalizaciji lezije dobijeno je da se lezija u proksimalnom delu dogodila kod 37 pacijenata ili 61.7%, u srednjem delu kod 17 pacijenata ili 28.3%, i kod 6 pacijenata ili 10% u slučaju elongiranih LCA lezija kao i da se u distalnom delu nije dogodila ni jedna povreda LCA u uzrastu 18-47 godina. Kompletna lezija se dogodila kod 50 pacijenata ili 83.3% a parcijalna kod 10 odnosno 16.7% od ukupnog broja ispitanika. Lezije u proksimalnom delu LCA su zastupljenije u mlađim uzrastima (uzrast 18-27 do 43.2% i nešto manje u uzrastu 28-37 godina 40.5%). Što se tiče tipa lezije kompletne rupture su takođe više zastupljenije u uzrastima od 18-27 i 28-37 godina. U odnosu na pol nisu nađene značajnije razlike po lokalizaciji i tipu lezije. Oblik femoralnog pripoja najčešće ovalan u 71.7% slučajeva a oblik "C" tibijalnog pripoja je bio prisutna kod 78.3% pacijenata. Dužina femoralnog pripoja je izmerena prosečno 17.60 ± 1.43 mm sa rangom od 14-22 mm, a širina 9.07 ± 1.41 mm sa rangom 6-12 mm. Dužina tibijalnog pripoja je izmerena u proseku 15.87 ± 1.93 mm sa rangom 12-19 mm a širina tibijalnog pripoja 10.15 ± 1.30 mm sa rangom 6-12 mm. Nije bilo statistički značajne razlike po polu u odnosu na vaskularizaciju srednjeg i proksimalnog dela LCA. Vaskularizacija distalnog dela je bila delimična kod svih ispitanika. Proksimalni deo LCA je dobro vaskularizovan u odnosu na srednji koji je fizioloski avaskularan i distalni deo. Nalaz avaskularizacije srednjeg dela LCA bez obzira na pol značajno je povezan sa histologijom i degenerativnim promenama sa starijim

uzrastom. Rekonstrukcija LCA iz AM pristupa je uspješnija u odnosu na TT rekonstrukciju u pogledu pozicioniranja grafta u anatomske pozicije a da je anatomska pozicija grafta dovela do dobre sinovijalne prekrivenosti, dobre tenzije i neoštećenosti grafta.

Zaključak: Proksimalni deo LCA je bolje vaskularizovan u odnosu na srednji koji je avaskularan i distalni deo koji je delimično vaskularan. Učestalost povreda je najveća u proksimalnom delu LCA. Anatomske pozicije porekla MGA, mesta ulaska kroz kapsulu zgloba i prostiranja prema femoralnom odnosno proksimalnom delu LCA sa distribucijom završnih ushodnih i nishodnih grana koje vaskularizuju LCA i LCP može pomoći postavljanju grafta u anatomske pozicije. Anatomske pozicije grafta kod rekonstrukcije LCA dovela do dobre sinovijalne prekrivenosti, dobre tenzije i neoštećenosti grafta što anatomske artroskopski asistiranu rekonstrukciju LCA stavlja na mesto najprihvatljivijeg načina rekonstrukcije LCA.

Ključne reči: Prednja ukrštena veza, srednja genikularna arterija, mikroanatomske karakteristike, sinovijalna prekrivenost, tenzija grafta, oštećenost grafta, anatomska rekonstrukcija.

Naučna oblast: Medicina

Uža naučna oblast: Ortopedija

MICRO-MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF ATTACHMENTS
AND SEGMENTS OF ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT AND THEIR POSSIBLE
EFFECT ON THE PLACE OF RUPTURE AND TYPE RECONSTRUCTION

Boris D. Vukomanovic

Introduction: The anterior cruciate ligament (ACL) is one of the most widely investigated structures of the locomotor system and continues to stimulate new debates and challenges among researchers and surgeons. The frequency of injuries to this relationship and the past applications of various treatments, among which are increasingly attributed to the reconstruction of this link as well as the data that 10-30% of patients report problems after that, in terms of pain and instability, leads us to the fact that the ultimate goal of approaching anatomical reconstruction, which is the key to success, remains.

A micromorphological examination of the topographic properties of ACL and measurements of the middle artery of the knee and its branches would allow precisely defining the vascular territories of the front crossed link. A detailed knowledge of the characteristics of the periligamentous and subsonic arterial network of the front crossed link, as well as the characteristics of the structure of the connection itself and its attachment can be the basis for understanding the site of the rupture of ACL and the successful surgical treatment of ACL injuries and basic support in the reconstructive surgery of this structure using a single tendon graft.

Objectives: (I) Precise registration of microanatomical characteristics a. the genus mediae (MGA) and its branches, extracapsular, intracapsular and intraligamentous. Mimorphological examination of topographic (position, relationships, types of branching, area of vascularization and anastomosis) and measurement characteristics of the middle artery of the knee (length and diameter) and its branches. (II) Determination of topographic characteristics of femoral and tibial attachment of ACL on bone parts as well as proximal, middle and distal thirds of ligaments with particular reference to ACL

vascularization zones. (III) The analysis of cases of rupture ACL will define the places of the most common damage to this connection. By comparing this parameter with the micro-morphological characteristics of the structure of the corresponding segment of the ligament, we will examine their possible connection. (IV) The analysis of the results after reconstruction of the ACL will define the potentially most acceptable way of reconstructing this structure.

Material and Methodology: Microanatomical study of the characteristics of the middle genicular artery (MGA) and its branches was carried out on 30 preparations of the cracked pit from the collection of the Laboratory for vascular anatomy of the Institute with anatomy of the Medical Faculty in Belgrade. The precision of the dissection contributed to the pre-injection of 10% formalin solution and 5% mixture of melted gelatin and shower into the arterial knee network. Microdiscrimination and determination of the measurement characteristics of the studied vessels will be carried out under the stereomicroscope with the help of an ocular micrometer. The data from this sample were compared to another sample of 30 macerated adult femur, where the intercondylar distances and height of both condyls of each femur and the intercondillary width were measured. In order to understand the position of PA and MGA, multidirectional computed angiography (MDCTA) of the knee area in the radiology department, the University Hospital of Geneva, Switzerland, was made. Two new cadaveric samples of the left and right lower limbs were processed, the Anatomy Department of the Medical Faculty of the University of Geneva. The second part of this study relates to the topographic characteristics of ACL, rupture site, ACL vascularization zone, and evaluation of the success of treatment after reconstruction of ACL (BPTB or St / G technique). This part of the study will be conducted from the history of the disease of 60 operative patients from the Institute of Orthopedic Surgery " Banjica "in Belgrade, in the period 2009-2017. year, in which ACL lesion was preoperatively diagnosed with clinical examination and NMR findings, as well as in 30 patients with knee arthroscopy with undamaged ACL. Finally, after a certain period after a single reconstruction of ACL in 28 patients who underwent another arthroscopic examination of the knee, the position of

graft, synovial overlapping, tension and graft damage will be evaluated. Primary data obtained were used to form a database and analyzed by methods of descriptive and inferential statistics.

Results: The middle genicular artery (MGA) is the shortest, deepest, and least visible popliteal branch responsible for vascularization of the knee joint. MGA is the main and most important court for the vascularization of crossed ligaments and adjacent tissues. It emerges as an independent collateral branch from the front wall of PA in 16 (53.4%) cases (9 on the right, 7 on the left) of a short joint tree with SLGA (superior lateral genicular artery) in 10 (33.3%) cases (7 right, 3 left), or from the same point of origin with SLGA and SMGA (superior medial genicular artery) in 4 (13.3%) cases (3 right, 1 left) (Fig.34). The MGA ranges from 12.5 to 19.2 mm in length (medium, 15.58 ± 1.59 mm). Its outer diameter ranges from 1.3 to 1.9 mm (mean, 1.8 ± 0.13 mm). The MGA passage through the back capsule was the most common, immediately above the upper limit of the colic popliteal ligament, at 19 (63, 3%) of cases, or via the ligament in 11 (36.7%) cases. The MGA inlet section is 75% of the average height of the condyl and 5.74 mm laterally towards the posterior median.

Demographically, twice as many ACL lesions (41 males and 19 females) were found in males and more common in people with high energy sports, up to 68.3%, such as fufbal, basketball, and skiing. According to localization of the lesion, lesion in the proximal part occurred in 37 patients or 61.7%, in the middle part in 17 patients or 28.3%, and in 6 patients or 10% in the case of elongated ACL lesions, and did not occur in the distal part no ACL injury at the age of 18-47 years. A complete lesion occurred in 50 patients or 83.3% and partial in 10 and 16.7% of the total number of subjects. The lesions in the proximal part of the ACL are more common in younger age groups (ages 18-27 to 43.2 % and slightly less at the age of 28-37 40.5%). As for the type of lesion, complete rupture is also more prevalent in ages 18-27 and 28-37 years. No significant differences in localization and type of lesion have been found in relation to sex. The shape of the femoral attachment is usually oval in 71.7% of cases and the shape of the "C" tibial attachment was present in 78.3 % of patients. The length of the femoral

attachment was measured on average 17.60 ± 1.43 mm with a ranging of 14-22 mm and a width of 9.07 ± 1.41 mm with a ranking 6-12mm. The length of the tibial joint is measured on average of 15.87 ± 1.93 mm with the ranking of 12-19mm and the width of the tibial joint is 10.15 ± 1.30 mm with a ranging of 6-12mm. There was no statistically significant gender disparity in the relationship between vascularization of middle and proximal ACL. The distal part vascularization was partial in all subjects. The proximal part of ACL is well vascularized relative to the median that is the physiological avascular and distal part. The finding of avascularization of the middle part of the ACL regardless of sex is significantly related to histology and degenerative changes with older age. The reconstruction of ACL from the AM approach is more successful with respect to TT reconstruction in the position of graft positioning in the anatomical position, and that the anatomical position of the graft has led to a good synovial overbearing, good tension and graft damage.

Conclusion: The proximal portion of ACL is better vascularized relative to the median that is an avascular and distal part that is partially vascular. The frequency of injuries is greatest in the proximal part of the ACL. Anatomical knowledge of the origin of the MGA, the points of entry through the capsule of the joint and the prostration to the femoral or proximal part of the ACL with the distribution of the terminal nasal and nodal branches that vascularize ACL and PCL can help placing the graft into the anatomical position. Anatomical graft position when reconstructed, ACL led to good synovial overlap, good tension and graft damage, which makes anatomical arthroscopically assisted reconstructions ACL the most acceptable way of reconstructing ACL.

Key words: anterior cruciate ligament, middle genicular artery, microanatomical characteristics, synovial overlap, graft tension, graft damage, anatomical reconstruction

Scientific Fiels: Medicine

Scientific Discipline: Orthopedics

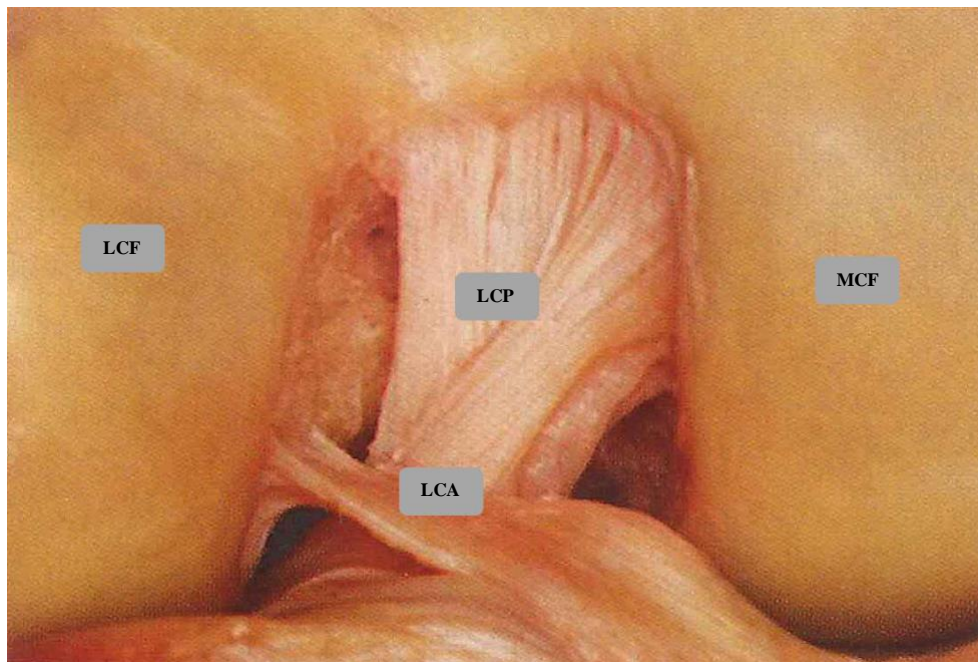
SADRŽAJ

1.UVOD	1
1.1.Prednja ukrštena veza-savremena saznanja	2
1.2. Anatomija LCA	4
1.2.1. Makroanatomske karakteristike LCA	4
1.2.1.1.Femoralna insercija	5
1.2.1.2.Srednji deo LCA	8
1.2.1.3.Tibijalna insercija	10
1.2.1.4.Vaskularizacija LCA	12
1.2.1.5.Inervacija LCA	16
1.2.2. Mikroanatomske karakteristike LCA	17
1.2.2.1.Mikrovaskularizacija LCA	22
1.2.2.2.Mikroinervacija LCA	25
1.3. Biomehanika LCA	27
1.4. Povrede LCA	28
1.4.1. Epidemiološki podaci	30
1.4.2. Klasifikacija povreda LCA	30
1.5. Rekonstrukcija LCA	33
1.5.1. Izometrijska rekonstrukcija	34
1.5.2. Anatomska rekonstrukcija	36
1.5.3. Hirurška tehnika rekonstrukcije LCA jednostrukim graftom	38
2.CILJEVI ISTRAŽIVANJA	42
3.MATERIJAL I METODOLOGIJA	44
4.REZULTATI	53
5.DISKUSIJA	69
6.ZAKLJUČCI	77
7.REFERENCE	79

1.UVOD

1.1. Prednja ukrštena veza-savremena saznanja

Prednja ukrštena veza (ligamentum cruciatum anterius, LCA) je jedna od dve ukrštene veze koje tradicionalni udžbenici anatomije ubrajaju u veze zadnje grupe veza zgloba kolena ¹. Ona ima centralnu ulogu u stabilnosti, propriocepciji i zaštiti unutrašnjih struktura kolena ². To je vezivna struktura sastavljena od dve trake (anteromedijalne-AM i posterolateralne-PL) koje se pružaju od lateralnog kondila butne kosti kroz inetrkondilarni usek do platoa tibije, mediajno od lateralnog meniskusa (sl. 1).Pošto je intraartikularni ligament, primarno je odgovoran za otpor pri prednjem pomeranju tibije i podnosi opterećenje sile od 2160+157N,odnosno ima jačinu od 242+28N/mm ^{3,4,5,6}.



Slika br. 1: Pogled na LCA-prednji ukršteni ligament, u odnosu na ostale struture kolena. LCP-zadnji ukršteni ligament,LCF-lateralni kondil femura,MCF-medijalni kondil femura

(preuzeto i modifikovano od :Siebold R, Dejour D, Zaffagnini S, editors. Anterior cruciate ligament reconstruction: A practical surgical guide. Springer Science & Business; 2014 Apr 28.)



Slika br.2: LCA prikazan artroskopski iz anterolateralnog portala a) normalna struktura LCA i b) Lezija LCA u proksimalnom delu

Ruptura LCA (slika 2b) često dovodi do bolova i gubitka funkcije kolena. Rizik od sekundarne povrede meniskusa ili hrskavice je visok, a hronična nestabilnost često završava ranim osteoartritisom. Kako je većina pacijenata mlada i aktivna, široko je prihvaćen stav da je neophodna rekonstrukcija oštećenog LCA. Često i stariji pacijenti nisu spremni da ograniče svoje aktivnosti i žele da im se uradi rekonstrukcija povređenog LCA. Zbog svega toga, svake godine je sve je veći broj rekonstrukcija ovog ligamenta.

Iako LCA ima značajnu ulogu u stabilnosti kolenog zgloba i njegovoj kinematici, njegova definicija i hirurška implikacija još uvek ostaju predmet razgovora ortopeda i istraživanja širom sveta. U sadašnjosti, to je jedan od najčešće proučavanih struktra mišićno skeletnog sistema. Uglavnom su to radovi koji se bavi anatomijom, lečenjem i rehabilitacijom nakon povrede LCA. Međutim dosta je malo radova koji se bave vaskularizacijom LCA. Neki od tih radova su se bavili perfuzijom ali tek po neki od njih proučava samu mikroanatomiju LCA⁷.

Pretražujući internet bazu koristeći Pubmade pretraživač zatom ključnom reči „LCA“ u različitim terminima nalazi se više hiljada rezultata što predstavlja veliku količinu znaja koja se povećava iz dana u dan. U pogledu na koncept rekonstrukcije LCA,

sadašnje hirurške tehnike su u osnovi namenjene obnavljanju prirodne funkcije LCA. Međutim, da bi dobili potpunu prirodnu funkciju, neophodno je temeljno poznavanje anatomije kako makro tako i mikro osobina LCA koji mogu pomoći u poboljšanju hirurških rezultata ⁸.

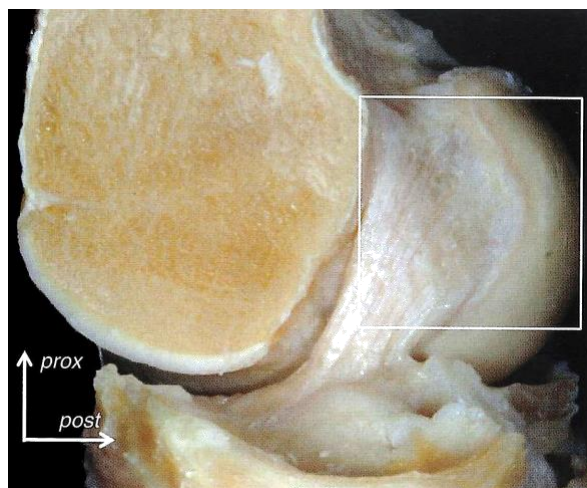
Tabela br.1: Broj objavljenih publikacija po određenom kriterijumu za LCA.

Termin	Broj objavljenih radova
„LCA“	18566
Anatomija LCA	4114
Ruptura LCA	3239
Rekonstrukcija LCA	9995

1.2. Anatomija LCA

1.2.1. Makroanatomske karakteristike LCA

LCA je omotan sa dva sloja sinovijalnog tkiva. Ovaj specifičan anatomski detalj svrstava LCA u intraartikularnu ali ekstrasinovijalnu strukturu zgloba kolena ^{1,9}. Trakastog je oblika izgrađena je od gustog vezivnog tkiva (sl. 3). Proksimalni, gornji ili femoralni pripoj veze je vertikalno postavljen, polukružnog oblika ¹⁰. Ligament se sa svog pripoja na femuru spušta pravcem distalno-anteriorno-medijalno do prednjeg interkondilarnog polja tibije ^{9,11}.



Slika br.3: Sagitalni presek kadaveričnog kolena prikazuje mesto pripoja na femuru, pravac pružanja i pripoj na tibiji

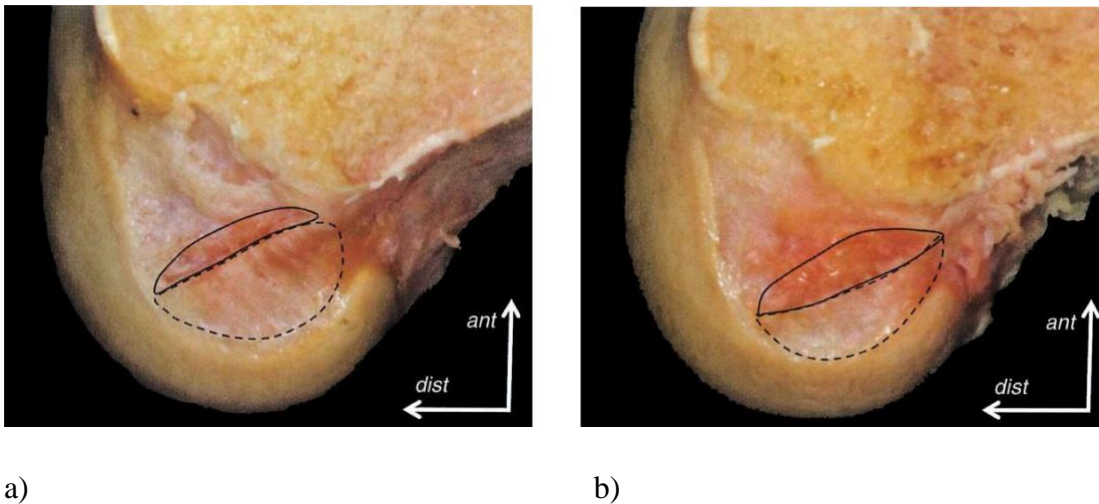
(preuzeto i modifikovano od :Siebold R, Dejour D, Zaffagnini S, editors. Anterior cruciate ligament reconstruction: A practical surgical guide. Springer Science & Business; 2014 Apr 28.)

Poprečni presek veze je iregularnog oblika, a ne kružni, eliptični ili bilo koji drugi jednostavni geometrijski oblik i menja se zavisno od ugla fleksije u kolenu, ali je u celini veći u prednje-zadnjem smeru ^{10,12}. Vlakna LCA se lepezasto šire kako se približavaju tibijalnom pripoju. Pri samom pripoju neka od vlakana ligamenta se unapred pridružuju poprečnom ligamentu kolena, a neka prednjem rogu spoljašnjeg meniskusa. Tibijalni pripoj LCA je širi i jači od femoralnog pripoja ^{9,10,11}.

1.2.1.1.Femoralna insercija

Poznavanje anatomije femoralnog pripoja LCA je od velikog značaja za hirurga. Femoralni pripoj LCA se nalazi u posteromedijalnoj zoni lateralnog kondila femura a ne na krovu interkondilarnog žleba ¹³. On leži pozadi od lateralnog interkondilarnog grebena koji je poznat kao Rezident ridž i značajan je zbog toga što se vlakna LCA ne pripajaju napred od ovog grebena. On je vertikalno postavljen a oblik je opisan kao ovalan ili kao deo kruga koji je napred prav ali pozadi konveksan prateći konture zadnje artikularne

površine (sl. 4). Mesto vezivanja femura je pokriveno sinovijalnom membranom. Meko tkivo menja svoj oblik dejstvom istežanja i komprimovanja. Kada se mesto za vezivanje ispita bez uklanjanja sinovijalne membrane, čini se ovalnim oblikom. ^{8,10,14,15}.



Slika br.4 . Dva različita oblika femoralnog pripoja LCA. a) ravan i b) ovalan

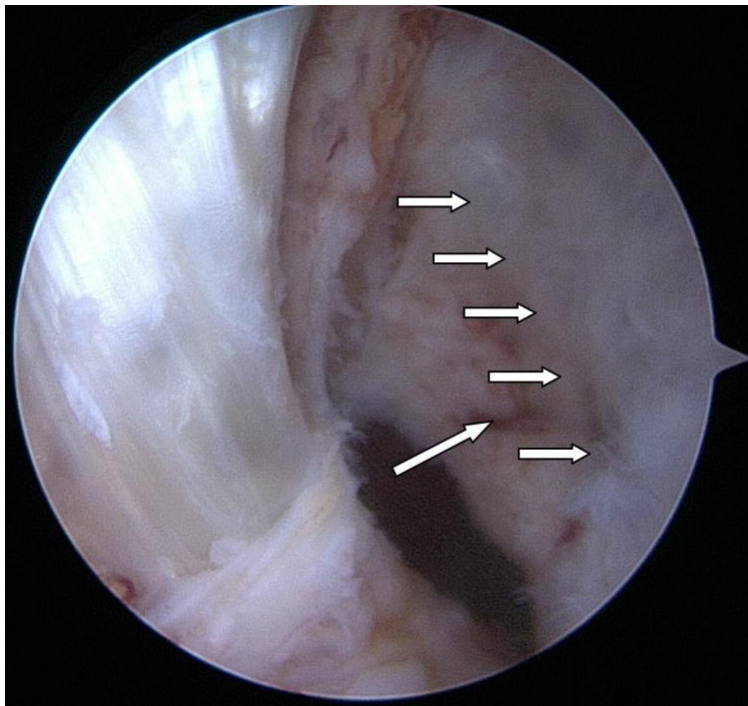
(preuzeto i modifikovano od :Siebold R, Dejour D, Zaffagnini S, editors. Anterior cruciate ligament reconstruction: A practical surgical guide. Springer Science & Business; 2014 Apr 28.)

Prosečna dužina i širina femoralne insercije koje su izmerene bile su 18 i 11 mm od autora do autora ¹⁶.

Hefzi i Grood, kao i Zavras i sar. su pokazali da manje varijacije u anteriorno-posteriornom i proksimalno-distalnom delu femoralne insercije imaju snažan uticaj na efekte dužine i tenzije grafta LCA. Graftovi fiksirani u “izometrijskom” i posteriornom delu femoralne insercije obnavljali su laksitet i tenziju grafta kroz fleksiju od 20-120 stepeni i nisu stvarali napetost grafta kada je koleno bilo flektirano. Graftovi fiksirani 3 mm ispred izometrijske tačke uzrokovali bi značajnu napetost grafta preko 80 stepeni fleksije kolena ^{13,17}.

Površina mesta femoralnog pripoja nakon uklanjanja sinovijalne membrane tokom merenja kod različitih autora je u proseku bila između 65 mm² i 83 mm², respektivno. Kada je sinovijalna membrana sačuvana, površina femoralnog pripoja je prosečno od autora do autora iznosila od 113 mm² do 155 mm² ¹⁸.

Centar femoralnog pripoja LCA sastojao se od direktne strukture vlakana, a zadnji deo je imao indirektnu strukturu vlakana. Ovi rezultati podržavaju prethodne studije na životinjama koje navode da se centar LCA femoralnog pripoja sastojao od najsnažnijeg prijavljenog tipa vlakna. Klinički, za rekonstrukciju LCA tunel femura treba da bude orijentisan kako bi pokrio celokupnu površinu direktnih LCA vlakna i možda bi trebalo da bude prilagođen na osnovu tipa grafta i fiksacionog materijala koji se koristi tokom operacije ¹⁹.



Slika br. 5: Artroskopski pogled na femoralnu inserciju LCA: lateralni interkondilarni ridž (male strelice) i vertikalni bifurkacioni ridž (velika strelica).

LCA se sastoji iz dve trake, AM i PL. Da bi se utvrdilo poreklo svake trake, razni autori su pokušali da identifikuju oštri orijentir koji deli femoralnu inserciju nazvan bočni bifurkacioni greben (sl.5). Proksimalno od bočnog bifurkacionog grebena se pripaja AM traka a njegova površina je konkavnog oblika dok je mesto pripoja PL trake distalno i ravnog je oblika. Harner i Siebold i sar. pokazali su da obe trake imaju jednake površine na mestu vezivanja femura ali ovaj zaključak nije potvrdio Mochizuki i sar. koji su приметili da AM traka ima površinu koja je 1.5 puta veća od površine pripoja PL trake^{8,10}. Površina femoralne a i tibijalne insercije je oko 3.5 puta veća od površine preseka srednjeg dela LCA. Široke insercije su problem u odnosu na izbor grafta zbog njegove ograničene veličine, gde su neretko u prečniku manji i do dva puta²⁰.

1.2.1.2.Srednji deo LCA

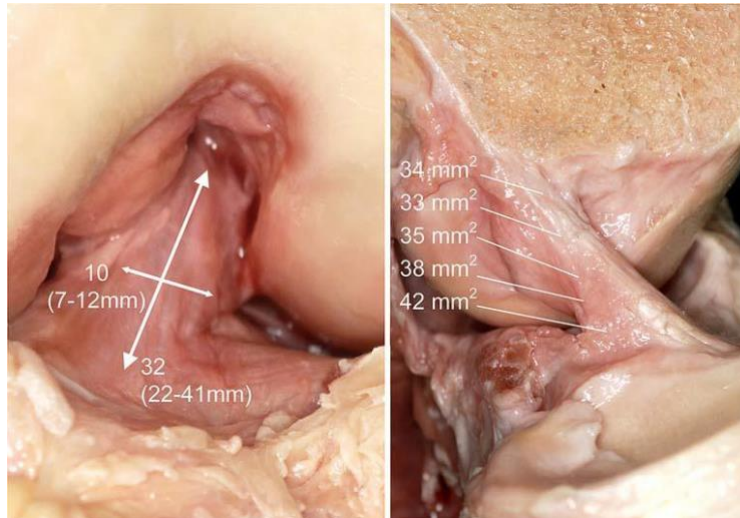
Srednji deo LCA, intraartikularna trakasta forma ligamenta čija je dužina izmerena od 22 do 41 mm u proseku 32 mm, dok je širina 7 do 12 mm, prosečno 9 mm. Ligament se sa svog pripoja na femuru spušta prema srednjoj liniji unapred, do prednjeg interkondilarnog polja tibije^{21,22,23}.



Slika br. 6: Anteromedijalna (AM) duža traka i posterolateralna (PL) kraća traka.

(preuzeto od Bicer EK, Lustig S, Servien E, Selmi TA, Neyret P. Current knowledge in the anatomy of the human anterior cruciate ligament. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2010 Aug 1;18(8):1075-84.)

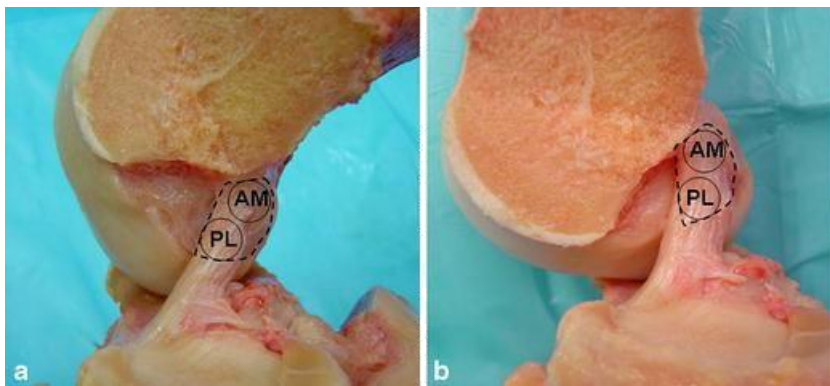
Površina preseka se povećava od femura ka tibiji: 34 mm² proksimalno, 35 mm² u srednjem delu i 42 mm² u distalnom delu.



Slika br.7: Pogled sa prednje strane levog kolena pokazuje LCA u femoralnom interkondilarnom noću. Srednja dužina je 32 mm (leva slika) i srednja širina 10 mm. Poprečni presek varira u veličini i obliku od femura do tibije (desna slika)

(preuzeto od Duthon VB, Barea C, Abrassart S, Fasel JH, Fritschy D, Ménétrey J. Anatomy of the anterior cruciate ligament. Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy. 2006 Mar 1;14(3):204-13.)

Poreklo AM trake nalazi se na proksimalnom i anteriornom aspektu femoralnog pripoja, dok je poreklo PL trake na zadnjem i inferiornom delu. Na mestu femoralnog pripoja, tokom ekstenzije kolena, PL traka se nalazi posteriorno i inferiorno u odnosu na AM traku. Tokom fleksije kolena, PL traka postaje plića i inferiornija od AM trake (sl. 8)¹⁸.



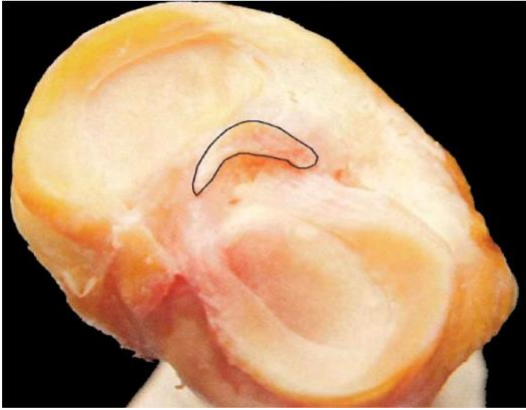
Slika br. 8: Pogled na sagitalni presek kadaveričnog desnog kolena sa prikazom AM i PL trake i njihovim odnosom u (a) fleksiji kolena i (b) u ekstenziji kolena

(preuzeto od Zantop T, Petersen W, Sekiya JK, Musahl V, Fu FH. Anterior cruciate ligament anatomy and function relating to anatomical reconstruction. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy*. 2006 Oct 1;14(10):982-92.)

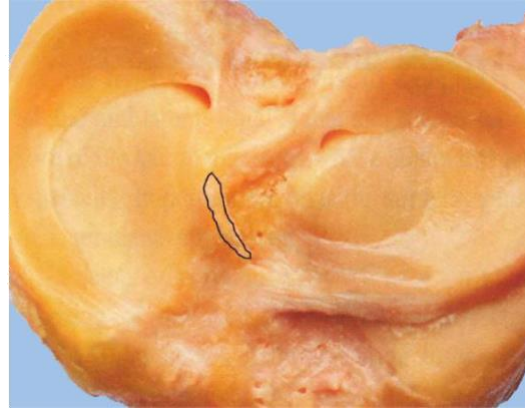
1.2.1.3. Tibijalna insercija

Vlakna LCA se lepezasto šire kako se približavaju tibijalnom pripoju. Pri samom pripoju neka od vlakana ligamenta se unapred pridružuju poprečnom ligamentu kolena, a neka prednjem rogu spoljašnjeg meniskusa. Tibijalni pripoj LCA je širi i jači od femoralnog^{9,10,11}. Tibijalni pripoj je najširi deo ligamenta i 120% veći od površine femoralnog pripoja. Njegov oblik je opisan kao ovalan ili trougao. Njegova dužina u sagitalnoj ravni varira u zavisnosti od autora je između 14 i 20 mm. U frontalnoj ravni meri se između 9 i 13 mm^{23,24}.

U sagittalnoj ravni, dužina umetanja LCA zauzima otprilike dve petine ukupne anteroposteriorne dužine tibijalnog platoa. Površina tibijalnog mesta pripoja je u proseku od 114 - 136 mm². Ove razlike mogu biti posledica korišćene metodologije ili etničke raznolikosti¹⁸.



a)



b)

Slika br.9: Oblik pripoja LCA na tibiji a) „C” oblik i b) „J” oblik

(preuzeto i modifikovano od :Siebold R, Dejour D, Zaffagnini S, editors. Anterior cruciate ligament reconstruction: A practical surgical guide. Springer Science & Business; 2014 Apr 28.)

Da bi se precizno lokalizovao tibijalni pripoj LCA, predloženo je nekoliko anatomskih orijentira. Prednja ivica pripoja zadnjeg ukrštenog ligamenta (LCP) i zadnja ivica prednjeg roga lateralnog meniskusa su dva od najčešće korišćenih orijentira mekih tkiva. Morgan i sar. ukazuju na to da je središnji pripoj tibijalnog LCA prosečno 7 mm ispred prednje ivice LCP pripoja kod kolena savijenog do 90 °. Osim toga, autori tvrde da je rastojanje između dve tačke nezavisno od veličine kolena. Hutchinson i Bae su potvrdili ove nalaze s malo više anteriornim pozicioniranjem centra tibijalnog pripoja LCA u odnosu na prednju ivicu LCP, za koju je utvrđeno da je 10,4 mm ispred LCP. Autori su zaključili da je LCP pouzdana i reproducibilna referentna tačka sa malim standardnim odstupanjem. Nasuprot tome, Zantop i sar. i Colombet i sar. sugerišu da LCP možda nije pouzdan orijentir, s obzirom na to da je njegova struktura varijabilna i da na njeno pozicioniranje utiče obim pokreta. Pored toga, kada se pozicioniranje tunela uspostavlja u odnosu na LCP, postoji rizik od postavljanja tunela lokalizovanog predaleko posteriorno¹⁸.

Posteriorna granica prednjeg roga lateralnog meniskusa opisana je kao druga oznaka mekog tkiva koja je u skladu sa anteromedijalnim aspektom LCA umetanja.

Zantop i sar. i Petersen i Tillman su pokazali da je orijentir, koji je 7-8 mm ispred prednje ivice LCP, u skladu sa sredinom pripoja PL trake, dok je zadnja strana prednjeg roga lateralnog meniskusa u osovini sa centrom pripoja AM trake ¹⁸.

Orijentir nazvan "Prekriven greben", za koji se veruje da je jedan od najpouzdanijih orijentira, opisao je McGuire i sar., a potom ga je Colombet preimenovan kao "Retroeminencijalni greben". Ovo je poprečni interspinozni greben na vrhu zadnjeg nagiba tibijalnog platoa. Centri AM i PL snopova nalaze se 17 ± 2 mm i 10 ± 1 mm ispred ovog grebena ¹⁸.

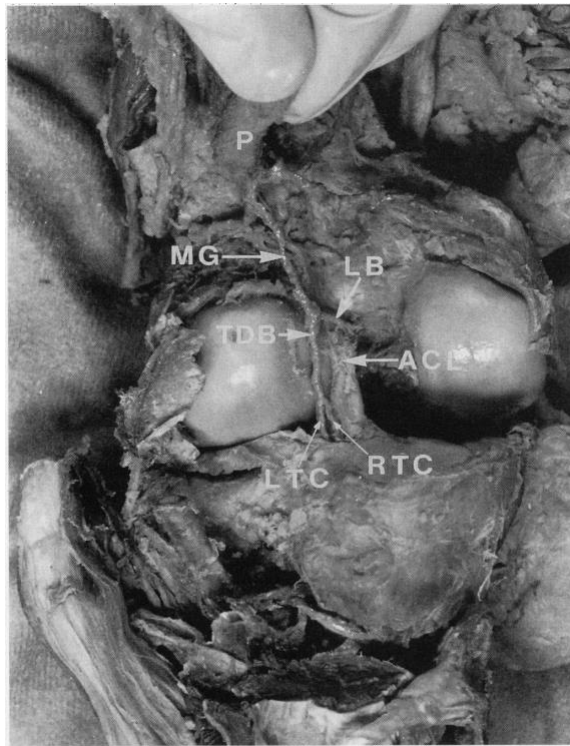
1.2.1.4. Vaskularizacija LCA

Dosadašnje anatomske studije izdvajaju dva izvora vaskularizacije prednje ukrštene veze i okolnih mekih i čvrstih tkiva interkondilarnog prostora. To su pre svih grane srednje arterije kolena, (a. genus media, AGM), kao i grančice donje spoljašnje i donje unutrašnje arterije kolena, (aa. genus inferior medialis et lateralis).

A. genus media (MGA) je uvek prisutna grana zatkolene arterije najznačajnija za vaskularizaciju LCA. Polazi sa prednjeg zida zatkolene arterije, uvek jedna arterija, u nivou linije koja spaja proksimalne delove krivina kondila butne kosti, neposredno ispod mesta nastanka gornjih arterija kolena a iznad početaka suralnih arterija. U oko 30 % slučajeva MGA se rađa zajedničkim stablom sa a. genus superior lateralis. Ekstrakapsularni deo MGA uronjen je u poplitealno masno tkivo, u pratnji dve vene i zglobnih nervnih grančica. Posle kraćeg puta unapred i naniže od oko 1 cm, arterija prolazi kroz otvor na zglobnoj kapsuli neposredno iznad gornje ivice lig. popliteum obliquum, ili kroz samu gornju ivicu ove veze ^{25,26}.

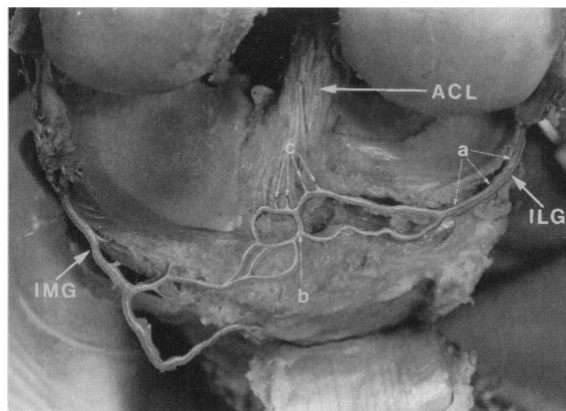
Intrakapsularni segment MGA svojim granama vaskularizuje meka tkiva interkondilarne jame (zadnji deo zglobne kapsule, masno i rastresito vezivno tkivo koje ispunjava ovaj prostor i zadnji deo zgloba, zadnje robove meniskusa i ukrštene veze sa sinovijom koja ih prekriva sprema i sa strana) i susedne koštane površine tibije (nishodne grane) i femura (ushodne grane). LCA dobija arterijsku vaskularizaciju preko završnih

grana srednje genikularne arterije (MGA). U svom ekstrakapsularnom kursu ona je uronjena u masu poplitealnog prostora i praćena je satelitskim venama i posteriornim zglobnim nervom ¹⁰ . Pošto se od nje odvoje sve već nabrojane grane, MGA prilazi otpozadi, kroz međuprostor između prednje i zadnje ukrštene veze, granici srednje i gornje trećine LCA i deli se na dve završne grane, ushodnu i nishodnu (sl. 10).



Slika br.10:Kadaverični supstrat levog kolena pogled sa zadnje strane:1).Srednja genikularna arterija (MG) koja potiče od poplitealne arterije (PA) i obezbeđuje ligamentarne grane (LB), 2).Tibijalne descendentne grane (TDB) koje polaze od MG prema dorzalnog aspektu ACL 3).TDB koja se grana na dve kondilarne grane

(preuzeto od Toy BJ, Yeasting RA, Morse DE, McCann P. Arterial supply to the human anterior cruciate ligament. J Athl Train 1995;30:149-152).



Slika br.11: Kadaverični supstrat levog kolena pogled sa prednje strane: a) inferiorna lateralna genikularna arterija (ILG) polazi od nivoa zglobne linije i vaskularizuje periferni deo lateralnog meniskusa. b) inferiorna medijalna genikularna (IMG) i ILG arterija uranjaju u infrapatelarno masno jastuče i anamostiziraju se. c) Završne grane ILG i IMG arterija obezbeđuju vaskularnost distalnim delovima LCA.

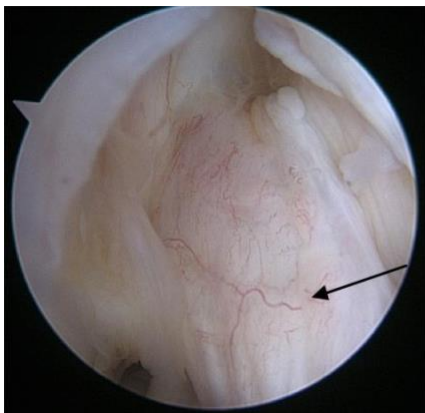
(preuzeto od Toy BJ, Yeasting RA, Morse DE, McCann P. Arterial supply to the human anterior cruciate ligament. J Athl Train 1995;30:149-152).

Ove dve grane nastavljaju ushodno i nishodno (ka krovu interkondilarne jame i lateralnom kondilu femura i interkondilarnom delu tibije, u intraartikularnom i ekstrasinovijalnom prostoru iza LCA, dajući grančice koje obrazuju sinovijalnu arterijsku mrežu i delimično poniru u sam ligament. Donji, distalni deo LCA dobija tanane sudove i iz infrapatelarnih grana donjih arterija kolena, aa. genus inferior medialis et lateralis (sli.11) ²⁷ .

Male arterije u samom ligamentu porekla su iz površinske, subsinovijalne mreže, koji u ligament poniru na raznim nivoima (sl. 12). Njihov intraligamentozni put je uglavnom longitudinalan, paralelan pravcu pružanja kolagenih vlakana. Na histološkim preparatima arteriole, prekapilari i kapilari su u interfascikularnim pregradama. Dok su u proksimalnom i srednjem delu LCA ovi sudovi uglavnom nishodno orijentisani, u distalnom delu veze imaju ushodnu orijentaciju ^{10,28} .

Periligamentozne arterije i subsinovijalna mreža su jedini izvor vaskularizacije LCA, pošto sudovi koji iz kosti ulaze u ligament ne postoje. Raspored je upravo obrnut. Arterije koje vaskularizuju ligament periligamentozno poniru u okolnu koštanu supstancu dajući grane za kost, gde se intrakoštano anastomoziraju sa arterijama koje vaskularizuju kost, poreklom iz gornjih (za donji okrajak femura) i donjih (za gornji okrajak tibije) arterija kolena.^{10,25,27}

Distribucija krvnih sudova u sastavu ligamenta nije homogena. Proksimalni deo LCA ima više krvnih sudova nego distalni deo. Gornji deo LCA je vaskularizovan sa kolateralnim granama arterija usmjerenih na krov interkondilarnog zarez a i ka bočnim kondilima.



a)



b)

Slika br.12: Artroskopski pogled periligamentozne vaskularizacije (a) proksimalnog (koji je bogato vaskularizovan) i (b) srednjedistalnog (avaskularnog) dela LCA

Fibrokartilagenozni region u anteromedijalnom delu ligamenta je avaskularan. Takođe, fibrokartilagenozne oblasti mesta za vezivanje nemaju krvne sudove. Uzdužno orjentisani intraligamentni sudovi ne prelaze hrskavičavu zonu i nema vaskularne penetracije iz subhondralne kosti¹⁸. Masno retropatelarno jastuče, bogato je vaskularizovano i samo male arteriole prodiru u mukozum ligamentuma. Mala količina

krvi se isporučuje u distalni deo LCA infrapatelarnim granama inferiornih genikularnih arterija. Periligamentni prelaz sudova je odsutan u maloj zoni otprilike 5-10 mm proksimalnom za tibijalno vezivanje, a u ovom prednjem fibrokartilaginoznom delu tkivo je avaskularno. Koicidencija slabe vaskularnosti i prisustva fibrokartilaginozne zone takođe se vidi kod kliznih tetiva u područjima koja su podvrgnuta pritiscima, a slučajnost ova dva faktora nesumnjivo igra ulogu u lošem potencijalu lečenja LCA ¹⁰.

1.2.1.5. Inervacija LCA

Posteriorne zglobne grane tibijalnog nerva pružaju inervaciju za LCA. Ove grane se kasnije infiltriraju u kapsulu i pružaju se pored periligamentnih sudova. Ljudski LCA je izuzetno inervirano tkivo, a nervno tkivo čini 1% njegove površine. Kennedy i sar. su identifikovali paravaskularna neuronska vlakna koja su prvenstveno uključena u kontrolu vazomotora. Njihove udaljeni grane, koje nisu praćene sudovima, prvenstveno su vezane za prenošenje sporih bolnih impulsa u LCA ⁸.

Histološke studije pokazale su prisustvo mehanoreceptora pod sinovijalnom membranom na površini ligamenta. Ovi specijalni receptori su klasifikovani prema njihovoj prilagodljivosti na ekscitatorne signale. Polako prilagođavajući receptori pokazuju kontinuiranu aktivnost kao odgovor na promene u kretanju, položaju i uglu rotacije zgloba. Ruffinijeve korpuskule i Golgi tetivni organ kao receptor (kompleks Pilo-Ruffini) polako prilagođavaju mehanoreceptore identifikovane u LCA. Brzo prilagođavajući mehanoreceptori su najosetljiviji pokazatelji promena napetosti u ligamentu. Oni identifikuju ubrzanje i aktiviraju se bez obzira na zajednički položaj. Paćinijevi korpuskuli su takođe brzo adaptirajući mehanoreceptori kod LCA. Pored toga, mali broj slobodnih nervnih završetaka koji su idnetifikovani u ligamentu koji deluju kao nociceptori mogu imati ulogu u kontroli vazomotora ⁸.

Kao rezultat većeg razumevanja uloge mehanoreceptora u proprioceptiji, pitanje je da li ostatak oštećenog ligamenta sadrži ove receptore i da li očuvanje ostataka kod rekonstrukcije LCA ima značaja u povratku proprioceptivne uloge. Georgoulis i sar. su pokazali da kod pacijenata koji imaju LCA ostatke još uvek postoje mehanoreceptori. U

drugoј histološkoј studiji ostataka LCA, Adachi i sar. pronašli su pozitivnu korelaciju između broja mehanoreceptora i tačnosti smisla zglobne pozicije. Kao rezultat, preporučuje se očuvanje LCA ostataka u rekonstrukciji LCA, ali rizik od razvoja Kiklop-ove lezije je nedostatak koji treba uzeti u obzir ⁸.

1.2.2. Mikroanatomske karakteristike LCA

Mikroskopski LCA se sastoji od mekih vezivnih tkiva. Kolagenske trake su okružene vezivnim tkivom, koje formiraju višestruke fascikule unutar LCA. Glavni kolagen LCA je kolagen tipa I dok se vezivno tkivo sastoji od kolagena tipa III. Femoralni i tibijalni pripoj imaju strukturu hondralne apofizne enteze koja se sastoji od četiri sloja. Prvi sloj čine ligamentarna vlakna. Neminerilizovana zona hrskavice sastavljena od fibrokartilaginozne hrskavice čine drugi sloj, dok treći sloj čini mineralizovana zona hrskavice. Mineralizovane fibroznohrskavičave zone se ubacuju u subhondralnu kost i čine četvrti sloj. Ova specifična građa pripoja LCA daje osobine od čvrste kosti do ligamentarnog tkiva što daje mogućnost postepene promene čvrstine čime se sprečava mogućnost koncentracije stresa na mestu pripoja ⁹.

Mikroskopski, možemo razlikovati tri zone unutar LCA: proksimalni, srednji i distalni deo.

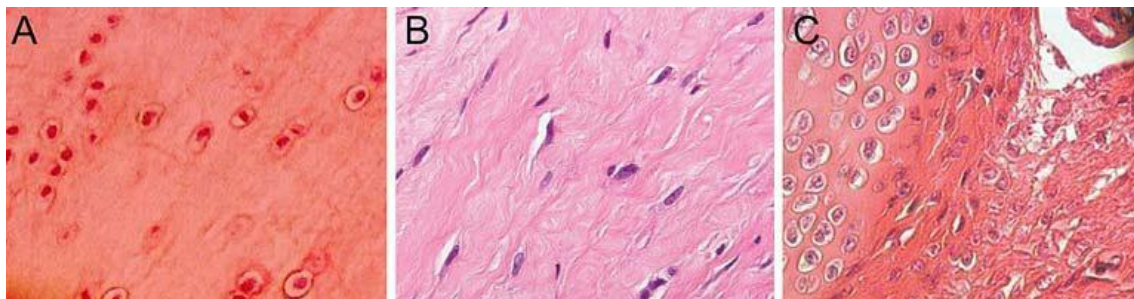
1.Proksimalni deo, koji je manje čvrst, bogat okruglim i jajolikim ćelijama, koji sadrži fuziformne fibroblaste, kolagen tip II i glikoproteine kao što su fibronektin i laminin (sl. 13) ¹⁰.

2.Srednji deo, predstavljaju jako gusta kolagenska vlakana koja čine specijalnu zonu hrskavice i fibrozne hrskavice (naročito u prednjem delu gde ligament dolazi u kontakt sa prednjom ivicom interkondilarnog zareza kolena). Pored toga on sadrži i oksitalna i elastična vlakna. Oksitalna vlakna izdržavaju višestruka naprezanja, dok elastična vlakna apsorbuju rekurentni maksimalni stres. U ovom srednjem delu istaknute su fuziformni i vretenoobrazni fibroblasti, koje čine takozvanu fusiformnu zonu koju karakteriše veliki broj longitudinalno orijentisanih ćelija sa uzdužno orjentisanim krvnim

sudovima i visokom dužinom preklapanja (Sl. 13). Ovi fibroblasti pokazuju karakteristike slične medijalnom kolateralnom ligamentu i dermalnih fibroblasta. Citoplazma ćelija u ovoj zoni izgleda da je intimno vezana za ekstracelularni kolagen i prati preklapajući talas vlakna. Na osnovu ranijih istraživanja, čini se da srednja supstanca LCA pokazuje visoku kolagenu gustinu, mali broj ćelija i izdužene fibroblaste oblika vretena. Studije sugerišu da ovaj deo LCA ima različite histološke karakteristike od medijalnog kolateralnog ligamenta ili tetive i da je u prirodi sličniji hrskavici. Kao primer, u distalnoj trećini ligamenta ispred krova interkondilarnog zareza kolena je zabeležena zona fibrozne hrskavice ¹⁰.

3. Distalni deo, koji je najači, bogat je hondroblastima i ovoidnim fibroblastima, a sa malom gustinom kolagenskih snopova (sl.13). Fibroblasti, koji se nalaze na obe strane kolagenskih snopova, su okruglog do jajolikog oblika, sa prečnikom 5-8 mm i dužinom od 12-15 mm, i liče na ćelije zglobne hrskavice. Imaju obilje ćelijskih organela koji ukazuju na visok nivo ćelijske aktivnosti. Takođe imaju višestruke male celularne nastavke (mikrovilli), koji se projektuju u okolinu amorfnе strukturne materije sa retikularnim vlaknima, ali ne i u kompaktne paralelne kolagenske fibrile. Takve ćelije uglavnom se vide u distalnom delu ligamenta. U prednjem delu LCA, približno 5-10 mm proksimalno od tibijalnog pripoja, sloj gustog vlaknastog tkiva okružuje ligament umesto sinovijalnog tkiva. Ova oblast odgovara zoni gde ligament dolazi u kontakt sa prednjim delom femoralnog interkondilarnog udubljenja kada je koleno u položaju pune ekstenzije. Unutar ligamenta, ćelije liče na hondroците, sa okruglim do ovalnim oblikom i poravnati su u redovima od 3-15 ćelija između snopova kolagena. Ovi kolagenski snopovi su veći nego na drugim mestima u ligamentu (130-250 mm) i prelaze jedni druge u oštrim uglovima, odvojenim hondroцитima¹⁰. Međutim, Petersen navodi da histološki posmatrano u ovoj regiji ligamenta postoje tipični tenociti kao i ćelije slične hondroцитima²⁹. U ovom regionu LCA se sastoji od fibrozne hrskavice, koja je mineralizovana i liči na kost. Prema teoriji "uzročne histogeneze" (Pauwels), stimulus za razvoj fibrozne hrskavice u gustom vezivnom tkivu predstavljaju kompresivne sile pritiska. Kompresivni stres na tkivu prednjeg dela LCA nastaje zbog pritiska na prednje interkondilarno udubljenje kada je koleno u potpunosti ispruženo. Funkcionalno, fibrozna hrskavica sa redovima hondroцita se javlja u tetivima sa umerenim promjenama u uglovima gde

prolaze oko njihovih puleja¹⁰. Neretko se ova pojava naziva i “fiziološkim poremećajem” LCA zbog osobine njegovih hondrocita da se funkcionalno adaptiraju na ponovljeni pritisak.



Slika br.13: Tri histološke zone LCA: a) proksimalni deo koji je visoko celularan, bogat okruglim i jajolikim ćelijama, b) srednji deo sa gustim kolagenkim vlaknima sa fuziformnim i vretenoobraznim fibroblastima, i c) distalni deo bogat hondroblastima i ovoidnim fibroblastima, a sa malom gustinom kolagenskih snopova.

(preuzeto od Duthon VB, Barea C, Abrassart S, Fasel JH, Fritschy D, Menetrey J. Anatomy of the anterior cruciate ligament. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2006;14:204-213)

LCA ima mikrostrukturu sličnu drugim mekim vezivnim tkivima. Sastoji se od višestrukih fascikula, čija je osnovna jedinica kolagen, a ove fascikule se kreću od 250 nm do nekoliko milimetara i okružene su vezivnim tkivom poznatim pod imenom paratenon. Svaki od fascikla se sastoji od 3-20 podfascikula koji su zatvoreni epitenonom. Podfascikuli imaju talasast izgled i sastoje se od grupa subfascikularnih jedinica (100-250 nm u prečniku) okruženih slobodnim vezivnim tkivom, endotenonom, koji se sastoji od kolagena tipa II. Ove podfascikularne jedinice su sastavljene od vlakana (prečnika od 1-20 nm) koje su sastavljene od fibrila kolagena (25-250 nm u prečniku)¹⁰.

Opisane su dve vrste kolagenih fibrila. Prvi tip velikih kolagenih fibrila ima varijabilni prečnik sa vrhovima na 35, 50 i 75 nm i nepravilnim linijama. Oni čine 50,3% celokupnog LCA i stvaraju ih fibroblasti. Ove velike nehomogene fibrile su

specijalizovane da se odupru visokim zatezačkim naprezanjima. Drugi tip malih kolagenih fibrila ima ravnomeran prečnik sa glatkim marginama i najvećim prečnikom do 45 nm. Oni čine 43,7% celokupnog LCA i stvaraju ih fibro-hondroblasti. Ovi mali homogeni fibrili održavaju trodimenzionalnu organizaciju ligamenta³⁰.

Preostalih 6% tkiva LCA odgovara ćelijama i komponentama ekstracelularnog matriksa. U sastav ekstracelularnog matriksa LCA ulazi četiri različita sistema:

1. Kolageni: Postoje različiti tipovi kolagena koji se nalaze u LCA. Kolagen vrste I je glavni kolagen ligamenata i tetiva. U LCA tip I kolagen fibrili su orijentisani paralelno sa uzdužnom osovinom ligamenta i odgovorni za zateznu čvrstoću ligamenta. Tip II kolagena je tipičan kolagen hrskavice i normalno se ne nalazi u ligamentima. Međutim, on se nalazi u fibrokartilaginoznim područjima LCA, posebno tibijalnim i femoralnim mestima vezivanja. Ovaj kolagen se nalazi u pericelularnoj matrici hondrocita koji leže u redovima između većine paralelnih tipova kolagena-pozitivnih fibrila. Ovaj nalaz ukazuje na to da je ovaj deo ligamenta izložen pritisku ili smicajnoj sili, pošto je pojavljivanje kolagena tipa II u vezivnom tkivu kao što su ligamenti ili tetive pokazatelj izloženosti ovog dela tetiva na pritisak¹⁰. Tip III kolagena je komponenta retikularnih vlakana. U okviru LCA, kolagen vrste III nalazi se u labavom vezivnom tkivu koji deli složene kolagene tipa I. Morfološki, vlakna se mogu podeliti u fini jednostrani tip, prečnik 2 nm, i grubi tip višeslojnog tipa, 9 nm u prečniku. Tip III kolagena ima skoro sve prisutniju distribuciju u LCA, ali otkriva maksimalne koncentracije u blizini zona vezivanja. Većina sintetizovanog kolagena u ranoj fazi lečenja je tip III. Povećava se i posle postavljanja tetivnog grafta u procesu remodeliranja koji se naziva "ligamentizacija". Tip IV kolagena tipa se nalazi u svim vaskularnim membranama, uglavnom u proksimalnim i distalnim delovima LCA, a manje u srednjoj trećini koja je manje vaskularizovana. Kolagen tipa VI ima paralelnu orijentaciju sa kolagenom tip III. On služi kao klizna komponenta između funkcionalnih fibrilarnih jedinica. Prisutan je u većim količinama u proksimalnim i distalnim trećinama, a ne u srednjem delu LCA. Ova raspodela je rezultat značajno veće sile u veznim regionima u poređenju sa srednjim regionom.

Nedavno, Lee i sar. su utvrdili da estrogen direktno reguliše strukturu ligamenta i funkciju izmenom sinteze tipa I i III. Zapravo, estrogen stimuliše sintezu kolagena tipa I i III na nivou mRNK, dok primena mehaničke sile smanjuje ekspresiju gena kolagena tipa I i III na svim testiranim nivoima estrogena. Izražavanje gena kolagena tipa I i III stimuliše se i mehaničkim rastezanjem u ćelijama LCA, putem regulacije transformacionog faktora rasta¹⁰.

2. Glikozaminoglikani: Voda čini od 60-80% ukupne vlažne težine LCA i uglavnom je povezana sa osnovnom supstancom, onim delom vezivnog tkiva koji se sastoji od proteoglikana i glikozaminoglikana (GAG). GAG su veoma negativno naelektrisani i poseduju veliki broj hidroksilnih grupa koje privlače vodu putem vezivanja vodonika. LCA ima visok procenat GAG (10 mg heksosamin / g suvog tkiva), dva do četiri puta veći nego u tetivima. Medijalni kolateralni ligament takođe ima veću koncentraciju GAG nego tetive. Ovo menja viskoelastična svojstva LCA i predstavlja dodatnu osobinu "apsorpcije udara" u ligamentu.

3. Gliko-konjugati: Oni uključuju laminin, entaktin, tenascin i fibronektin. Fibronektini igraju važnu ulogu u morfologiji intra i ekstracelularnih matrica, ćelijskoj adheziji i migraciji ćelija. Funkcionišu tako što privlače i uvode ključne elemente u normalnim, zarastajućim i rastućim tkivima. Oni čine 2 mg / mg suvog tkiva¹⁰.

4. Elastične komponente: Ova grupa uključuje oksitalan, elaunin, zrela elastična vlakna i elastične membrane. Oni dozvoljavaju ekstremne promene udaljenosti tokom kretanja¹⁰.

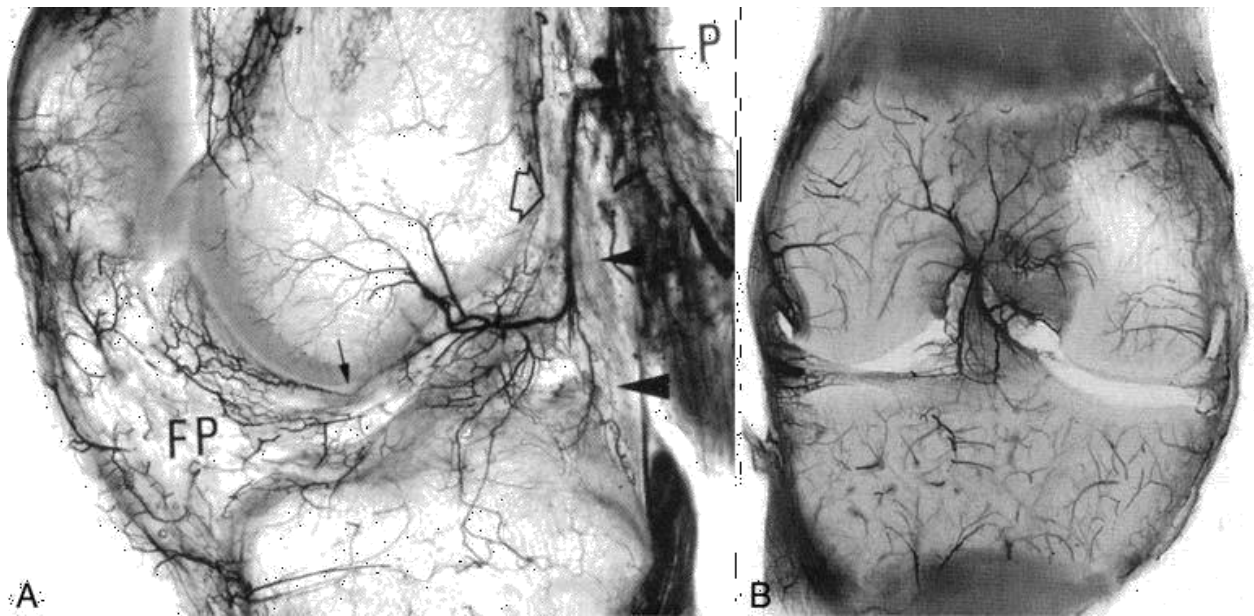
Izgleda da je paralelna, gusta i redovna organizacija LCA fibrila jedinstvena. To je kombinacija spiralnih i ravnih, paralelnih ili upredenih, nelinearnih mreža. Centralno smešteni fascikuli u LCA su ili ravni ili valoviti u pločastom talasastom obliku, dok su oni koji se nalaze na periferiji raspoređeni u špicastom talasastom obliku. Ovakva talasasta i nelinearna struktura obezbeđuje blago uzdužno istezanje bez fibroznih oštećenja što omogućava u početku blaga natezanja a za dalje su potrebna veća opterećenja za produžavanje ovih vlakana koja postaju sve kruća. Ovaj fenomen dozvoljava LCA da brzo obezbedi dodatnu zaštitu zglobu¹⁰.

Složena ultra-strukturna organizacija, raznolika orijentacija snopova u LCA i obilje elastičnog sistema čine ga veoma različitim od drugih ligamenata i tetiva. LCA je jedinstvena i složena struktura sposobna da izdrži više aksijalnih naprezanja i različitih sila zatezanja. Ova specifičnost i složenost mogu objasniti poteškoće nakon hirurške rekonstrukcije povređenog LCA¹⁰.

1.2.2.1. Mikrovaskularizacija LCA

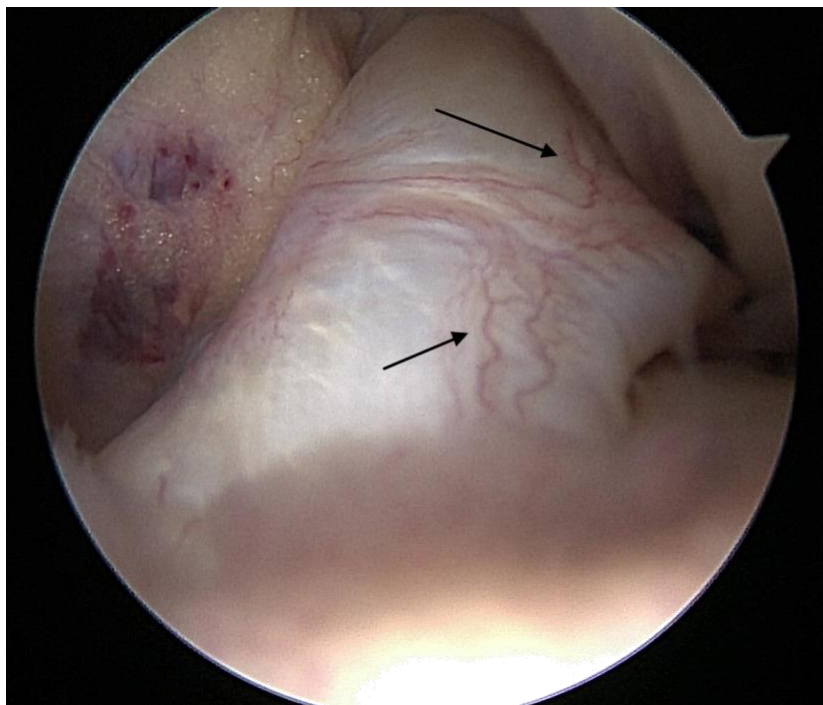
LCA dobija arterijsku vaskularizaciju od završnog grana MGA, koje prolaze kroz međuprostor između prednje i zadnje ukrštene veze, ka granici između srednje i gornje trećine LCA i deli se na dve završne grane, ushodnu i nishodnu. Ove dve grane nastavljaju ushodno i nishodno (ka krovu interkondilarne jame i lateralnom kondilu femura i interkondilarnom delu tibije, u koje poniru), u intraartikularnom i ekstrasinovijalnom prostoru iza LCA, dajući grančice koje obrazuju sinovijalnu arterijsku mrežu i delimično poniru u sam ligament (sl.14,16). Donji, distalni deo LCA dobija tanane sudove i iz infrapatelarnih grana donjih arterija kolena, aa. genus inferior medialis et lateralis²⁷.

Periligamentozne arterije i subsinovijalna mreža su jedini izvor vaskularizacije LCA, pošto sudovi koji iz kosti ulaze u ligament ne postoje. Raspored krvnih sudova je upravo obrnut. Arterije koje vaskularizuju ligament periligamentozno poniru u okolnu koštano supstancu dajući grane za koštano tkivo, gde se intrakoštano anastomoziraju sa arterijama koje vaskularizuju kost, poreklom iz gornjih (za donji okrajak femura) i donjih (za gornji okrajak tibije) arterija kolena^{10,25,27}. Takve karakteristike vaskularizacije LCA su veoma bitne kod planiranja rekonstruktivnih hirurških tehnika ove veze.

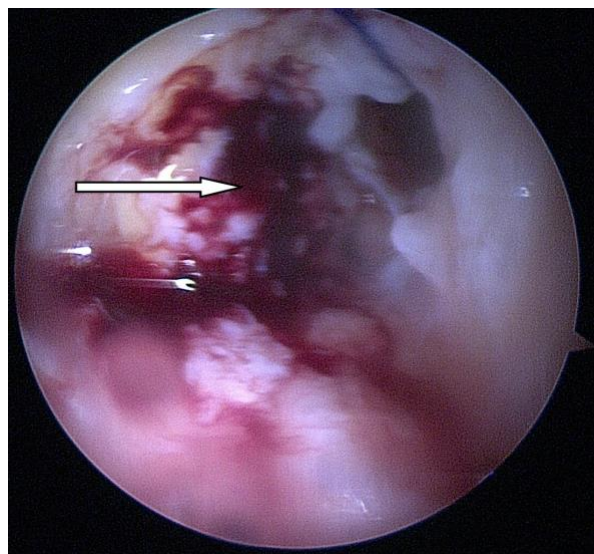


Slika br.14: Slika A sagitalni presek pokazuje odvajanje srednje genikularne arterije (MGA) od poplitealne arterije (P) pod pravim uglom (bela strelica) i vertikalni pravac pružanja ispred zadnje kapsule (crne strelice) i njena intraartikularna koštana i mekotkivna distribucija. Descendentne grane za ukrštene ligamente su jasno vidljive. Male strelice ispred LCA pokazuju neke arteriole unutar mukoze ligamenta koje se očigledno anastomoziraju sa interkondilarnim descendentnim granama MGA. FP se odnosi na infrapatelarno masno tkivo. Koronarni presek, slika B, pokazuje distribuciju grana na interkondilarnom delu krova femura nalik fenu (interkondilarne radijatne arterije i takođe descendentne arterije oko LCA).

(preuzeto i modificovano od Duthon VB, Barea C, Abrassart S, Fasel JH, Fritschy D, Menetrey J. Anatomy of the anterior cruciate ligament. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2006;14:204-213)



Slika br.15: Artroskopski pogled na mikrocirkulaciju LCA sa prednje strane, prikaz ushodnih i nishodnih periligamentoznih krvnih sudova (crne strelice)



Slika br.16 : Pogled na mesto vaskularizacije završnih grana MGA nakon artroskopske disekcije brijačem (bela stelica)

Male arterije poniru u ligament na raznim nivoima. Njihov intraligamentozni put je uglavnom longitudinalan, paralelan pravcu pružanja kolagenih vlakana. Na histološkim preparatima arteriole, prekapilari i kapilari su u interfascikularnim pregradama. Dok su u proksimalnom i srednjem delu LCA ovi sudovi uglavnom nishodno orijentisani, u distalnom delu veze imaju ushodnu orijentaciju ^{10,28} .

Distribucija krvnih sudova u sastavu ligamenta nije homogena. Proksimalni deo LCA ima više krvnih sudova nego distalni deo. Gornji deo LCA je vaskularizovan sa kolateralnim granama arterija usmjerenih na krov interkondilarnog zareza kolena i ka bočnim kondilima. Fibrokartilaginozni region u anteromedijalnom delu ligamenta je avaskularan. Takođe, fibrokartilaginozne oblasti mesta za vezivanje nemaju krvne sudove. Uzdužno orjentisani intraligamentni sudovi ne prelaze hrskavičavu zonu i nema vaskularne penetracije iz subhondralne kosti (8). Masno retropatelarno jastuče, bogato je vaskularizovano i samo male arteriole prodiru u mukozum ligamentuma. Mala količina krvi se isporučuje u distalni deo LCA infrapatelarnim granama inferiornih genikularnih arterija. Periligamentni prelaz sudova je odsutan u maloj zoni otprilike 5-10 mm proksimalno za tibijalno vezivanje, a u ovom prednjem fibrokartilaginoznom delu tkivo je avaskularno. Koicidencija slabe vaskularnosti i prisustva fibrokartilaginozne zone takođe se vidi kod kliznih tetiva u područjima koja su podvrgnuta pritiscima, a slučajnost ova dva faktora nesumnjivo igra ulogu u lošem potencijalu lečenja LCA ¹⁰ .

1.2.2.2. Mikroinervacija LCA

LCA prima nervna vlakna od posteriornih zglobnih grana tibijalnog nerva. Ova vlakna penetriraju u posteriornu zglobnu kapsulu i nastavljaju zajedno sa sinovijalnim i periligamentnim sudovima koji okružuju ligamente kako bi dosegli daleko ispred do infrapatelarnog masnog tkiva. Većina vlakana je povezana sa endoligamentnom vaskularizacijom i ima vazomotornu funkciju. Međutim, primećeni su manji mijelinirana nervna vlakna (prečnik 2-10 nm) i nemijelinskaa nervna vlakna (prečnik od 1 nm), koja su postavljena nezavisno od sudova i postavljena su pojedinačno među trakama ligamenta . Spomenuti receptori nervnih vlakana su sledeći:

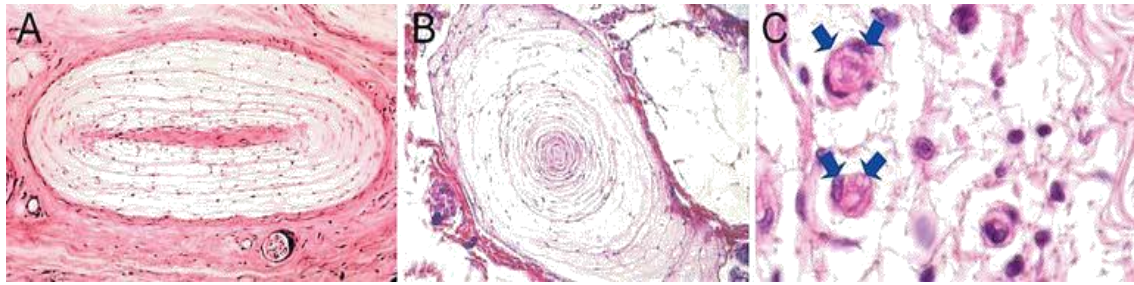
-Ruffini receptori koji su osetljivi na istezanje i nalaze se na površini ligamenta, pretežno na femoralnom delu gde su deformacije najveće .

- Vater-Pacini receptori koji su osetljivi na brze pomake i nalaze se na femoralnim i tibijalnim krajevima LCA.

-Receptori napetosti, poput Golgi receptora, nalaze se u blizini priključaka LCA, kao i na njegovoj površini, ispod sinovijalne membrane.

-Slobodni nervni završeci koji funkcionišu kao nociceptori, koji takođe mogu poslužiti kao lokalni efektori oslobađajući neuropeptide sa vazoaktivnom funkcijom. Stoga, oni mogu imati modulatorni efekat u normalnoj tkivnoj homeostazi ili kod kasnog remodeliranja grafta .

Mehanoreceptore navedeni gore (Ruffini, Pacini i Golgi-receptori) imaju proprioceptivnu funkciju i pružaju aferentni luk za signalizaciju posturalnih promena kolena. Deformacije unutar ligamenta utiču na mišićna vretena kroz fusimotorni sistem aktivacijom aferentnih nervnih vlakana u proksimalnom delu LCA koji utiče na aktivnost motornu aktivnost u mišićima oko kolena i ovaj se fenomen naziva "LCA refleks." Ovi mišićni odgovori se izazivaju stimulacijom vlakana grupe II ili III (tj. mehanoreceptera). S obzirom na refleksnu latenciju od 70 ms, najmanje 110 ms (vreme refleksa + elektromehanička kašnjenja) bi prolazilo pre nego što bi značajne sile mogle proizvesti mišići nakon nanošenja opterećenja na LCA. Dakle, ovaj uznemirujući refleks ne može služiti kao automatski zaštitni mehanizam za LCA ali je „LCA refleks” suštinski deo funkcije normalnog kolena i uključen je u ažuriranje mišićnih programa. Ovo postaje još očiglednije kod pacijenata sa lezijom LCA gde gubitak povratnih reakcija od mehanoreceptora u LCA dovodi do slabosti mišića kvadricepsa. Zaista, ova aferentna povratna reakcija iz LCA ima veliki uticaj na maksimalno dobrovoljno kontrakciono napajanje mišića kvadricepsa. Takvi pacijenti takođe gube tačnost osećaja zglobnog položaja, jer je to direktno povezano sa brojem mehanoreceptora¹⁰ .



Slika br.17: Rufinijevi receptori (A) Vater-Pačinijevi receptori. (B) Slobodni nervi završeci (C-plave strelice)

(peuzeto i modifikovano od Duthon VB, Barea C, Abrassart S, Fasel JH, Fritschy D, Menetrey J. Anatomy of the anterior cruciate ligament. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2006;14:204-213)

Proprioceptori su nakon povrede LCA prisutni u njegovim ostacima 3 meseca nakon povrede a posle toga se broj proprioceptora polako smanjuje do 1 godine nakon čega ih praktično nema. Takođe mnogi autori zaključuju da je očuvanje ostataka LCA tokom njegove rekonstrukcije, i pored toga što je to tehnički zahtevno i može dovesti do određenih komplikacija (kiklop lezije), može pružiti bolji klinički rezultat u poređenju sa tehnikama koje odstranjuje kompletno ostatke LCA ³¹.

1.3. Biomehanika LCA

LCA primarno ograničava prednju translaciju tibije u odnosu na femur kada je koleno u fleksiji većoj od 30 stepeni. Sekundarno on sprečava unutrašnju rotaciju tibije i varus-valgus angulaciju ⁹. Funkcionalno uobičajena je podela LCA na dva dela: anteromedijalnu traku (AM) i posterolateralnu traku (PL)²¹. U histološkoj studiji, Odensten i Gillkuist nisu mogli pronaći nikakve dokaze o odvojenim različitim snopovima-trakama kod LCA ¹⁶. Međutim, Amis i Davkins su identifikovali tri trake

tokom ispitivanja kadaverskih kolena, nazvanih kao anteromedijalna, posterolateralna i intermedijalna traka²¹.

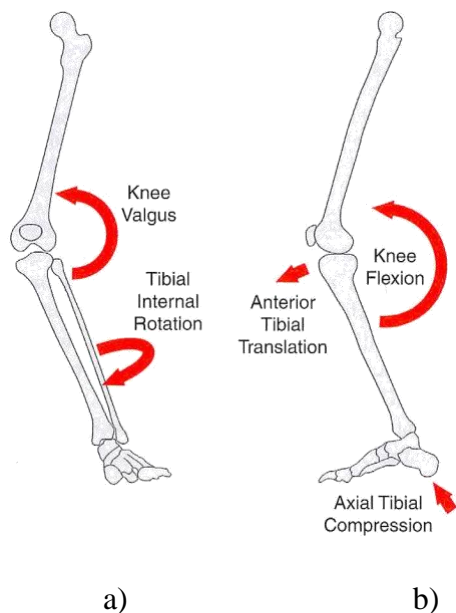
AM i PL traka se imenuju u skladu sa njihovim relativnim anatomskim položajem na mestu tibijalnog pripoja. Drugim rečima, AM traka je povezana sa anteromedijalnim delom tibijalnog pripoja i PL traka je pripojena na posterolateralni deo. U anatomskoj studiji Edvardsa i sardnika, utvrđeno je da mesto za pripoj PL trake leži pozadi od mesta pripoja AM trake u svim primercima, ali sa različitim obrascima pripoja. Ipak razne studije su pokazale da površina AM pripoja na tibiji zauzima nešto veće područje od površine PL trake na mestu tibijalnog pripoja. Udaljenost između centara pripoja AM i PL trake je oko 8-10 mm⁸.

Snopovi AM trake sa prednjeg i najvišeg dela femoralnog pripoja se prostiru napred i medijalno i pripajaju se na anteromedijalnom polju tibijalnog pripoja. Snopovi PL trake čine zadnji distalni deo femoralnog pripoja i pripajaju se za posterolateralni deo tibijalnog polja pripoja⁸.

Veći je broj fascikulusa PL trake u odnosu na AM traku³². Dok je koleno u ekstenziji trake LCA se pužaju paralelno gledano u sagitalnoj ravni. Tokom fleksije dolazi do lagane lateralne rotacije ligamenta pa se AM traka spiralno uvija oko ostatka veze^{10,11}. Pokazano je da se u fleksiji AM traka izdužuje i zateže, dok se PL traka skraćuje i opušta^{27,33}.

1.4. Povrede LCA

Najčešći mehanizam povrede je nekontaktna, deceleraciona valgus angulacija sa spoljašnjom rotacijom pri fleksiji kolena. U manjem procentu do rupture LCA dolaz pri unutrašnjoj rotaciji, fleksiji i varus traumi, hiperekstenzionoj ili hiperfleksionoj povredi kolena. Ne retko pored LCA udruženo se dešavaju povrede kolateralnih ligamenata, zadnje ukrštene veze i meniskusa. Najčešće se ove povrede događaju kod visokozahtevnih sportista kao što su fudbaleri, košarkaši, rukometaši, skijaši. Indirektnom traumom dogodi se oko 70% povreda LCA, nekontaktnim mehanizmom^{34,35}.



Šema br.1: Prikazuje mehanizme povrede LCA, (a) valgus stres i unutrašnja rotacija tibije i (b) prednja tibijalna translacija, fleksija kolena i uzdužna tibijalna kompresija.

(preuzeto od :Siebold R, Dejour D, Zaffagnini S, editors. Anterior cruciate ligament reconstruction: A practical surgical guide. Springer Science & Business; 2014 Apr 28.



Slika br.18: Pogled na jedan od mehanizama povrede LCA. Rukometaš u poziciji valgusa i tibijalne unutrašnje rotacije levog kolena

(preuzeto od : Strobel MJ, Thore Zantop. The anterior cruciate ligament .Endo Press; 2010)

1.4.1. Epidemiološki podaci

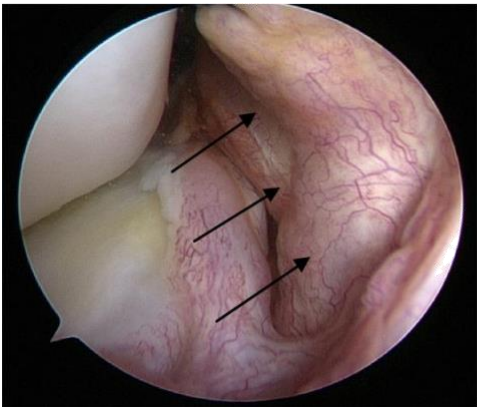
Povreda LCA je jedna od najčešćih povreda kod ljudi. Godišnja incidenca je 35/100000 stanovnika³⁷. Otprilike 70% svih povreda LCA se dogodi u uzrastu od 15 do 45 godina dajući incidencu 1/1750 za ovu uzrastnu grupu³⁸. Rizik od povrede ACL je mnogo veći kod sportista u odnosu na rekreativce. Mogućnost povrede LCA kod žena sportista značajno je viši nego kod muškaraca. Jedna od studija navodi da je čak verovatnoća povreda LCA kod žena rukometašica 0.82 na 1000 sati igranja³⁹.

U dosadašnjim studijama poznato je da muškarci imaju jaču muskulaturu a da je kod žena na donjim udovima dominantna tenzija kvadricepsa što dovodi do veće tenzije LCA i povećava rizik od povrede. Žene takođe imaju tendenciju veće femoralne antevrzijske i većeg Q ugla nego muškarci. Ovi efekti zajedno dovode do valgusne osovine uda što je predisponirajući faktor za leziju LCA⁴⁰. I širina interkondilarnog noča igra značajnu ulogu u povećanju rizika povrede LCA koji je veći kod manjih širina IK noča. Pošto je kod žena indeks širine noča manji i incidenca povrede LCA kod žena je veća⁴¹.

Proučavajući integritet intraartikularnih povreda LCA kod pacijenta gde je i klinički i NMR pregledom konstatovana lezija LCA, nađeno je da u proseku 25% od svih povreda LCA su parcijalne rupture ligamenta a ostalih 75% su kompletne rupture obe trake LCA³⁶.

1.4.2. Klasifikacija povreda LCA

Povrde LCA se dele na akutne i hronične u odnosu na vreme koje je proteklo od trenutka povrede. Akutne su povrede LCA unutar četiri sedmice a hronične one koje su se dogodile nakon tog perioda⁴³.



a)

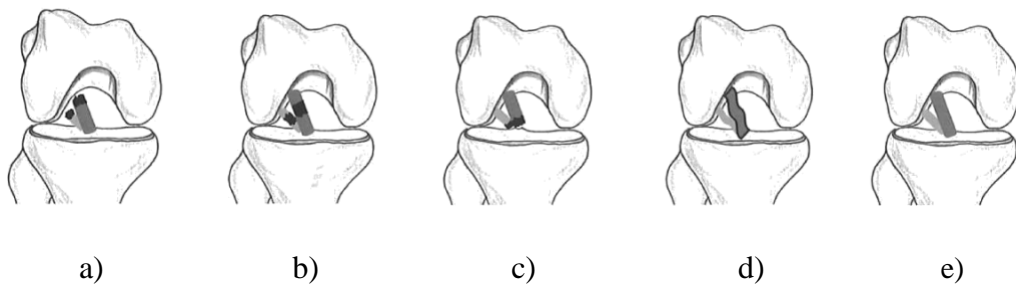


b)

Slika br.19: a) Hronična lezija LCA sa znacima hipervaskularizacije-patološka vaskularizacija ostatka LCA-ožiljnog tkiva (crne strelice). b) Nalaz hronične lezije LCA na snimku nuklearne magnetne rezonance (crna strelica)

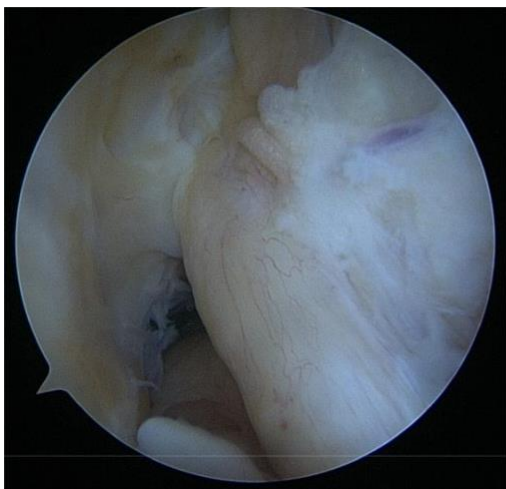
Povrede LCA mogu biti ligamentarne ili sa koštanim avulzijama. Uglavnom se koštane avulzije dešavaju kod dece kada dolazi do avulziona interkondilarne frakture tibijalnog dela koji je vulnerabilan zbog epifizne zona rasta. Takođe lezije LCA mogu biti izolovane ili udružene sa povredama drugih struktura unutrašnjosti kolena (meniskus, hrskavica, LCP) kao i ekstraartikularnih povreda ligamenata koje mogu dovesti do multidirekcionne nestabilnosti kolena.

U odnosu na lokalizaciju lezije LCA se dele na rupturu proksimalnog dela, srednjeg dela, distalnog dela i funkcionalni deficit-elongiran LCA ³⁶. Što se tiče tipa lezije imamo podelu na parcijalnu i totalnu rupturu LCA. Još preciznija klasifikacija navodi podelu u odnosu na lezije pojedinačnih traka. Ligamentarne povrede se uglavnom dešavaju kod odraslih u proksimalnom, nešto ređe u srednjem delu ligamenta ⁴⁴.

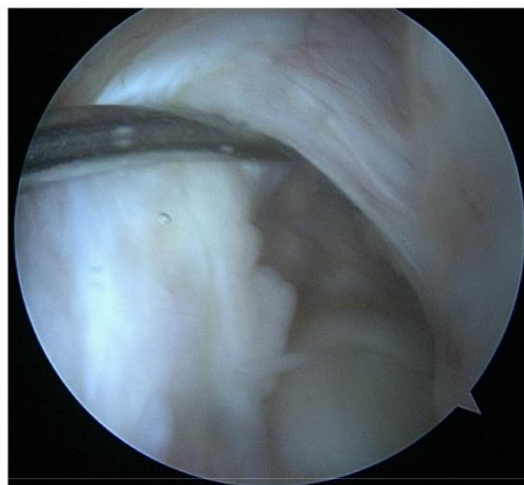


Šema br.2: Obrasci lezije LCA. (a) lezija proksimalnog dela, (b) lezija srednjeg dela, (c) lezija distalnog dela, (d) elongiran-disfunkcionalan ligament, (e) neoštećen LCA

(preuzeto od : Strobel MJ, Thore Zantop. The anterior cruciate ligament .Endo Press; 2010)



a)



b)

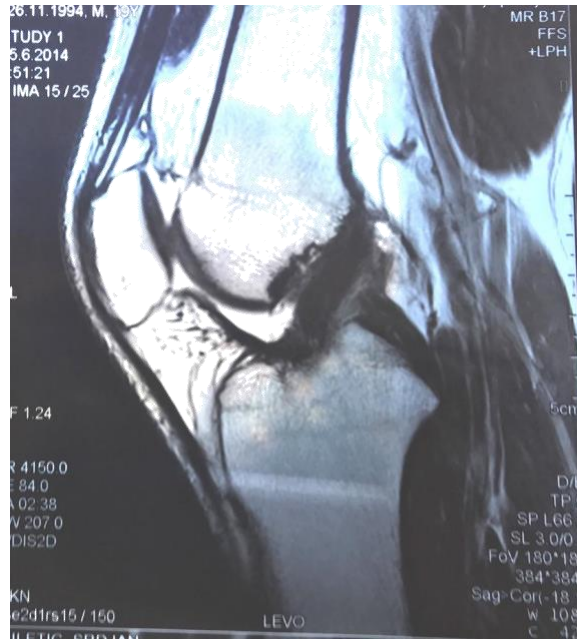
Slika br. 20: Artroskopski pogled na a) desno koleno kod kompletne rupture proksimalnog dela LCA i b) levo koleno, elongiran-disfunkcionalna lezija LCA.

U distalnom delu praktično vrlo retko dolazi do lezije LCA. Ovaj tip lezije je karakterističan za dečiji uzrast kada imamo avulzionu frakturu tibijalne eminencije na mestu pripoja.

1.5. Rekonstrukcija LCA

Istorijski gledano prvu reparaciju LCA uradio je 1895. engleski hirurg Arthur William Mayo. Riccardo Galeazzi je 1934 godine opisao tehniku za rekonstrukciju sa tetivom semitendinozusa a godinu dana kasnije Willis Cambell uvod tehniku rekonstrukcije LCA upotrebom patelarnog tetivnog grafta. Izrazito interesovanje za ovu hirurgiju počinje 60-ih godina prošlog veka da bi svoju punu ekspanziju doživela krajem 80-ih godina prošlog veka (Dandy) kada je uvedena artroskopski asistirana rekonstrukcija LCA koja je doprinela boljoj vizualizaciji i preciznijoj hirurškoj tehnici kao i nižem hirurškom morbiditetu u postoperativnom toku ^{6,45}.

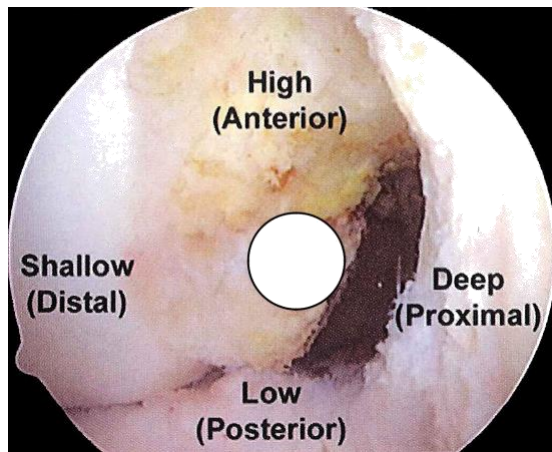
Za mnoge pacijente danas je sinonim za uspešnu operaciju brz povratak na nivo pre povrede. Posebno aktivni pacijenti imaju veoma velika očekivanja od rekonstrukcije LCA. Najveća stopa neuspele rekonstrukcije LCA se javlja kod pacijenata mlađih od 20 godina sa rizikom neuspešnosti i do 10%. Kod sportista kada se vraćaju normalnim sportskim aktivnostima u roku od 7-9 mjeseci nakon rekonstrukcije (rizik od 15%), i kada se vraćaju visokozahtevnim sportovima, rizik se povećava i do 20%. Samo približno 50% naših pacijenata može da se vrati na nivo pre povrede prednjeg ukrštenog ligamenta². Godišnje se uradi više od 100000 rekonstrukcija. Učestalost neuspešne hirurgije je visoka 10-15%. Ova stopa je prilično konstantna uprkos poboljšanju razumevanja anatomije LCA i njegove biomehanike. I dalje je kontinuiran fokus na sve više anatomskoj rekonstrukciji u cilju obnove prirodnih osobina LCA. Više hiljada radova je objavljeno vezanih za LCA u smislu anatomije, biomehanike, rekonstrukcije, rehabilitacije i prevencije povreda ali i dalje nemamo tačan odgovor koji je najbolji način rekonstrukcije LCA.



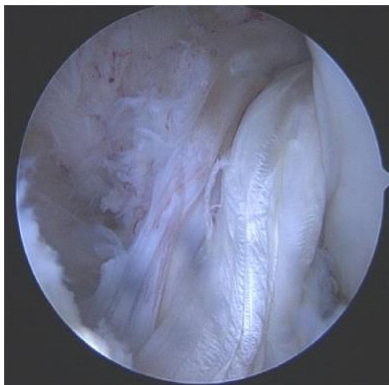
Slika br.21: Stanje nakon rekonstrukcije LCA-uredan nalaz na pregledu nuklearne magnetne rezonance

1.5.1. Izometrijska rekonstrukcija LCA

Koncept izometrijskog položaja femornog tunela bio je široko razmatran u prošlosti. Međutim, anatomija LCA pokazuje da u ovim diskusijama nije bilo čvrstih anatomskih razloga. Krive tenzije pokazuju da je sinergizam ligamentnih vlakana produktivniji cilj nego izometrija⁴⁶. Ako bi cilj bio da se tunel postavlja u izometrijsku poziciju, bio bi lociran na neanatomskom mestu izvan porekla LCA. Upoređivanjem kinematike jednostruke rekonstrukcije sa femoralnim tunelom postavljenim u anteromedijalnu poziciju u odnosu na tunel pozicioniran na izometrijskoj lokaciji otkriveno je da pozicija tunela bliže anatomskoj reprodukuje normalnu kinematiku znatno bolje od položaja izometrijskog tunela⁴⁷.



Slika br. 22: Artroskopski pogled sa obeleženim mestom anatomske pozicije (beli krug) u odnosu na eventualno neanatomsko postavljanje pozicija femoralnog tunela

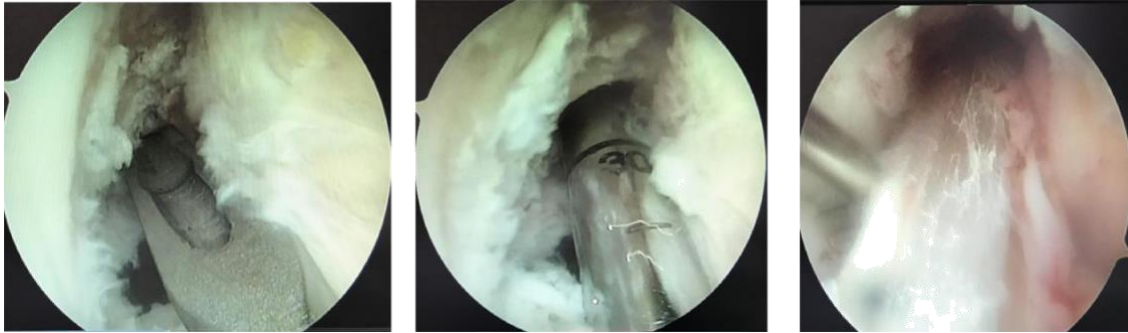


a)



b)

Slika br.23: Artroskopski pogled nakon neanatomske rekonstrukcije. a) neanatomska pozicija tibijalnog dela grafta, b) izometrijska pozicija sa znacima lezije zamenskog grafta



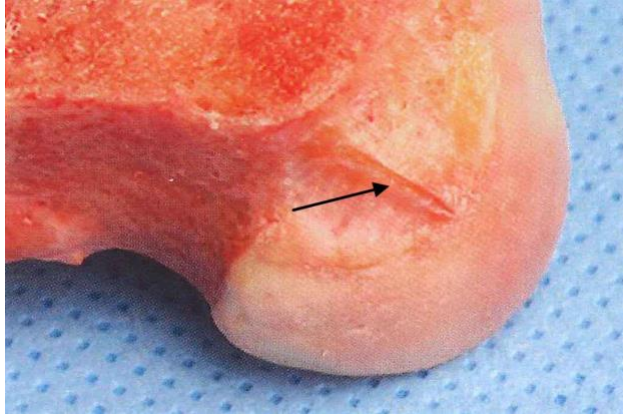
Slika br.24: Rekonstrukcija LCA u izometrijskoj poziciji zamenskog grafta

1.5.2. Anatomska rekonstrukcija LCA

Svaka osoba je različita, neke su niske, neke visoke. Shodno tome postoje i različite veličine i oblici LCA. Kod rekonstrukcije LCA važno je svaku uraditi što bliže prirodnoj anatomiji svakog kolena ponaosob. Cilj anatomske rekonstrukcije je obnoviti normalne anatomske karakteristike LCA, obnoviti stabilnost i vratiti pacijenta na nivo pre povrede kolena i uspostaviti dugogodišnje zdravo koleno.

Bez obzira na hiruške tehnike kod rekonstrukcije LCA, glavni cilj anatomske rekonstrukcije je da obnovi prirodnu kinematiku kolena pozicioniranjem grafta u centar pripoja prirodnog LCA ⁴⁸.

Neke od dosadašnjih studija opisuju centar femoralnog pripoja pri čemu koriste metodu kvadranta ili metodu sata. Metod kvadranta koji je opisao Bernard i sar. definiše centar femoralnog pripoja LCA na pravoj profilnoj radiografiji kolena. Središte LCA po ovoj metodi se može nalaziti na 24.8% od udaljenosti definisanog presekom Blumensatove linije od konture lateralnog kondila femura na profilnoj radiografiji kolena i na 28.5% visine lateralnog femoralnog kondila iza Blumensatove linije. Deljenjem interkondilarne fose kolena u kvadrante ova linija se može naći inferiorno od najvišeg superiornoposteriornog kvadranta.



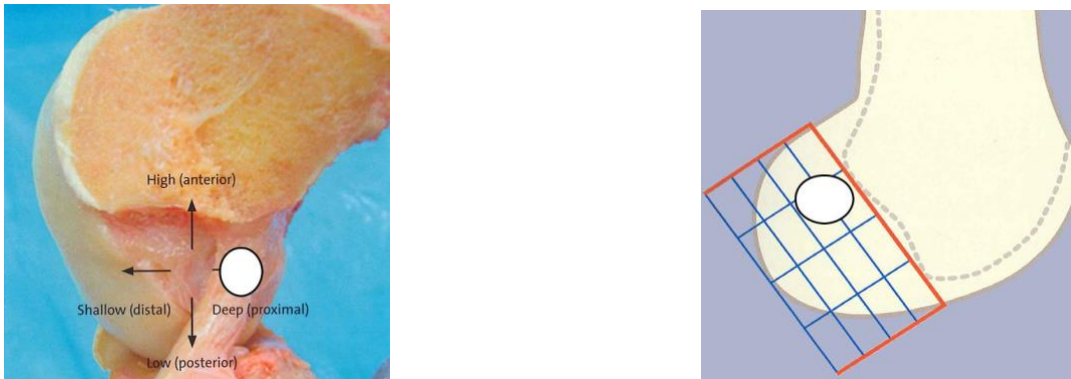
Slika br. 25 : Direktna insercija vlakana LCA je u kontinuitetu sa zadnjim femoralnim korteksom i lateralnim interkondilarnim grebenom- „resident's ridge”(crna strelica)

(preuzeto i modifikovano od Siebold R, Dejour D, Zaffagnini S, editors. Anterior cruciate ligament reconstruction: A practical surgical guide. Springer Science & Business; 2014 Apr 28.

Hirurzi moraju biti svesni da je jako bitno postaviti femoralni tunel na pravo mesto što je često i zamka kod rekonstrukcije LCA i uzrok revizija kod pogrešno postavljenih tunela. Razlog tome može biti i interkondilarni greben (resident's ridge) na krovu interkondilarne fose (sl.25) i anatomija blago konveksnog lateralnog femoralnog kondila, što nekad dovodi hirurge da tunel prave u raznim neanatomskim pozicijama. (over the top, napred, pozadi) što može dovesti do nestabilnosti kolena i deficita fleksije. Hutchinson i Ash navode da pogrešno položaj u najvišoj tatčki dovodi do postavljanja tunela napred što kasnije vodi do rane neuspele rekonstrukcije LCA .

Naučni odbor udruženja za sportsku traumatologiju, hirurgiju kolena i artroskopije je predložio da femoralni pripoj LCA treba opisati u frontalnoj ravni na krugu u smeru kazaljke na satu (metod sata). Ovaj metod se pokazao korisnim u lokalizaciji teunela AM snopa LCA i za opis tunela na radiografijama i skenerskim slikama kao i na snimcima nuklearne magnetne rezonance kolena, što nekoliko publikacija i koristi da bi pojasnile položaj femoralnog tunela. Međutim ova metoda ima jedan nedostatak u vidu dvodimenzionalnog a ne trodimenzionalnog opisa lokalizacije tunela što je anatomskim i

artroskopskim procenama sugerisano radi još preciznije pozicije femoralnog pripoja LCA.



Slika br.26 : Lokalizacija femoralnog tunela u anatomskej poziciji a) prikaz na kadaveru desnog kolena, b) metod kvadranta: na 23% visine i 28% širine kvadranta (beli kružić)

(preuzeto i modifikovano od : Strobel MJ, Thore Zantop. The anterior cruciate ligament .Endo Press; 2010)

Plasman tunela kod rekonstrukcije LCA je jedna od najznačajnijih faktora anatomske rekonstrukcije i do sada su se istraživanja bazirala na što bliže anatomskom ili izokinetičkom pristupu postavljanja istih ali u odnosu na oblik i veličinu njegovih pripoja. Medjutim, ovim radom se pokušava približiti značaj postavljanja tunela u odnosu na mikromorfologiju ali i blizinu vaskularnih delova ranijeg prirodnog LCA a zbog revaskularizacije i sinovijalne pre pokrivenosti grafta kao osnov za njegovo preživljavanje.

1.5.3. Hirurška tehnika rekonstrukcije LCA jednostrukim graftom

U zavisnosti od izbora zamenskog grafta (tetive hamstringsa St/G ili BPTB) prave se incizije na mestima anatomske lokalizacije istih. Po skidanju grafta prelazi se na obradu koja se prilagođava anatomskim karakteristikama kolena. Određuju se dužina i debljina grafta i pripremaju krajevi prema načinu fiksacije u koštanom femoralnom i

tibijalnom tunelu. Obradi se graft gde se krajevi grafta prilagode načinu fiksacija u tunelima. Dalje se pod kontrolom artroskopa nakon čišćenja interkondilarnog prostora (sl.27a) i prepoznavanja orjentira (interkondilarni ridž, bifurkacioni ridž), očisti i mesto tibijalnog pripoja i odrede orjentiri na tibijalnom delu. (prednji rog lateralnog meniskusa, LCP, medijalna interkondilarna eminencija, poprečni ligament). Preko artroskopskih vodiča se pristupi bušenju femoralnog (sl.28a) i tibijalnog tunela (sl.28b), u zavisnosti od tehnike, transtibijalno ili kroz anteromedijalni portal. Koleno je pri bušenju femoralnog tunela u poziciji fleksije od 90 do 110 stepeni. Fiksacija grafta u femoralnom tunelu je sa transkondilarnim implantatom, dugmetom, resorptivnim ostekonduktivnim ili metalnim šrafom. U tibijalnom kanalu fiksacija se radi sa dugmetom, ostekonduktivnim ili metalnim šrafom ili klamfom, pod tenzijom od oko 80N kontrolnim dinamometrom. Najčešće korišćeni graftovi imaju dužinu 90-100 mm a poprečni dijametar 7-9 mm. Nakon završene fiksacije uradi se provera tenzije grafta i njegovog mogućeg impedimenta sa interkondilarnim krovom (sl.28d).



a)

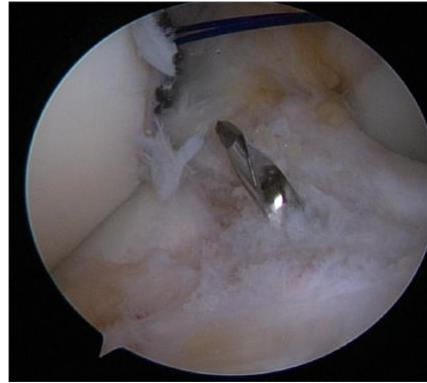
b)

c)

Slika br.27: Artroskopski pogled levog kolena nakon rekonstrukcije LCA po anatomskim principima. a) Pogled na interkondilarni prostor nakon debridmana ožiljnih tkiva LCA, b) pogled na postavljeni femoralni vodič pre drilovanja femoralnog kanala iz anteromedijalnog portala, c) Pogled nakon postavljanja grafta sa pratećim krvarenjem nakon osvežavanja ožiljnog tkiva u projekciji prostiranja završnih grana MGA. Koristi se situacija pražnjenja krvi pratećih venskih sudova.



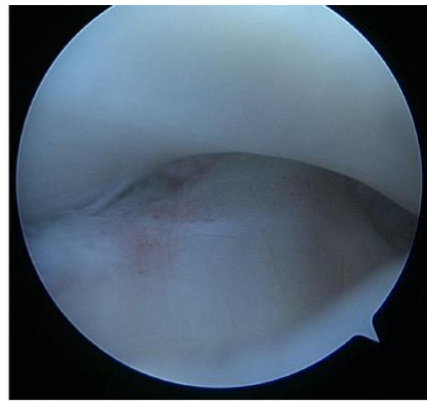
a)



b)



c)



d)

Slika br.28:Artrioskopski pogled iz anteromedijalnog portala desnog kolena nakon rekonstrukcije LCA po anatomskim principima. a) Pogled na femoralni tunel, b) pogled na postavljeni tibijalni vodič pre drilovanja tibijalnog kanala, c) pogled nakon postavljanja grafta iz anteromedijalnog portala, d) test provere impidžmena grafta sa interkondilarnim krovom.

Danas je kod rekonstrukcije LCA najčešće korišćena tehnika jednostrukim graftom (tetive semitendinosusa i gracilisa ili koštanotetivnim patelarnim graftom) i pozicioniranjem femoralnog tunela kroz tibijalni kanal , međutim postepeno se u poslednje vreme sve više koristi rekonstrukcija anteromedijalnom tehnikom štoje u stvari postavljanje femoralnog tunela kroz anteromedijalni portal i koja polako predstavlja standard u rekonstrukciji LCA individualno prilagođavajući se anatomiji kolena i biomehanici samog LCA^{37,49,50}.

2. CILJEVI ISTRAŽIVANJA

2. Ciljevi istraživanja su:

- 1) Precizno registrovanje mikroanatomskih karakteristika a. genus mediae (MGA) i njenih grana, ekstrakapsularnih, intrakapsularnih i intraligamentoznih. Mikromorfološko ispitivanje topografskih (položaj, odnosi, tipovi grananja, područje vaskularizacije i anastomoze) i mernih karakteristika srednje arterije kolena (dužina i prečnik) i njenih grana.
- 2) Određivanje topografski karakteristike femoralnog i tibijalnog pripoja LCA na koštanim delovima i proksimalne, srednje i distalne trećine ligamenta sa posebnim osvrtom na zone vaskularizacije LCA.
- 3) Analiza slučajeva rupture LCA definisaće mesta najčešćeg oštećenja ove veze. Poređenjem ovog parametra sa mikromorfološkim karakteristikama strukture odgovarajućeg segmenta ligamenta ispitaćemo njihovu moguću povezanost.
- 4) Analiza rezultata nakon rekonstrukcije LCA definisaće potencijalno najprihvatljiviji način rekonstrukcije ove veze

3.MATERIJAL I METODOLOGIJA

Studija mikromorfoloških karakteristika srednje arterije kolena (MGA) i njenih grana je sprovedena u Laboratoriji za vaskularnu anatomiju Medicinskog fakulteta u Beogradu. Ispitivano je 30 kadaveričnih donjih udova (11 levih i 19 desnih) fiksiranih u 10% rastvoru formaldehida tokom pune ekstenzije kolena, poreklom od 18 muškaraca i 12 žena sa srednjom starosnom dobi od 74,2 godine (u rasponu od 58 do 82 godine). Sadržaj poplitealne fose je pažljivo razdvajan, stratigrafski. Koža, potokožna duboka tkiva i poplitealno masno tkivo se potpuno ukloni vrlo oprezno, prikazujuću zadnji deo kapsule zgloba kolena, ojačanom kosim poplitealnim ligamentom. Disekcija obuhvata identifikaciju običnih fibularnih i tibijalnih živaca, poplitealne vene i arterije, i odgovarajuće genikularne grane na kraju. Kada je MGA izolovana i očišćena, izvršili smo niz merenja pomoću digitalnog kalipera. Izmerili smo njen spoljašnji prečnik na sredini svog toka i njegovu ekstrakapsularnu dužinu od tačke njegovog poplitealnog porekla, sve do ulaza u kapsulu zgloba. Mi smo označili ulaznu tačku MGA u zadnju kapsulu zgloba i izmerili smo njenu distancu prema medijalnom i lateralnom epikondilu femura u posteriornoj ravni, aksijalnoj ravni i na femoralnom subkondilarnoj ravni unutar vertikalne ravni.

Druga grupa uzoraka sastojala se od 30 maceriranih odraslih femura, i muškaraca i žena. Da bi smo primenili i uporedili podatke sa onima iz prethodne opisane analize, izmerili smo interkondilarno rastojanje i visinu oba kondila svakog femura, kao i interkondilarnu širinu.

Kako bi se pomoglo u razumevanju položaja PA i MGA, usko povezanih sa zadnjom stranom tibijalnih i femoralnih kondila, napravili smo multidirekcionu kompijuterizovanu angiografiju (MDCTA) područja kolena. Održana je u odseku za radiologiju, Univerzitetske bolnice Ženeva, Švajcarska. Izvršeno je dva nova kadaverska uzorka levog i desnog donjeg uda, donacija tela, Sektora anatomije Medicinskog fakulteta Univerziteta u Ženevi. Lokalno zdravstveno zakonodavstvo dozvoljava istraživanje doniranih tela. Nije bilo medicinske istorije bolesti periferne vaskularizacije niti operacija koja uključuje donje ekstremiteta kod ispitivanih kadavera (ženska osoba, 83 godine).

Tanka anatomska kanila je umetnuta u femoralnu arteriju na nivou srednjeg dela natkolenice i fiksirana suturom. Arterije su temeljno isprane mlako vodom kako bi se izbegli svi krvni ugrušci. Proporcije rastvora za injekciju su bile sledeće: jedna petina barijum sulfata, jedna petina izotoničnih soli i tri petine tečnih lateksa. Svi otvori sudova su klemovani i suturirani. (npr duboka femoralna arterija). MDCTA je urađen 64 slajsnim CT – sistemom (CT 750, GE Medical sistem) koristeći kolimaciju od 0,625 mm, faktor spiralnog tona od 0.53125, table napajanja od 10.625 mm po rotaciji, 120 kVp, 0,8 s rotacije. Slike su rekonstruisane sa intervalom od 0,5 mm. Postoje dve akvizicije po uzorku, jedan u nastavku (L:146,839 stepeni, P: 144,701 stepeni) i u fleksiji (L: 56,603 stepeni , P: 58,042 stepeni). DICOM podaci slika podvrgnute su analizi pomoću 2D multiplanarne rekonstrukcije (MPR) sa maksimalnom projekcijom intenziteta (MIP) i 3D rezonderom (BP) tehnikom koristeći aplikaciju za obradu slike Osirik v. 3,9 64-bitne slike.

Statistička analiza obuhvata deskriptivne statističke podatke, tj. srednje vrednosti standardne devijacije (SD) izmerenih podataka. Parametarski test koji je korišćen u ovoj studiji je t-test za dva nezavisna uzorka. P vrednost manja od 0,05 smatra se statistički značajnom.

U drugom delu studije koja je sprovedena na Institutu za ortopedsko hirurške bolesti Banjica na osnovu dostupne dokumentacije kod pacijenata lečenih u periodu od 2009-2017. godine. Podaci su prikupljeni u papirnoj formi (Knee Evaluation Form) a potom su uključeni u bazu podataka. Metod kvadranta koji je opisao Bernard i sar.⁵¹ uz dokument-šemu za pozicioniranje femoralnog tunela , korišćen je u registrovanju mesta femoralnog pripoja odnosno određivanja pozicije femoralnog tunela kod rekonstrukcije LCA.

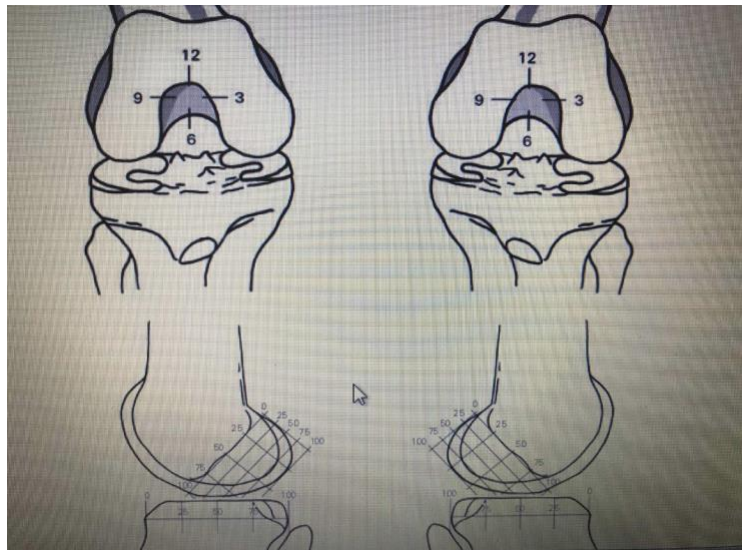
Rađena su tri istraživanja prema kojima su formirane tri grupe ispitanika:

GRUPA 1 - 60 pacijenata kod kojih je artroskopski registrovano mesto oštećenja LCA i obrađivane topografske karakteristike femoralnog i tibijalnog pripoja LCA na koštanim delovima kao i proksimalne i srednje-distalne trećine ligamenta sa posebnim osvrtom na zone vaskularizacije LCA.

GRUPA 2 - 30 pacijenata kod kojih su artroskopski definisane zone vaskularizacije u proksimalnom, srednjem i distalnom delu kod zdravog LCA

GRUPA 3 – 28 pacijenata gde je urađena reartroskopija nakon artroskopski asistirane jednostruke rekonstrukcije LCA

Sva ispitivanja su rađena tokom artroskopske procedue kolena korišćenjem standardnih anterolateralnih i anteromedijalnih portala.



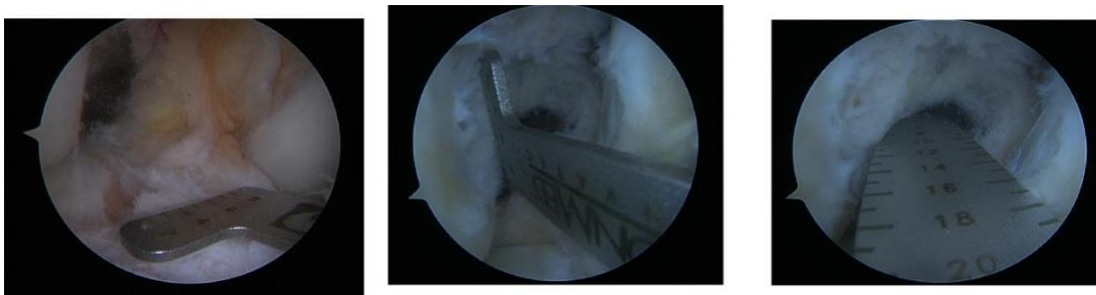
Šema br. 3 : Dokument za obeležavanje morfoloških karakteristika LCA (crteži gore), metod kvadranta za evaluaciju postavljanja femoralnih tunela (crteži dole)

Prvu grupu sačinjavaju pacijenti koji su zadobili povredu kolena i kod kojih je kliničkim pregledom i pregledom nuklerane magnetne rezonance konstatovana lezija LCA. U studiju su uključeni pacijenti uzrasta 18-47 godina, od čega je bilo 41 muškog i 19 ženskog pola. Artroskopski su registrovani mesto rupture prema lokalizaciji lezije na proksimalni, srednji i elongirani , kao i u odnosu na tip lezije na kompletnu i parcijalnu

leziju LCA. Mesta rupture su jasno prikazana nakon artroskopske disekcije brijačem (4,5mm) a elongirana-funkcionalno nedovoljna vlakna su detektovna ako nisu pokazivala ravnanje ili zatezanje nakon prednje fioke ili testa unutrašnje rotacije. Daljom čišćenjem mekotkivnih ožiljnih ostataka na mestu pripoja verifikovaćemo oblik, širinu i dužinu femoralnog i tibijalnog pripoja i uraditi njihovu deskriptivnu analizu u odnosu na uzorak u celini i prema polu.

U ovoj grupi ispitanika takođe ćemo uraditi analizu učestalosti povreda po sportovima u odnosu na povrede zadobijene vansportskim aktivnostima. Lokalizaciju i tipa lezije LCA posmatraćemo u odnosu na ukupan uzorak u celini nakon čega će se uraditi analiza istih parametara u odnosu na uzrastne grupe (18-27,28-37,38-47 godina) kao i po polu.

Tokom iste artroskopske procedure urađen je debridman ožiljnih ostataka LCA nakon čega će se verifikovati oblici femoralnog i tibijalnog pripoja. Korišćenjem artroskopskog metra vršiće su merenja dimenzija pripoja i ista zabeležavati. Nakon toga uradiće se poređenja morfometrijskih karakteristika prema polu ispitanika.



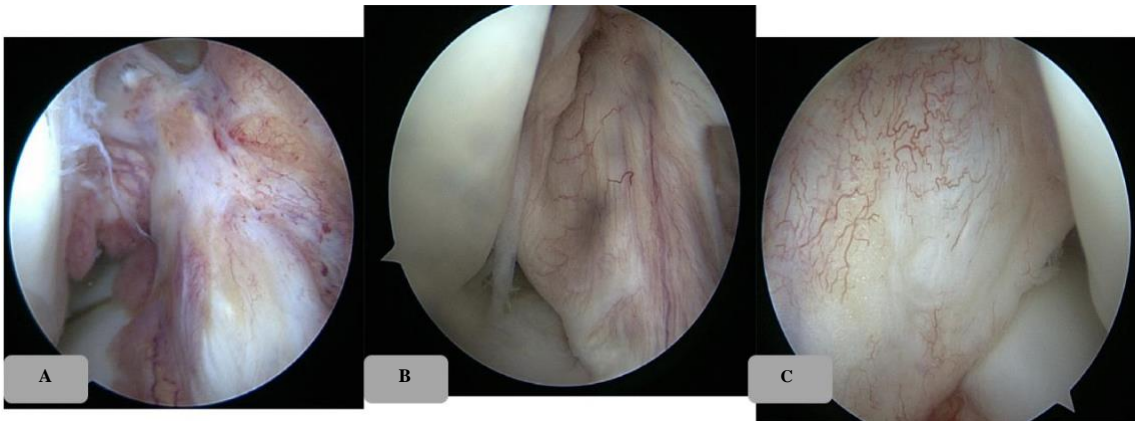
a)

b)

c)

Slika br.29: Pogled na artroskopska merenja pomoću metra. a) širina tibijalnog pripoja, b) širina femoralnog pripoja, c) dužina femoralnog pripoja

Osim toga artroskopskom vizualizacijom ostataka-ožiljnih promena LCA primećeno je da su ona izrazito hipervaskularizovana mrežom sitnih krvnih sudova raspređenih bez ikakvog reda. Obzirom da se patoloska vaskularizacija razvija vrlo brzo, praktično nekoliko meseci posle povrede, ta činjenica je iskorišćena i praćena kod elongiranih-disfunkcionalnih lezija LCA da bi se iskoristila kao mogući potencijalni znak lezije LCA u trenutku kada imamo dilemu da li je došlo do oštećenja ove veze.



Slika br.30: Pogled na ostatke LCA nakon rupture sa znacima hipervaskularnosti ožiljnog tkiva : a) mesec i po dana posle povrede b) šest meseci posle povrede i c) godinu dana posle povrede

U drugu grupu ispitanika kod koji su definisane zone vaskularizacije proksimalnog, srednjeg i distalnog dela LCA ušli su pacijenti kod kojih je uradjena artroskopija zbog drugih indikacija a kod kojih je kliničkim pregledom i nukleranom magnetnom rezonancom konstatovan očuvan-zdrav LCA. Analizirana je vaskularizacija proksimalnog, srednjeg i distalnog dela LCA pri čemu je ista ocenjivana kao vaskularna, delimično vaskularna i avaskularna zona.

Treću grupu ispitanika činilo je 28 pacijenata kod kojih je urađena reartroskopijska nakon artroskopski asistirane jednostruke rekonstrukcije LCA a kod kojih je indikacija za reintervenciju postavljena zbog oboljenja i/ili povreda drugih struktura kolena.



a)



b)



c)

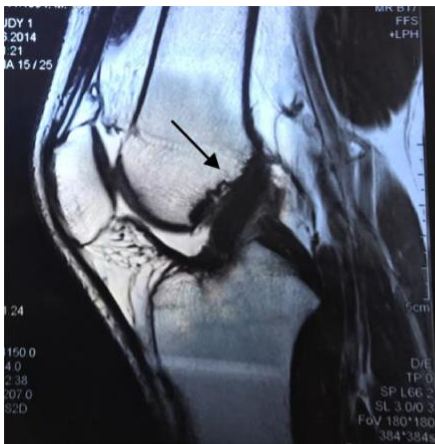


d)

Slika br.31 : Artroskopski pogled a) desnog kolena iz anterolateralnog portala u trenutku anatomske rekonstrukcije LCA, b) iz anteromedijalnog portala 6 meseci posle rekonstrukcije kod istog pacijenta, c) levog kolena iz anterolateralno portala u trenutku anatomske rekonstrukcije LCA, d) levog kolena iz anterolateralnog portala 2 godine posle rekonstrukcije kod istog pacijenta

Artroskopski asistirana jednostruka rekonstrukcija LCA sa autolognim St/G odnosno BPTB transplantatom rađena je u službama za ortopediju odraslih Instituta za

hirurško ortopedske bolesti Banjica u Beogradu. Uzorak ispitanika čine pacijenti kod kojih je rekonstrukcija LCA rađena iz dva različita pristupa. Kod prvog je korišćena transtibijalna tehnika a kod drugih anteromedijalna tehnika rekonstrukcije jednog snopa LCA. Broj ispitanika kod kojih je korišćena transtibijalna tehnika je bilo 15 a onih kod kojih je korišćena anteromedijalna tehnika je bilo 13. Ranije opisana transtibijalna tehnika u najvećem broju slučajeva zbog same anatomije kolena i tehničkih mogućnosti ne dozvoljava potpunu mogućnost rekonstrukcije to jest pravljenje tunela u anatomskej poziciji što samo po sebi postavlja rekonstrukciju u izometrijsku ili neanatomsku poziciju. Anteromedijalni pristup omogućava izvođenje rekonstrukcije po anatomskim principima gde je omogućeno postavljanje femoralnog tunela u poziciju za anatomsku rekonstrukciju LCA.



Slika br.32: Nalaz nuklearne magnetne rezonance kod uspešne rekonstrukcije LCA. Strelica pokazuje poziciju i uredan nalaz zamenskog grafta u dve ravni.

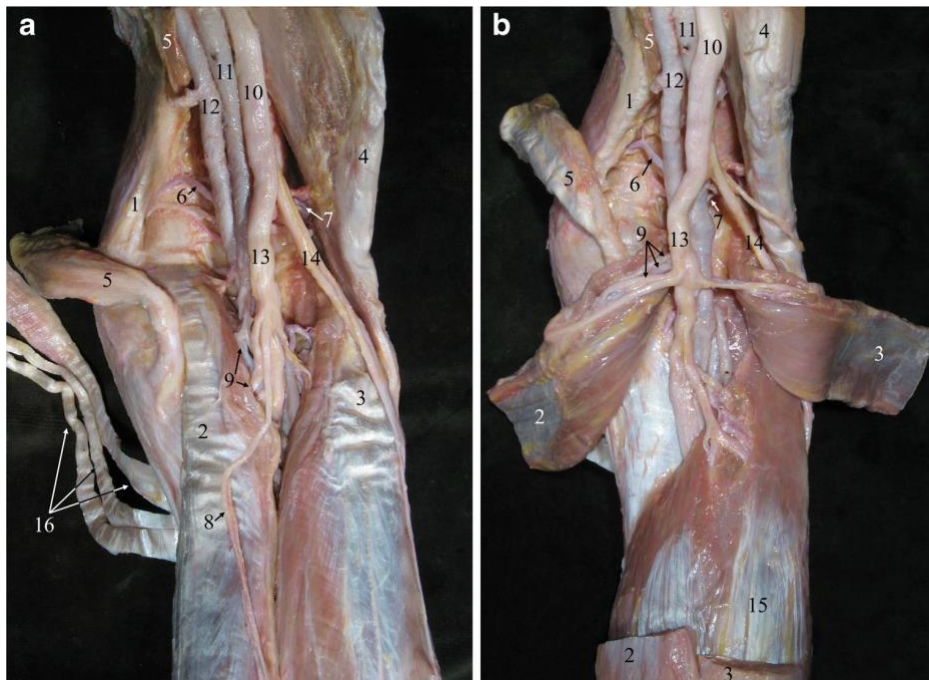
Za proksimalnu femoralnu fiksaciju korišćen je BioTransfix (Arthrex,Inc) ili TightRope Buton (Arthrx, Inc) a za distalnu fiksaciju u tibiji PLLA Bioabsorbable Screw (Arthrx,Inc). Svi su pacijenti prošli period rehabilitacije po istom protokolu u trajanju 6-8 meseci.

Tokom reartroskopske procedure registrovana je sinovijalna prepokrivenost grafta (što je znak revaskularizacije grafta sl. 31 b,d), tenziju grafta, oštećenje grafta, pozicije tunela grafta (anatomska, neanatomka, izometrijska).Rađena su poređenja u odnosu na pristup rekonstrukciji kao anteromedijalni i transtibijalni prema pozicija grafta, kao i pozicija grafta u odnosu na sinovijalnu prepokrivenost,tenziju i oštećenost grafta.

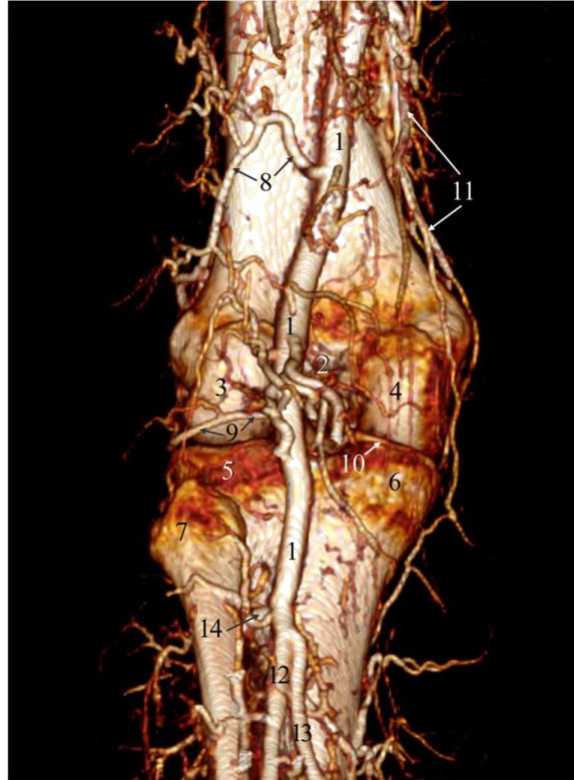
U drugom delu studije primarno dobijeni podaci su iskorišćeni za formiranje baze podataka i analizirani metodama deskriptivne i inferencijalne statistike. Od metoda deskriptivne statistike korišćene su mere centralne tendencije i mere varijabiliteta i to: aritmetičku sredinu sa standardnom devijacijom, minimalne i maksimalne vrednosti. Od metoda inferencijalne statistike korišćemo metode za procenu značajnosti razlike i to: numeričku jednofaktorsku analizu varijanse i Pearson-ov Hi kvadrat test. Testiranje statističkih hipoteza je obavljeno na nivou statističke značajnosti od 0.05. Statistička analiza uradjena je korišćenjem statističkog programa SPSS (SPSS for Windows, release 19.0, SPSS, Chicago, IL).

4. RESULTATI

U prvom delu studije naš pregled bio je fokusiran na anatomske karakteristike srednje genikularne arterije (MGA) i njenih grana u odnosu na zadnju kapsulu zgloba kolena i u odnosu na LCA. Naše disekcije su prikazale, duboko ispod kože, podkožno tkivo i poplitealnu fasciju, zajedničke fibularne i tibijalne nerve, i poplitealnu površnu venu od poplitealne arterije, fibrozno tkivo vaskularnog plašta, sa njihovim genikularnim granama (sl.33) . Mišići koji čine okvir poplitealne fosse su biceps femoris na gornjoj bočnoj granici, semitendinosus i semimembranosus na gornjoj medijalnoj granici, dok bočne i medijalne glave gastroknemijusa formiraju donje bočne i donje medijalne zidove (sl. 33). Uopšteno govoreći, PA se spušta koso do nivoa lateralnog kondila femura, onda se ukršta sa interkondilarnom fosom, vertikalno iza proširene kapsule kolenskog zgloba, više ili manje bočno od zadnje središnje linije (sl.34).



Slika br.33: Zadnji aspekt desnog kolena pokazuje površne (a) i srednje (b) slojeve poplitealne fosse (disekcija).Tetiva mišića aduktora magnusa (1), lateralna glava mišića gastroknemijusa(3), biceps femoris muscle (4), mišić semimebranosus (5),superiorna medijalna genikularna arterija (6), superiorna lateralna genukuklarna arterija (7) suralni nerv (8), suralna arterija,vena i nerv (9), išijadični nerv (10), politealna vena (11), poplitealna arterija (12), tibijalni nerv (13), zajednički fibularni nerv (14) mišić soleus (15)tetive pes anserinusa (16), poplitealni mišić (17).



Slika br. 34: Zadnja multidetektorska kompjueterizovana tomografska angiografija levog kolena pokazuje direktno levu poplitealnu arteriju (1), usmerenu iza interkondilarne fose (2), medijalno od lateralnog kondila femura (3), medijalni kondil femura (4) ,lateralni kondil tibije (5), medijalni kondil tibije (6), glava fibule (7), superiorna lateralna genikularna arterija (8), inferiorna lateralna genikularna arterija (9), inferiorna medijalna genikularna arterija (10), descedentna genikularana arterija (11), dominantna fibularna arterija (12), posteriorna tibija arterija (13) , anteriorna tibial arterija (14)

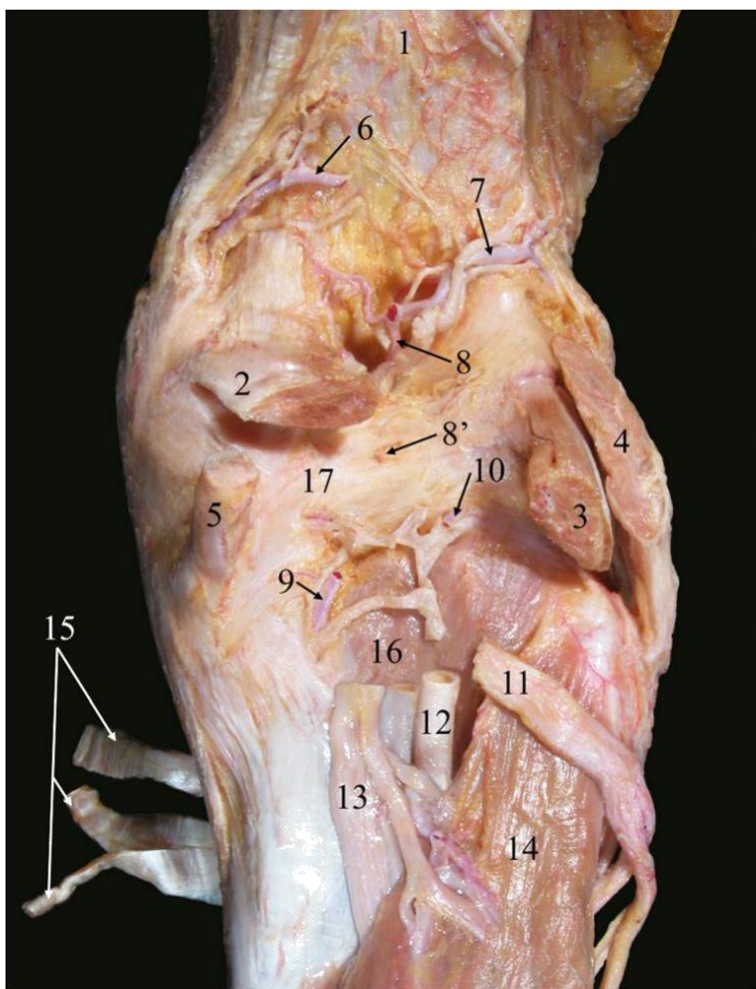
Srednja genikularna arterija (MGA) je najkraća, najdublja i najmanja vidljiva poplitalna grana zadužena za vaskularizaciju kolenog zgloba. MGA je glavni i najvažniji sud za vaskularizaciju ukrštenih ligamenata i susednih tkiva. Potiče kao nezavisna kolateralna grana sa prednjeg zida PA u 16 (53,4%) slučajeva (9 sa desne strane,7 sa leve strane) od kratkog zajedničkog stabla sa superiorne lateralne genikularne arterije u 10 (33,3%) slučajeva (7 desno, 3 levo), ili iz iste tačke porekla sa superiornom lateralnom genikularnom arterijom i superiornom medijalnom genikularnom arterijom u 4 (13,3%)

slučajeva (3 desna, 1 levo) (sl.34). MGA se kreće od 12,5 do 19,2 mm dužine (srednje, $15,58 \pm 1,59$ mm). Njegov spoljašnji prečnik varira od 1,3 do 1,9 mm (srednje, $1,8 \pm 0,13$ mm) (sl.35) (tabela br.2). Pri ispravljenoj nozi, arterija je pokazala dva pravca prostiranja. Kod jednog pružajući se spređa, nakon kraćeg dela nagore i kod drugog mnogo duže nadole, ulazi u poplitealno masnu tkivo, prateći dve vene, približavajući se ulazu u zadnji deo kapsule kolena (sl.36a). Kod savijenog kolena, MGA je iznenada promenila svoj izuvijan izgled i postaje prava i istegnuta (sl.36b). Otvor za prolaz MGA bio je najčešće, odmah iznad gornje granice kosog poplitealnog ligamenta, u 19 (63,3%) slučajeva, ili preko samog ligamenta u 11 (36,7%) slučajeva.

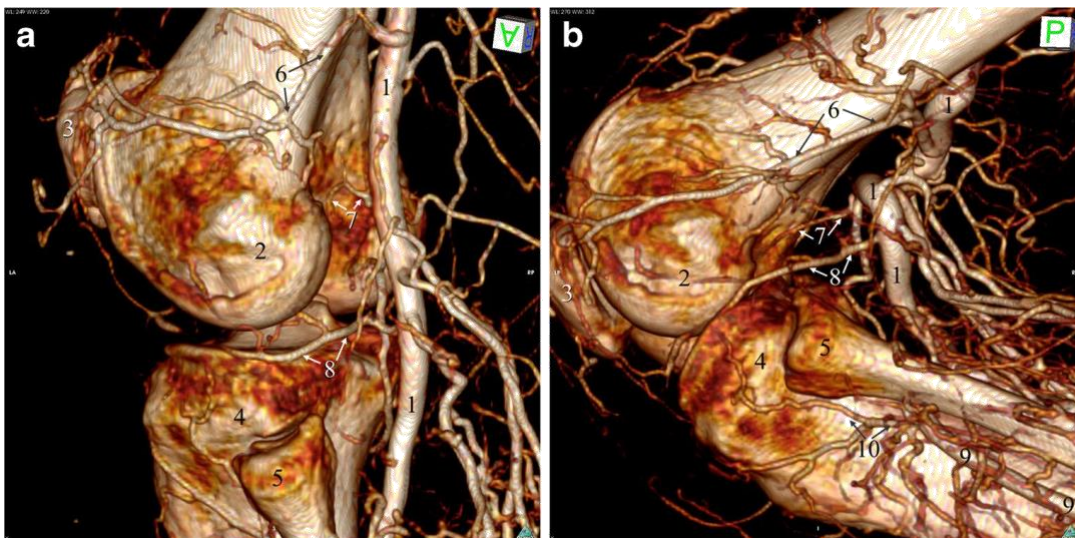
Tabela br. 2: Poreklo i merenja MGA i AMGA

Poreklo od poplitealne arterije (PA)	Frekvencija (%)	Dužina (mm); rang (mean±SD)	Diameter (mm); rang (mean±SD)
Jedna	16 (53.4)	12.5–19.2 (15.58±1.59)	1.3–1.9 (1.8±0.13)
Zajedničko stablo sa SLGA	10 (33.3)		
Zajedničko stablo sa SLGA i SMGA	4 (13.3)		
AMGA	9 (30 %)		0.4–0.85 (0.6)

Legenda: MGA-srednja genikularna arterija, AMGA-akcesorna srednja genikularna arterija, SMGA-superiorna medijalna genikularna arterija, SLGA-superiorna lateralna genikularna arterija



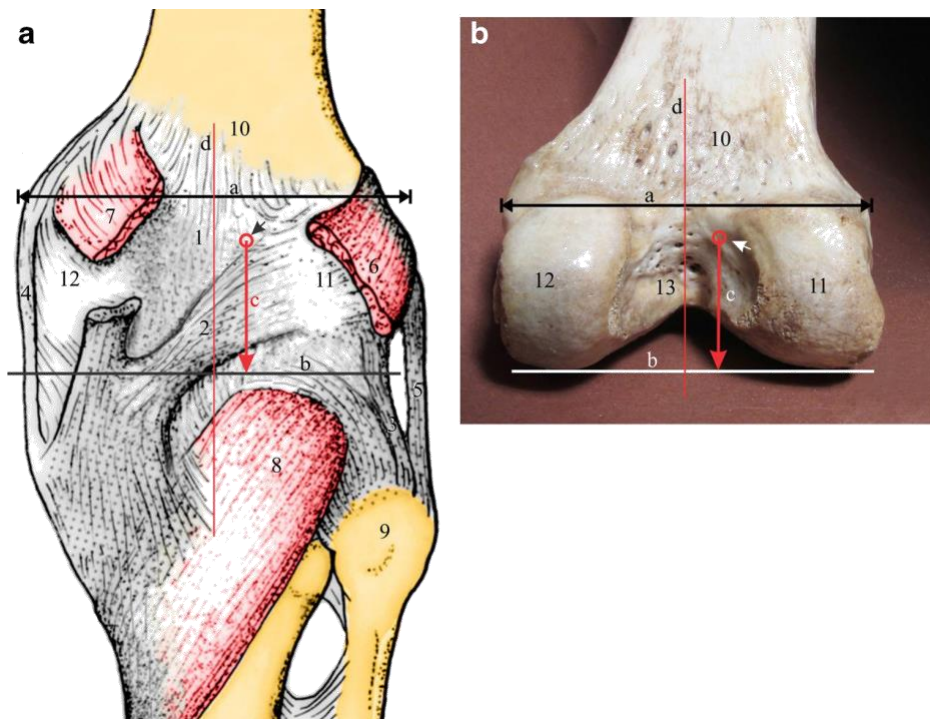
Slika br. 35: Posteriorni aspekt desnog kolena pokazuje duboke slojeve poplitealne fose (duboka disekcija). Poplitealna površina femura (1), medijalna glava mišića gaskriknemiusa (2), lateralna glava mišića gaskriknemiusa (3), mišić biceps femoris (4), tetiva semimebranosusa (5), superiorna medijalna genikularna arterija (6), superiorna lateralna genikularna arterija (7), srednja genikularna arterija (8), inferiorna srednja genikularna arterija (10), zajednički fibularni nerv (11), poplitealna arterija (12), tibijalni nerv (13), mišić soleus (14), tetive pes anserinususa (15), poplitealni mišić (16), kosi poplitealni ligament(17)



Slika br.36: Slika lateralna multidetektorski kompjuterizovane tomografske angiografije (MDCTA) levog kolena u punoj ekstenziji (a), i na 120 ° fleksije (b). Leva poplitealna arterija (1), lateralni kondil femura (2), patela (3), lateralni kondil tibije (4), glava fibule (5), superiorna lateralna genikularna arterija (6), srednja genikularna arterija (7), inferiorna lateralna genikularna arterija (8), anteriorna tibijalna arterija (9), tibijalna rekurentna arterija (10)

U 9 (30%) donjih udova smo primetili drugu, inferiornu ili dodatnu srednju genikularnu arteriju (AMGA). Nakon odvajanja sa PA, u proseku 1,3 cm (opseg 0,8-1,5 cm) ispod početka primarne MGA, ova arterija predstavljena je kao manji sud, sa prosečnim prečnikom 0,6 mm (opseg 0,4- 0,85 mm). Približava se donjoj posteriornoj kapsuli ojačanoj kosim poplitealnim ligamentom i ulazi u zglob (sl. 35).

Najkraća udaljenost MGA od ulaza u kapsulu do lateralnog femoralnog epikondila je izmerena od 29,2 do 39,1 mm (srednja vrednost $34,88 \pm 2,51$), a do medijalnog femoralnog epikondila od 40,5 do 49,8 mm (srednja vrednost $46,38 \pm 2,33$ mm). Od interepikondilarne udaljenosti istih diseciranih nogu koji se kretao između 69,7 i 89,2 mm (srednja vrednost $81,2 \pm 4,73$ mm) izračunali smo polaožaj ulazne tačke MGA u zadnju kapsulu zgloba kolena u odnosu na zadnju srednju liniju, u rasponu od 2,9 do 6,6 mm (srednja vrednosr $5,74 \pm 0,6$ mm). Vertikalno rastojanje od istog otvora penetracije MGA do nivoa femoralne subkondilarne ravni varira od 24,2 do 37,8 mm (srednje vrednosti $28,73 \pm 3,4$ mm) (sl. 37) (tabela br.3).



Slika br.37. Crtež posteriornog aspekta kapsule desnog kolena (1) ojačana sa kosim poplitealnim ligamentom (2), arkuatnim poplitealnim ligamentom (3), tibijalni (4) i fibularni (5) kolateralni ligament, i zadnji aspekt distalnog femura (B). Lateralna glava mišića gastroknemiusa (6), medijalna glava mišića gastriknemiusa (7), poplitealni mišić (8), glava fibule (9), poplitealna površina femura (10), lateralni kondil femura (11), medijalni kondil femura (12), interkondilarna fosa (13), interepikondilarna distanca (a), femoralni subkondilarni plan (b), distance do femoralne subkondilarne ravni (c), posteriorna srednja linija (d), krug (strelica) pokazuje srednju tačku ulaska srednje genikularne arterije

Merenja povezana sa distalnim krajem izolovanog femura pokazala su da se interepikondilarna rastojanja kreću između 67,8 i 90,5 mm (srednja vrednost $79,75 \pm 5,72$ mm), a interkondilarne širine su se kretale između 17,8 i 31,6 mm (srednja vrednost $23,81 \pm 3,17$ mm). Visina medijalnih kondila varirala je od 31,5 do 45 mm (srednja $38,72 \pm 3,81$), visine bočnih kondila merenih od 30,5 do 43,9 mm (srednja vrednost $37,8 \pm$

3,64), sa prosečnom visinom oba kondila, merena sa zadnje strane, od $38,26 \pm 3,73$ mm (sl.37).

Table br.3: Razdaljine od tačke ulaska MGA u zglobnu kapsulu do mernih referenci

Merne reference	Medialni Femoralni Epikondil	Lateralni femoralni epikondil	Zadnja srednja linija	Femoralna subkondilarna ravan
Distanca (mm)	40.5–49.8	29.2–39.1	2.9–6.6	24.2–37.8
Rang (mean±SD)	(46.38±2.33)	(34.88±2.51)	(5.74±0.6)	(28.73±3.4)

Nije postojala statistički značajna razlika između interepikondilarnih rastojanja disekovanih nogu i transepikondilarnih rastojanja izolovanih femura ($p = 0,290$; $p > 0,05$).

Prvi deo drugog dela studije kojim je istraživano mesto povređivanja i topografske karakteristike LCA uključio je 60 pacijenata, muških 41 i ženskih 19. Posmatrajući učestalost povrede u odnosu na sportske aktivnosti i vansportske povrede LCA dobijeno je da su od ukupnog broja 68.3% povređenih na sportskim aktivnostima gde se u odnosu na ukupan broj najviše njih povređuju na fudbalu 25%, 10% na košarci, 6.7% na skijanju što se praktično poklapa sa analizama drugih autora. Zantop i sar. Navode podatak da je učestalost povrede fudbalera 31%, košarkaša 17 i skijaša 6.7%³⁶.

Tabela br. 4: Učestalost povređenih po sportovima

Aktivnost	f	%
Fudbal	15	25,0
Košarka	6	10,0
Rukomet	1	1,7
Odbojka	3	5,0
Skijanje	4	6,7
Drugi sportovi	12	20,0
Vansportske aktivnosti	19	31,7
Ukupno	60	100,0

Dalje su upoređivani lokalizacija lezije LCA i tip lezije u odnosu na ukupan broj pacijenata kao i po trima uzrastnim grupama i to 23 pacijenta u uzrastnoj grupi od 18-27 godina, 20 pacijenata u uzrastnoj grupi 28-37 godina i 17 pacijenata od 38-47 godina.

U odnosu na lokalizaciju lezije dobijeno je da se povreda u proksimalnom delu dogodila kod 37 pacijenata ili 61.7% , u srednjem delu kod 17 pacijenata ili 28.3%, što prijavljuju i Zantop i sar.³⁶ a povreda u vidu elongacije-funkcionalne insuficijencije kod 6 pacijenata odnosno 10% kao i da se u distalnom delu nije dogodila ni jedna povreda LCA u uzrastu od 18-47 godina.

Što se tipa lezije tiče kompletna lezija se dogodila kod 50 pacijenata ili 83.3% a parcijalna kod 10 odnosno 16.7% od ukupnog broja ispitanika.

Tabela br. 5 . Lokalizacija i tip lezije LCA za uzorak u celini (N=60)

		f	%
proksimalni deo LCA		37	61.7
Lokalizacija lezije LCA	srednji deo LCA	17	28.3
elongira LCA		6	10
kompletna lezija LCA		50	83.3
Tip lezije LCA	parcijalna lezija LCA	10	16.7

Tabela br.6: Lokalizacija i tip lezije u odnosu na uzrastne grupe

Starost	LL LCA			TLLCA	
	P	S	E	K	P
18-27	43.2%	47.1%	0	38%	50%
28-37	40.5%	11.8%	33.3%	36%	10%
38-47	16.2%	41.2%	66.7%	26%	40%

Legenda: LL LCA-lokalizacija lezije LCA, TL LCA-tip lezije LCA, P-proksimalni deo, S-srednji deo, E-elongiran, K-kompletna lezija,P-parcijalna lezija

Upoređujući lokalizaciju lezije i tip lezije nađeno je da postoje statistički značajne razlike između uzrasnih grupa ispitanika u pogledu lokalizacije lezije (hi-kvadrat =11.780; $p < .05$), dok u pogledu tipa lezije ne postoje statistički značajne razlike (hi-kvadrat =2.655; $p > .05$). Kod ispitanika nisu nađene bez obzira na uzrast lezije LCA u distalnom delu. Lezije u proksimalnom delu LCA su zastupljenije u mlađim uzrastima (uzrast 18-27 do 43.2% i nešto manje u uzrastu 28-37 godina 40.5%). Što se tiče tipa lezije kompletne rupture su takođe više zastupljenije u uzrastima od 18-27 i 28-37 godina.

U mlađem uzrastu povrede se događaju kod sportista gde je prisutna veća aktivnost i opterećenje u trenutku povrede.

Proksimalna lokalizacija lezije i veća učestalost je povezana sa boljom vaskularizacijom proksimalnog dela LCA u odnosu na nešto jaču histološku strukturu srednjeg i distalnog dela LCA koja može da istrpi veće sile istezanja.

Tabela br.7: Lokalizacija i tip lezije po polu

Pol	LL LCA			TLLCA	
	P	S-D	E	KL	PL
Muški (N=41)	62.2%	82.4%	66.7%	66%	80%
Ženski (N=19)	37.8%	17.6%	33.3%	34%	20%

P-proksimalni deo, S-D srednjedistalni deo, E-elongiran, KL-kompletna lezija, PL-parcijalna lezija

Nije bilo statistički značajnih razlika po polu ispitanika u pogledu lokalizacije (hi-kvadrat =2.203; $p > .05$) i tipa lezije (hi-kvadrat =.755; $p > .05$) te se zaključuje da se različiti tipovi i lokalizacije lezije LCA ravnomerne učestalosti u odnosu na pol.

Tabela br.8: Oblik femoralnog i tibijalnog pripoja (N=60)

	ovalan	43	71.7
Oblik femoralnog pripoja			
	ravan	17	28.3
	oblik „C“	47	78.3
Oblik tibijalnog pripoja			
	oblik „J“	13	21.7

Analizom topografskih karakteristika dobijeno je da je oblik femoralnog tunela najčešće ovalan u 71.7% slučajeva a ravnog oblika u 28.3%. Oblik „C“ tibijalnog pripoja je kod 78.3% pacijenata dok je „J“ oblik zastupljen kod 21.7% ispitanika.

Tabela br.9: Osnovni deskriptivni pokazatelji femoralnog i tibijalnog pripoja (Min, Max, M, SD) (N=60)

Varijable	Min	Max	M	SD
Dužina femoralnog pripoja	14	22	17.60	1.43
Širina femoralnog pripoja	6	12	9.07	1.41
Dužina tibijalnog pripoja	12	19	15.87	1.93
Širina tibijalnog pripoja	6	12	10.15	1.30

Dužina femoralnog pripoja je prosečno 17.60 ± 1.43 mm sa rangom od 14-22 mm, a širina 9.07 ± 1.41 mm sa rangom 6-12mm.

Dužina tibijalnog pripoja je izmerena u proseku 15.87 ± 1.93 mm sa rangom 12-19mm a širina tibijalnog pripoja 10.15 ± 1.30 mm sa rangom 6-12mm.

Tabela br.10: Osnovni deskriptivni pokazatelji femoralnog i tibijalnog pripoja po polu (Min, Max, M, SD)

Varijable	M (N=41)				Ž (N=19)			
Varijable	Min	Max	M	SD	Min	Max	M	SD
Dužina femoralnog pripoja	16	22	17.85	1.389	14	20	17.05	1.393
Širina femoralnog pripoja	7	12	9.41	1.183	6	11	8.32	1.600
Dužina tibijalnog pripoja	12	19	16.05	1.702	12	18	15.47	2.366
Širina tibijalnog pripoja	7	12	10.37	1.067	6	12	9.68	1.635

Analiza varijanse je pokazala da su razlike između muškaraca i žena statistički značajne u pogledu širine femoralnog pripoja ($F(1,59)=8.909$ $p<.05$) i dužine femoralnog pripoja ($F(1,59)=4.311$, $p<.05$). U pogledu dužine tibijalnog pripoja ($F(1,59)=1.150$ $p>.05$), i širine tibijalnog pripoja ($F(1,59)=3.737$ $p>.05$) razlike između muškaraca i žena nisu statistički značajne. Ovaj rezultat je značajan zbog izbora grafta i načina restauracije i postavljanja femoralnog i tibijalnog tunela tokom anatomske rekonstrukcije LCA.

U drugu grupu ispitanika kod koji su definisane zone vaskularizacije proksimalnog, srednjeg i distalnog dela LCA bilo je 30 ispitanika. Analizirana je vaskularizacija proksimalnog, srednjeg i distalnog dela LCA pri čemu je ista ocenjivana

kao vaskularna ,delimično vaskularna i avaskularna zona. Kod svih ispitanika vaskularizacija distalnog dela je bila delimično vaskularna.

Tabela br.11: Vaskularizacija neoštećenog LCA ,proksimalni i srednje-distalni deo u odnosu na pol

Pol	SDD LCA			PD LCA	
	V	DV	AV	V	DV
Muški (N=12)	60%	20%	40%	45.8%	16.7%
Ženski (N=18)	40%	80%	60%	54.2%	83.3%

Legenda : SDD LCA-srednji-distalni deo LCA, PD LCA-proksimalni deo LCA, V-vaskularan,DV-delimično vaskularan, AV-avaskularan

Nije bilo statistički značajne razlike po polu o odnosu na vaskularizaciju srednjeg (hi-kvadrat =1.667, $p>.05$) i proksimalnog (hi-kvadrat =1.701, $p>.05$) dela LCA.

Tabela br.12. Uporedni prikaz vaskularizacije neoštećenog LCA, proksimalni i srednji i distalni deo u odnosu na uzrastne grupe (18-27, 28-37, 38-47)

starost	Proksimalni deo			Srednji deo			Distalni deo		
	V	DV	AV	V	DV	AV	V	DV	AV
18-27	54.2%	33.3%	0%	0%	80%	44%	0%	100%	0%
28-37	20.8%	16.7%	0%	0%	20%	20%	0%	100%	0%
38-47	25%	50%	0%	0%	0%	36%	0%	100%	0%

Legenda :V-vaskularan, DV-delimično vaskularan, AV-avaskularan

Nema statistički značajnih razlika u odnosu na uzrast ispitanika u pogledu vaskularizacije proksimalnog dela LCA (hi-kvadrat =1.458; $p>.05$) Statistički značajne razlike u odnosu na uzrast ispitanika u pogledu vaskularizacije proksimalnog dela LCA su se ispoljile u pogledu srednjeg dela LCA (hi-kvadrat =28.000; $p<.05$).

Proksimalni deo LCA je dobro vaskularizovan bez obzira na uzrast ispitanika i značajno je bolje vaskularizovan u odnosu na srednji deo LCA koji je fizioloski avaskularan.

U poslednjoj grupi ispitanika uvršteni su pacijenti koji su operisani i kod kojih je urađena artroskopski asistirana jednostruka rekonstrukcija LCA a zatim i reartroskopija istog kolena. Ispitano je 28 pacijenata koji su svrstani u dve grupe u odnosu na pristup pri izvođenju ove intervencije (AM-anteromedijalni ili TT-transtibijalni) koji su upoređivani u odnosu na poziciju grafta.

Tabela br.13. Uspešnost AM i TT pristupa o odnosu na poziciju grafta

Hirurški pristup	Pozicija grafta		
	anatomska	izometrijska	neanatomska
AM	86.7%	0	0
TT	13.3%	100%	100%

Uspešnost pristupa kod rekonstrukcije proveravana je hi kvadrat testom. Rezultati su pokazali da je AM rekonstrukcija uspešnija u odnosu na TT rekonstrukciju u pogledu postavljanja grafta u anatomsku poziciju (hi-kvadrat =21.031; $p<.05$)

Pozicija grafta (anatomska, izometrijska i neanatomska) je ujedno i značila pristup operativnoj tehnici gde je anatomsko pozicija značila anatomsku rekonstrukciju a neanatomska i izometrijska pozicija su značile neanatomsku rekonstrukciju LCA, te je uspešnost lečenja anatomske i neanatomske rekonstrukcije testirana kroz poziciju grafta u odnosu na sinovijalnu prepokrivenost, tenziju i oštećenost odnosno neoštećenost grafta.

Tabela br.14. Pozicija grafta u odnosu na sinovijalnu prepokrivenost, tenziju grafta i oštećenje grafta

Pozicija Grafta	Sinovijalna prepokrivenost			Tenzija grafta		Oštećenje grafta		
	dobra	zadovoljavajuća	siromašan	zategnut	labav	da	delimično	ne
anatomska	10(90.9)	4(44.4)	1(12.5)	15(71.4)	0(0)	0(0)	4(40)	11(84.6)
izometrijska	1(9.1)	2(22.2)	1(12.5)	3(14.3)	1(14.3)	1(20)	3(30)	0(0)
neanatomska	0(0)	3(33.3)	6(75)	3(14.3)	6(85.7)	4(80)	3(30)	2(15.4)

Legenda: vrednosti su izražene u broju/procent

Postoji statistički značajna razlika u korist anatomske pozicije u odnosu na dobru sinovijalnu prepokrivenost (hi-kvadrat = 14.255, $p < .05$), u odnosu na tenziju grafta (hi kvadrat = 13.333, $p < .05$) i u odnosu na oštećenje grafta (hi kvadrat = 13.774, $p < .05$)

Anatomska rekonstrukcija LCA u odnosu na neanatomsku i izometrijsku rekonstrukciju je uspešnija u pogledu dobre sinovijalne prepokrivenosti i vaskularizacije, tenzije i neoštećenosti grafta te i da je anteromedijalni hirurški pristup efikasniji u odnosu na transtibijalni pristup.

5.DISKUSIJA

Standardni udžbenici anatomije kolena sadrže nedovoljne podatke o mikrohiruskoj anatomiji ekstra i intrakapsularnog dela MGA^{1,2}. Naši primeri ispitivanih MGA su predstavljeni kao bočne grane PA, konstno i normalno razvijene. Kod 30% primera je nađeno dodatna grana koja je nazvana akcesornom MGA i koja snabdeva donji unutrašnji deo kolenog zgloba. Nisu nađeni slučajevi anatomskih varijacija sa tri grane a koje su neki anatomi kao varijacije navodili u svojim ranijim istraživanjima²⁵. Male kapsularne grane PA su primećene, ali nisu ušle u kolenski zglob niti učestvovala u snabdevanju unutrašnjih zglobnih struktura. Salaria i Atkinson su naveli da MGA obično potiče od anterolateralne površine PA⁵³, ali prema Scapinelliju²⁵ pojavljuje se ortogonalno u odnosu na anteriorni aspekt PA. Naše opservacije su pokazale da je njegova tačka porekla zavisila od obrasca granjanja PA. Ako je MGA bila nezavisna kolateralna grana PA, u 53,4% kolena, došla je sa anteriorne površine PA. U uzorcima sa kratkim zajedničkim stubom za MGA i SLGA (33,3% svih slučajeva), anterolateralna površina PA je bila strana porekla MGA. Takav obrazac uglavnom odgovara učestalosti do 40% prijavljenih u literaturi²⁵. U preostalim 13,3% slučajeva MGA je imala istu tačku porekla sa SLGA i SMGA, sve tri sa prednje strane PA. Ova vrsta porekla MGA nije opisana niti spomenuta u dostupnoj literaturi.

S obzirom na dužinu MGA i spoljašnji prečnik, naši rezultati (15,6 i 1,8 mm, respektivno) odgovaraju onima (dužine oko 15 cm, spoljnog prečnika 1,5-1,8 mm) koje je dao Scapinelli²⁵. Sa druge strane Salaria i Atkinson⁵³ su prijavili veće dimenzije, 1,5-2,5 cm za dužinu arterije i 2-4 mm za spoljni prečnik⁵³. Razlog značajnih razlika možemo tražiti u različitim alatima za merenje tj. različitoj metodologiji merenja.

Naš pregled je potvrdio da je MGA jedinstvena arterija, neuparena grana PA koja se prostire napred prema kapsuli zgloba potpuno okružena masnim tkivom i pokazuje promenljive krivine u odnosu na ispruženost kolenog zgloba.

Inferiorna ili dodatna srednja genikularna arterija (AMGA), koja je identifikovana u 30% kolena, odvaja se u proseku 1,3 cm ispod MGA, sa srednjim spoljašnjim prečnikom od 0,6 mm. Ovo se slaže sa podacima koje navodi Scapinelli²⁵ sa incidencom od 15% i tačkom početka 1,5-2 cm distalno od porekla glavne MGA.

Očigledno je da je tokom produženja kolena MGA zakrivljena zbog kompresije u uskom prostoru između PA i zadnje kapsule, a da se tokom fleksije kolena ispravlja. MGA se progresivno pomera tokom fleksije kolena jer se PA pomera unazad, daleko od zadnje strane tibijalnih kondila^{54,54}.

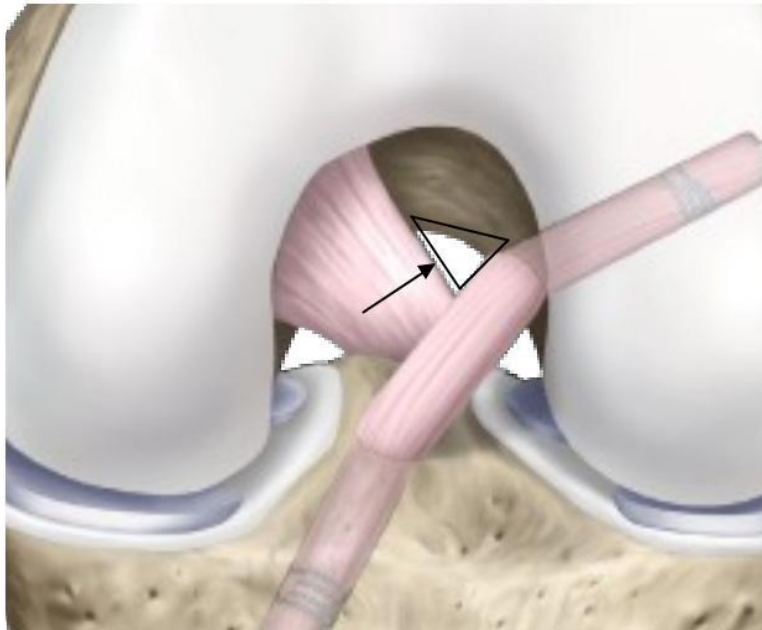
Naša preliminarna studija o položaju PA, kao i njenim pokretima tokom fleksije, pokazala je srednje pomeranje od 1,1 cm na 120 °. Shetti i sar. proučava seriju od 100 kolena, pokazujući da se u 85% slučajeva fleksija može smatrati sigurnijom pozicijom za operaciju kolena u leđnom položaju pacijenta⁵⁴.

Scapinelli je opisao MGA da proдре u zglob kroz jednu od postojećih otvora u kosom poplitealnom ligamentu, ili retko iznad ligamenta²⁵. Međutim, utvrdili smo da je MGA ulazi u kolenski zglob na dva mesta: odmah iznad gornje granice kosog poplitealnog ligamenta u 63,3% slučajeva ili prolazeći kroz sam ligament u 36,7%. Bilo je očigledno da tačan položaj unosa MGA nije precizno predstavljen. Naša merenja su po prvi put postavljala ulaznu tačku MGA u zajedničku kapsulu u odnosu na bočni epikondil (34,88 mm), srednji femoralni epikondil (srednja 46,38 mm), posteriorna srednja linija (5,74 mm), a sa prosečnom vertikalnom rastojanjem do ravni subkondilarne ravni femura 28,73 mm. Upoređujući ovu poslednju meru sa srednjom vrednošću prosečne visine oba kondila izolovanog femura, mereno od pozadi (38,26 mm), možemo reći da prosečna tačka MGA ulaza leži na 75% prosečne visine kondila i 5,74 mm bočno prema posteriornoj sredini. Ova bočna pozicija MGA je razumljiva ako zapamtimo da se PA spušta kosom, a onda prelazi interkondilarnu fosu vertikalno iza proširene kapsule kolenskog zgloba, više ili manje bočne prema posteriornoj sredini^{25,52}.

Anatomsko poznavanje lokacije PA i porekla MGA, njen ekstrakapsularni tok i položaj mogu biti važni za arterijsku evaluaciju sa MR angiografijom⁵⁶ ali još bitnije za hirurški pristup rekonstrukcije LCA i osvežavanja vaskularizacije završnih grana koje su obuhvaćene ožiljkom nakon lezije ovog ligamenta.

Poznavanje mesta ulaska kroz kapsulu zgloba i prostiranja prema femoralnom odnosno proksimalnom delu LCA sa distribucijom završnih ushodnih i nishodnih grana koje vaskularizuju LCA i LCP može pomoći postavljanju grafta u poziciju gde bi trebalo

da ostane „slobodan prostor“ približan prirodnoj anatomiji. Taj slobodan prostor liči na trougao koji prave LCA,LCP i krov interkondilarne fose i gde su u praćena meka tkiva uronjene završne grane MGA (sl.38).



Slika br.38: Pokazuje slobodan prostor koji kod normalnih anatomskih odnosa izgleda u obliku „trougla“ čije stranice prave LCA,LCP i krov interkondilarne fose.

Drugi deo istraživanja je sproveden na odeljenjima za rekonstruktivni hirurgiju IOHB“Banjica“u periodu od 2009. do 2017.godine. Urađena su tri istraživanja. Prvo istraživanje se odnosilo na određivanje topografski karakteristike femoralnog i tibijalnog pripoja LCA na koštanim delovima kao i proksimalne, srednje i distalne trećine ligamenta sa posebnim osvrtom na zone vaskularizacije LCA. Drugo istraživanje je bila analiza slučajeva rupture LCA sa definisanjem mesta najčešćeg oštećenja ove veze nakon čega su rezultaati dobijeni povezivani sa mikromorfološkim karakteristikama strukture odgovarajućeg segmenta ligamenta. Treće istraživanje se odnosilo na analizu rezultata nakon rekonstrukcije LCA čime je definisan najprihvatljiviji način rekonstrukcije prednje ukrštene veze kolena LCA.

Demografski posmatrano duplo veći broj slučajeva sa lezijom LCA (41 muški i 19 ženski) je nađen ali taj podatak treba uzeti sa rezervom obzirom da je rizik od povreda LCA znatno veći na strani ženskog pola, već to treba objasniti većom željom muške populacije za vraćanjem aktivnom životu ili sportskim aktivnostima.

Pregledom literature jedni autori navode da se rupture srednjeg dela LCA događaju i do 72%, dok drugi autori navode da se rupture najčešće događaju u proksimalnom i srednjem delu LCA u oko 2/3 slučajeva i više. Rupture se kod odraslih vrlo retko, praktično i ne dešavaju u distalnom delu.

U odnosu na učestalost povreda one su češće kod ljudi koji se bave visokoenergetskim sportovima i do 68.3% kao što su fudbal, košarka, skijanje i rezultati koje smo dobili su slični u odnosu na druge autore.

Posmatrano prema lokalizaciji lezije dobijeno je da su se povrede proksimalnog delu dogodile kod 37 pacijenata ili 61.7% , u srednjem delu kod 17 pacijenata ili 28.3%, kao i da se u distalnom delu nije dogodila ni jedna povreda LCA. Obzirom da mikranatomske osobine segmenata govore da je najvaskularniji deo ligamenta proksimalni deo a da srednji deo ima histoloski najveći otpor istezanju mogu se povezati činjenice da će lokalizacija lezije LCA uveliko zavistiti pored mehanizma povrede i od vaskularizacije i histoloskih karakteristika te da su one najverovatnije razlog ovakve učestalosti lokalizacije povreda LCA. Proksimalna lokalizacija lezije i veća učestalost je povezana sa boljom vaskularizacijom proksimalnog dela LCA u odnosu na nešto jaču histološku strukturu srednjeg dela LCA koja može da istrpi veću sile opterećenja.

Što se tipa lezije tiče kompletna lezija se dogodila kod 50 pacijenata ili 83.3% a parcijalna kod 10 odnosno 16.7% od ukupnog broja ispitanika što s donekle razlikuje os studija drugih istraživača koji navode parcijalne rupture u 25% pa čak i do 56% slučajeva. Razlika u ovom slučaju mogla bi se pronaći u načinu uključivanja pacijenata u studiju obzirom da smo mi pravili uzorak samo kod slučajeva koji su podvrgnuti naknadnoj rekonstrukciji LCA i uglavnom kod sportisa gde je prisutna veća aktivnost i opterećenje u trenutku povrede.

Gledano po uzrastnim grupama, kod ispitanika nisu nađene bez obzira na uzrast lezije LCA u distalnom delu. Lezije u proksimalnom delu LCA su zastupljenije u mlađim uzrastima (uzrast 18-27 do 43.2% i nešto manje u uzrastu 28-37 godina 40.5%). Što se tiče tipa lezije kompletne rupture su takođe više zastupljenije u uzrastima od 18-27 i 28-37 godina.

U odnosu na pol nisu nađene značajnije razlike po lokalizaciji i tipu lezije. Obzirom da anatomske karakteristike interkondilarnog prostora kod žena povećavaju rizik od povrede u odnosu na muškarce trebalo bi dodatno preispitati ovu ujednačenost po ovom parametru među polovima.

Izmerene morfološke karakteristike pripoja LCA, i njegovog srednjeg dela dobijene su vrednosti koje minimalno odstupaju u odnosu na druge autore koji su se bavili ovom problematikom. Oblik femoralnog pripoja najčešće ovalan u 71.7% slučajeva a oblik "C" tibijalnog pripoja je bio prisutna kod 78.3% pacijenata.

Dužina femoralnog pripoja je izmerena prosečno 17.60 ± 1.43 mm sa rangom od 14-22 mm, a širina 9.07 ± 1.41 mm sa rangom 6-12 mm. Dužina tibijalnog pripoja je izmerena u proseku 15.87 ± 1.93 mm sa rangom 12-19 mm a širina tibijalnog pripoja 10.15 ± 1.30 mm sa rangom 6-12 mm. Analizom širine i dužine femoralnog i tibijalnog pripoja dobijeno je da postoje značajne rezlike među polovima za femoralni pripoj a da ne postoje značajne rezlike kad je u pitanju tibijalni pripoj što ostavlja prostora za dalja razmišljanja u načinu rekonstrukcije što bliže anatomske obzirom da su mogućnosti dobijanja sličnih dimenzija zamenskim graftom manja i vrlo ograničena.

U drugu grupu ispitanika kod koji su definisane zone vaskularizacije proksimalnog, srednje i distalnog dela LCA bilo je 30 ispitanika.. Analizirana je vaskularizacija proksimalnog, srednje i distalnog dela LCA pri čemu je ista ocenjivana kao : (1) vaskularan, gde je LCA gusto pokriven krvnim sudovima po celoj dužini; (2) delimično vaskularan, gde je prisutna slaba mreža krvnih sudova; i (3) avaskularan, gde nije bilo vaskularne mreže.

Nije bilo statistički značajne razlike po polu o odnosu na vaskularizaciju srednjeg i proksimalnog dela LCA. Vaskularizacija distalnog dela je bila delimična kod svih ispitanika.

Proksimalni deo LCA je dobro vaskularizovan u odnosu na srednjedistalni koji je fizioloski avaskularan. Nalaz avaskularizacije srednjedistalnog dela LCA bez obzira na pol značajno je povezan sa histologijom i degenerativnim promenama sa starijim uzrastom.

Poslednja grupa ispitanika činili su pacijenti koji su operisani i kod kojih je urađena artroskopski asistirana jednostruka rekonstrukcija LCA a zatim i reartroskopija istog kolena. Ispitano je 28 pacijenata i svrstani su u dve grupe u odnosu na pristup pri izvođenu ove intervencije (AM-anteromedijalni ili TT-transtibijalni) koji su upoređivani u odnosu na poziciju grafta. Isto tako urađena je analiza pozicije grafta tokom rekonstrukcije u odnosu na sinovijalnu prepokrivenost grafta, tenziju grafta, oštećenje grafta. Sinovijalna prepokrivenost grafta značila je i dobru neovaskularizaciju kao uslov za preživljavanje zamenskog grafta. Dobijene vrednosti su vrlo ohrabrujuće jer su rezultati pokazali da je rekonstrukcija LCA iz AM pristupa uspešnija u odnosu na TT rekonstrukciju u pogledu pozicioniranja grafta u anatomskoj poziciji.

Poziciju grafta je ujedno značila i tip rekonstrukcije. Anatomaska pozicija grafta značila je i anatomsku rekonstrukciju a neanatomaska i izometrijska pozicija su značile neanatomsku rekonstrukciju LCA, te je uspešnost lečenja atomske i neanatomske rekonstrukcije testirana kroz poziciju grafta u odnosu na sinovijalnu prepokrivenost, tenziju i oštećenost grafta. Dobijeni rezultati su pokazali da je atomska pozicija grafta dovela do dobre sinovijalne prepokrivenosti, dobre tenzije i neoštećenosti grafta.

Uprkos nekoliko hiljada naučnih publikacija koje istražuju LCA mi se još uvek borimo da u svim aspektima vezanim za LCA podignemo nivo znanja i obogatimo ranije stečena iskustva u rekonstruktivnim tehnikama ali bez ikakve sumnje LCA misterija još nije rešena. Pitanje je da li će i ikada biti rešeno. Procenat uspešnosti rekonstrukcije ove

veze koji se kreće od 60 do 80% od autora do autora nam ne daje za pravo i da pomislimo da se nazire kraj rešenju ovog problema.

Termin "anatomske ACL rekonstrukcije" se sve više razvija kod ortopedskih hirurga. Anatomija LCA i njeno poznavanje je od suštinskog značaja. Drugi termin koji se uporedo razvijao zajedno sa anatomskom rekonstrukcijom je "individualna hirurgija", odnosno hirurgija prilagođena samom pacijentu.

Što se tiče anatomske LCA rekonstrukcije, mora se imati u vidu da ne postoji jednostavno rešenje. Danas se raspravlja o jednostrukoj ili dvostrukoj rekonstrukcij LCA, a nijedan od ovih metoda možda nije optimalno i jedino rešenje. Postoji uverenje da će rekonstrukcija LCA naročito ako se izvede rano nakon povreda LCA dovesti do boljeg kinematike, manje morbiditeta, restauracije laktiteta i teorijski dugoročno dovesti do manje rizika pojave osteoartritisa kolena.

Ovaj rad se bavio ispitivanjem anatomske karakteristika LCA i povezivanjem istih sa mogućnošću "anatomske LCA rekonstrukcije". Fokusira se na obnavljanje i reprodukciju matične anatomije ligamenta. Ovo mora da se uradi tako što se obnavljaju lokalna mesta pripoja pravilnim postavljanjem tunela na femuru i tibiji. To je često nazvana "hirurgija insercionih mesta". Međutim često su površine i oblik pripoja veće od mogućnosti pravljenja odgovarajućih veličina zamenskih graftova što dodatno otežava mogućnost anatomske rekonstrukcije. Isto tako značaj obnavljanja proprioceptivne uloge regenerisanjem mehanoreceptora i preživljavanjem zamenskog grafta je od vitalne važnosti i nemogu se dogoditi bez obnavljanja periligamentoznog omotača i vaskularizacije postavljenog grafta. Sve ovo su tehnička pitanja koja su i najvažnija. Zato je princip "individualizirane operacije" ono što je potrebno. Svako koleno i svakog pacijenta treba detaljno sagledati, proceniti i razumeti. Treba naglasiti razliku između kolena. Najvažnije pitanje nije jednostruka ili dvostruka rekonstrukcija LCA. Put do uspeha kada je reč o rekonstrukciji LCA je u razumevanje potreba pojedinaca i anatomije kod njihovih povređenih kolena.

6.ZAKLJUČCI

Na osnovu rezultata koji su dobijeni analizom mikromorfoloških karakteristika pripoja i segmenata prednje ukrštene veze sa posebnim osvrtom na značaj vaskularizacije na mesto rupture ove veze mogu se izvesti sledeći zaključci:

1. Proksimalni deo LCA je bolje vaskularizovan u odnosu na srednji koji je avaskularan i distalni deo koji je delimično vaskularan što ukazuje na to da gustina vaskularne mreže ligamenta igra značajnu ulogu kod rupture ove veze u smislu da se češće rupturi dešavaju u delu ligamenta koji je bolje vaskularizovan.

2. Učestalost povreda je najveća u proksimalnom delu LCA u odnosu na povrede srednjeg dela i povrede koje su definisane kao disfunkcija ligamenta zbog njegove elongiranosti.

3. Anatomske poznavanje porekla MGA, mesta ulaska kroz kapsulu zgloba i prostiranja prema femoralnom odnosno proksimalnom delu LCA sa distribucijom završnih ushodnih i nishodnih grana koje vaskularizuju LCA može pomoći postavljanju grafta u anatomske pozicije.

4. Anatomske pozicije grafta kod rekonstrukcije LCA dovodi do dobre sinovijalne prekrivenosti, dobre tenzije i neoštećenosti grafta što anatomske artroskopske asistiranu rekonstrukciju LCA stavlja na mesto najprihvatljivijeg načina rekonstrukcije LCA

5. Precizno poznavanje anatomije je neophodno za uspešne tehnike hirurške rekonstrukcije LCA i odličnih operativnih rezultata. Sa anatomske strane treba izbeći pogrešno postavljanje tunela kako sa biomehaničke strane tako i sa strane uslova stvaranja neovaskularizacije i preživljavanja zamenskog grafta što će doprineti obnavljanju proprioceptivne uloge grafta čime bi se doprinelo obnavljanju izvorne funkcije LCA u stabilnosti zgloba kolena.

6. Težnja da se poboljša obnavljanje LCA u njegovim prirodnom obliku postepeno uvodi u sve većem broju hiruršku tehniku dvostrukog grafta kod rekonstrukcije LCA što će dalje studije opravdati ili ne. Do tada naše razumevanje hirurških tehnika ka što boljoj jednostrukoj anatomske rekonstrukcije će evoluirati pa je i ovaj rad jedan doprinos tome.

7.REFERENCE

1. Moore KL, Dalley AF, Agur AM. Clinically oriented anatomy. Lippincott Williams & Wilkins; 2013 Feb 13.
2. Siebold R, Dejour D, Zaffagnini S, editors. Anterior cruciate ligament reconstruction: A practical surgical guide. Springer Science & Business; 2014 Apr 28.
3. Gianotti SM, Marshall SW, Hume PA, Bunt L. Incidence of anterior cruciate ligament injury and other knee ligament injuries: a national population-based study. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2009 Nov 1;12(6):622-7.
4. Meuffels DE, Favejee MM, Vissers MM, Heijboer MP, Reijman M, Verhaar JA. Ten year follow-up study comparing conservative versus operative treatment of anterior cruciate ligament ruptures. A matched-pair analysis of high level athletes. *British journal of sports medicine*. 2009 May 1;43(5):347-51.
5. Ajuied A, Wong F, Smith C, Norris M, Earnshaw P, Back D, Davies A. Anterior cruciate ligament injury and radiologic progression of knee osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis. *The American journal of sports medicine*. 2014 Sep;42(9):2242-52.
6. Fu FH, van Eck CF, Tashman S, Irrgang JJ, Moreland MS. Anatomic anterior cruciate ligament reconstruction: a changing paradigm. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2015 Mar 1;23(3):640-8.
7. Toy BJ, Yeasting RA, Morse DE, McCann P. Arterial supply to the human anterior cruciate ligament. *Journal of athletic training*. 1995 Jun;30(2):149.

8. Bicer EK, Lustig S, Servien E, Selmi TA, Neyret P. Current knowledge in the anatomy of the human anterior cruciate ligament. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2010 Aug 1;18(8):1075-84.
9. Zantop T, Petersen W, Sekiya JK, Musahl V, Fu FH. Anterior cruciate ligament anatomy and function relating to anatomical reconstruction. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy*. 2006 Oct 1;14(10):982-92.
10. Duthon VB, Barea C, Abrassart S, Fasel JH, Fritschy D, Menetrey J. Anatomy of the anterior cruciate ligament. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2006; 14: 204-213.
11. Mall NA, Lee AS, Cole BJ, Nikhil N, Verma NN. The functional and surgical anatomy of the anterior cruciate ligament. *Oper Tech Sports Med* 2013;21:2-9
12. Hwang MD, Piefer JW, Lubowitz JH. Anterior cruciate ligament tibial footprint anatomy: systematic review of the 21st century literature. *Arthroscopy* 2012;28:728-734.
13. Hefzy MS, Grood ES. Sensitivity of insertion locations on length patterns of anterior cruciate ligament fibers. *Journal of biomechanical engineering*. 1986 Feb 1;108(1):73-82.
14. Purnell, M.L., Larson, A.I. and Clancy, W., 2008. Anterior cruciate ligament insertions on the tibia and femur and their relationships to critical bony landmarks using high-resolution volume-rendering computed tomography. *The American journal of sports medicine*, 36(11), pp.2083-2090.
15. Arnoczky SP. Anatomy of the anterior cruciate ligament. *Clinical orthopaedics and related research*. 1983(172):19-25.

16. Odensten M, Gillquist J. Functional anatomy of the anterior cruciate ligament and a rationale for reconstruction. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*. 1985 Feb;67(2):257-62.
17. Zavras, T.D., Race, A. and Amis, A.A., 2005. The effect of femoral attachment location on anterior cruciate ligament reconstruction: graft tension patterns and restoration of normal anterior–posterior laxity patterns. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 13(2), pp.92-100.
18. Bicer EK, Lustig S, Servien E, Selmi TA, Neyret P. Current knowledge in the anatomy of the human anterior cruciate ligament. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2010 Aug 1;18(8):1075-84.
19. Moulton SG, Steineman BD, Donahue TL, Fontboté CA, Cram TR, LaPrade RF. Direct versus indirect ACL femoral attachment fibres and their implications on ACL graft placement. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2017 Jan 1;25(1):165-71.)
20. Harner CD, Baek GH, Vogrin TM, Carlin GJ, Kashiwaguchi S, Woo SL. Quantitative analysis of human cruciate ligament insertions. *Arthroscopy*. 1999 Oct 1;15(7):741-9
21. Amis AA, Dawkins GP. Functional anatomy of the anterior cruciate ligament. Fibre bundle actions related to ligament replacements and injuries. *Bone & Joint Journal*. 1991 Mar 1;73(2):260-7.
22. Kennedy JC, Weinberg HW, Wilson AS. The anatomy and function of the anterior cruciate ligament: as determined by clinical and morphological studies. *JBJS*. 1974 Mar 1;56(2):223-35.

23. Stijak L, Radonjić V, Nikolić V, Blagojević Z, Aksić M, Filipović B. Correlation between the morphometric parameters of the anterior cruciate ligament and the intercondylar width: gender and age differences. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy*. 2009 Jul 1;17(7):812-7.
24. Kasten P, Szczodry M, Irrgang J, Kropf E, Costello J, Fu FH. What is the role of intra-operative fluoroscopic measurements to determine tibial tunnel placement in anatomical anterior cruciate ligament reconstruction?. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2010 Sep 1;18(9):1169-75.
25. Scapinelli R. Vascular anatomy of the human cruciate ligaments and surrounding structures. *Clin Anat* 1997;10:151-162
26. Toy BJ, Yeasting RA, Morse DE, McCann P. Arterial supply to the human anterior cruciate ligament. *J Athl Train* 1995;30:149-152
27. Petersen W, Tillmann B. Structure and vascularization of the cruciate ligaments of the human knee joint. *Anat Embryol* 1999;200:325-334
28. Shim S, Leung G. Blood Supply of the Knee Joint. A microangiographic study in children and adults. *Clin Orthop Relat Res* 1986;208:119-125).
29. Petersen W, Zantop T. Anatomy of the anterior cruciate ligament with regard to its two bundles. *Clinical Orthopaedics and Related Research®*. 2007 Jan 1;454:35-47
30. Strocchi R, De Pasquale V, Gubellini P, Facchini A, Marcacci M, Buda R, Zaffagnini S, Ruggeri A. The human anterior cruciate ligament: histological and ultrastructural observations. *Journal of anatomy*. 1992 Jun;180(Pt 3):515.

31. Dhillon MS, Bali K, Prabhakar S. Proprioception in anterior cruciate ligament deficient knees and its relevance in anterior cruciate ligament reconstruction. *Indian journal of orthopaedics*. 2011 Jul;45(4):294.
32. Lord B, Grice J, Cox G, Yassen S, Wilson A. Anterior cruciate ligament reconstruction-evolution and current concept. *Orthop Trauma* 2015;29:12-23)
33. Hollis JM, Takai S, Adams DJ, Horibe S. The effects of knee motion and external loading on the length of the anterior cruciate ligament: a kinematic study. *J Biomech Eng* 1991;113:208-214
34. Teitz CC. Hip and knee injuries in dancers. *Journal of Dance Medicine & Science*. 2000 Mar 15;4(1):23-9.
35. Olsen OE, Myklebust G, Engebretsen L, Bahr R. Injury mechanisms for anterior cruciate ligament injuries in team handball: a systematic video analysis. *The American journal of sports medicine*. 2004 Jun;32(4):1002-12.
36. Zantop T, Brucker PU, Vidal A, Zelle BA, Fu FH. Intraarticular rupture pattern of the ACL. *Clinical Orthopaedics and Related Research®*. 2007 Jan 1;454:48-53.
37. Gianotti SM, Marshall SW, Hume PA, et al. Incidence of anterior cruciate ligament injury and other knee ligament injuries: a national population-based study. *J Sci Med Sport* 2009;12:622–7.
38. Daniel DM, Stone ML, Dobson BE, Fithian DC, Rossman DJ, Kaufman KR. Fate of the ACL-injured patient: a prospective outcome study. *The American journal of sports medicine*. 1994 Sep;22(5):632-44.

39. Myklebust G, Maehlum S, Engebretsen L, Strand T, Solheim E. Registration of cruciate ligament injuries in Norwegian top level team handball. A prospective study covering two seasons. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*. 1997 Oct 1;7(5):289-92.
40. Griffin LY, Agel J, Albohm MJ, Arendt EA, Dick RW, Garrett WE, Garrick JG, Hewett TE, Huston L, Ireland ML, Johnson RJ. Noncontact anterior cruciate ligament injuries: risk factors and prevention strategies. *JAAOS-Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*. 2000 May 1;8(3):141-50.
41. Souryal TO, Freeman TR. Intercondylar notch size and anterior cruciate ligament injuries in athletes: a prospective study. *The American journal of sports medicine*. 1993 Jul;21(4):535-9.
42. Shelbourne KD, Facibene WA, Hunt JJ. Radiographic and intraoperative intercondylar notch width measurements in men and women with unilateral and bilateral anterior cruciate ligament tears. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 1997 Nov 1;5(4):229-33.
43. Beynon BD, Uh BS, Johnson RJ, Abate JA, Nichols CE, Fleming BC, Poole AR, Roos H. Rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective, randomized, double-blind comparison of programs administered over 2 different time intervals. *The American journal of sports medicine*. 2005 Mar;33(3):347-59.
44. Kasten P, Szczodry M, Irrgang J, Kropf E, Costello J, Fu FH. What is the role of intra-operative fluoroscopic measurements to determine tibial tunnel placement in anatomical anterior cruciate ligament reconstruction?. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2010 Sep 1;18(9):1169-75.

45. Shea KG, Carey JL, Richmond J, et al. The American Academy of Orthopaedic Surgeons evidence-based guideline on management of anterior cruciate ligament injuries. *J Bone Joint Surg Am* 2015;97:672–4.
46. Sakane M, Fox RJ, Glen SL, Livesay A, Li G, Fu FH. In situ forces in the anterior cruciate ligament and its bundles in response to anterior tibial loads. *Journal of Orthopaedic Research*. 1997 Mar 1;15(2):285-93.
47. Musahl V, Plakseychuk A, VanScyoc A, Sasaki T, Debski RE, McMahon PJ, Fu FH. Varying femoral tunnels between the anatomical footprint and isometric positions: effect on kinematics of the anterior cruciate ligament-reconstructed knee. *The American journal of sports medicine*. 2005 May;33(5):712-8.
48. Moulton SG, Steineman BD, Donahue TL, Fontboté CA, Cram TR, LaPrade RF. Direct versus indirect ACL femoral attachment fibres and their implications on ACL graft placement. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2017 Jan 1;25(1):165-71.
49. Meuffels DE, Favejee MM, Vissers MM, et al. Ten year follow-up study comparing conservative versus operative treatment of anterior cruciate ligament ruptures. A matched-pair analysis of high level athletes. *Br J Sports Med* 2009;43:347–51
50. Ajuied A, Wong F, Smith C, et al. Anterior cruciate ligament injury and radiologic progression of knee osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis. *Am J Sports Med* 2014;42:2242–52.
51. Bernard M, Hertel P, Hornung H, Cierpinski TH. Femoral insertion of the ACL. Radiographic quadrant method. *The American journal of knee surgery*. 1997;10(1):14-21.

52. Standring S, editor. Gray's anatomy e-book: the anatomical basis of clinical practice. Elsevier Health Sciences; 2015 Aug 7.
53. Salaria H, Atkinson R. Anatomic study of the middle genicular artery. Journal of Orthopaedic Surgery. 2008 Apr;16(1):47-9.
54. Shetty AA, Tindall AJ, Qureshi F, Divekar M, Fernando KW. The effect of knee flexion on the popliteal artery and its surgical significance. Bone & Joint Journal. 2003 Mar 1;85(2):218-22.
55. Avisse C, Marcus C, Ouedraogo T, Delattre JF, Menanteau B, Flament JB. Anatomico-radiological study of the popliteal artery during knee flexion. Surgical and Radiologic Anatomy. 1995 Sep 1;17(3):255-62.
56. Garrett KM, Fleck RJ. Prominent middle genicular artery. Pediatric radiology. 2010 Dec 1;40(1):56-.
57. Gray H, Standring S. Gray's anatomy: the anatomical basis of clinical practice, 40th edn. Churchill-Livingstone

SKRAČENICE

LCA – ligamentum cruciatum anterius

AM – anteromedijalna

PL – posterolateralna

LCP – ligamentum cruciatum posterius

MGA – srednja genikularna arterija

PA – poplitealna arterija

PLLA (Poly-L-Lactide Acid)

LCF-lateralni kondil femura

MCF-medijalni kondil femura

BPTB – koštano-patelarno-tetivni –koštani graft

StG – semitendinosus-gracilis tetivni graft

BIOGRAFIJA AUTORA

Dr Boris Vukomanović je rođen 21.06.1972.godine u Smederevskoj Palanci, a osnovnu i srednju školu završio je u Lazarevcu.

Medicinski fakultet Univerziteta u Beogradu upisao je 1991. a diplomirao 1997.godine sa prosečnom ocenom 8,14.

Specijalistički ispit iz ortopedije položio je 2004. godine sa odličnom ocenom.

Magistarsku tezu iz ortopedije pod nazivom “Brzina restitucije i funkcionalnog osposobljavanja nakon neoperativnog lečenja preloma dijafize femura kod dece” odbranio je 2006.godine na Medicinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu.

U zvanje kliničkog asistenta na Katedri Hirurgije sa anestezijom-ortopedija, izabran 2014. godine.

Autor i koautor je više radova izlaganih u zemlji i inostranstvu i objavio je više radova kao koautor u časopisima indeksiranim na SCI listi i Medline-u. Koautor više knjiga na srpskom i engleskom jeziku iz oblasti ortopedске hirurgije.

Dr Boris Vukomanović je zaposlen na Institutu za ortopedsko hirurške bolesti “Banjica” u Beogradu i trenutno je na radnom mestu lekara specijaliste drugog opšteg ortopedskog odeljenja.

Član je Srpskog lekarskog društva i Srpske asocijacije ortopeda i traumatologa (SOTA). Međunarodni je član Evropske asocijacije za sportski traumatizam i hirurgiju kolena (ESSKA).

Oženjen je, otac dvoje dece.

Prilog 1.

Izjava o autorstvu

Potpisani-a Dr Boris Vukomanović

broj upisa _____

Izjavljujem

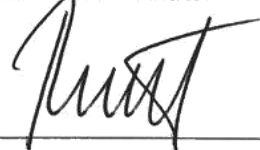
da je doktorska disertacija pod naslovom

«MIKROMORFOLOŠKE KARAKTERISTIKE PRIPOJA I SEGMENTA PREDNJE UKRŠTENE VEZE I NJIHOV
MOGUĆI UTICAJ NA MESTO POVREĐIVANJA I NAČIN REKONSTRUKCIJE OVE VEZE»

- rezultat sopstvenog istraživačkog rada,
- da predložena disertacija u celini ni u delovima nije bila predložena za dobijanje bilo koje diplome prema studijskim programima drugih visokoškolskih ustanova,
- da su rezultati korektno navedeni i
- da nisam kršio/la autorska prava i koristio intelektualnu svojinu drugih lica.

U Beogradu, 10.07.2018.

Potpis doktoranda



Prilog 2.

Izjava o istovetnosti štampane i elektronske verzije doktorskog rada

Ime i prezime autora Dr Boris Vukomanović

Broj upisa _____

Studijski program _____

Naslov rada

«MIKROMORFOLOŠKE KARAKTERISTIKE PRIPOJA I SEGMENTA PREDNJE UKRŠTENE VEZE I NJIHOV
MOGUĆI UTICAJ NA MESTO POVREĐIVANJA I NAČIN REKONSTRUKCIJE OVE VEZE»

Mentor Prof dr Zoran Blagojević

Potpisani Dr Boris Vukomanović

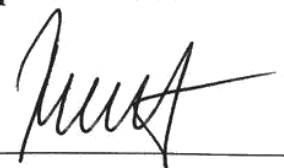
izjavljujem da je štampana verzija mog doktorskog rada istovetna elektronskoj verziji koju sam predao/la za objavljivanje na portalu **Digitalnog repozitorijuma Univerziteta u Beogradu**.

Dozvoljavam da se objave moji lični podaci vezani za dobijanje akademskog zvanja doktora nauka, kao što su ime i prezime, godina i mesto rođenja i datum odbrane rada.

Ovi lični podaci mogu se objaviti na mrežnim stranicama digitalne biblioteke, u elektronskom katalogu i u publikacijama Univerziteta u Beogradu.

Potpis doktoranda

U Beogradu, 10.07.2018.



Prilog 3.

Izjava o korišćenju

Ovlašćujem Univerzitetsku biblioteku „Svetozar Marković“ da u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Beogradu unese moju doktorsku disertaciju pod naslovom:

«MIKROMORFOLOŠKE KARAKTERISTIKE PRIPOJA I SEGMENTATA PREDNJE UKRŠTENE VEZE I NJIHOV MOGUĆI UTICAJ NA MESTO POVREĐIVANJA I NAČIN REKONSTRUKCIJE OVE VEZE»

koja je moje autorsko delo.

Disertaciju sa svim priložima predao/la sam u elektronskom formatu pogodnom za trajno arhiviranje.

Moju doktorsku disertaciju pohranjenu u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Beogradu mogu da koriste svi koji poštuju odredbe sadržane u odabranom tipu licence Kreativne zajednice (Creative Commons) za koju sam se odlučio/la.

1. Autorstvo
2. Autorstvo - nekomercijalno
3. Autorstvo – nekomercijalno – bez prerade
4. Autorstvo – nekomercijalno – deliti pod istim uslovima
5. Autorstvo – bez prerade
6. Autorstvo – deliti pod istim uslovima

(Molimo da zaokružite samo jednu od šest ponuđenih licenci, kratak opis licenci dat je na poleđini lista).

U Beogradu, 10.07.2016.

Potpis doktoranda