



UNIVERZITET U NOVOM SADU
MEDICINSKI FAKULTET

Dr Vesna Njagulj

**Optimizovani protokol magnetno-rezonantne
vizuelizacije zgloba kolena na aparatu jačine 3 Tesla**

Doktorska disertacija

Novi Sad, 2016.



UNIVERZITET U NOVOM SADU

MEDICINSKI FAKULTET

Doktorske akademske studije

Klinička medicina

Dr Vesna Njagulj

**Optimizovani protokol magnetno-rezonantne
vizuelizacije zgloba kolena na aparatu jačine 3 Tesla**

Doktorska disertacija

Novi Sad, 2016.godina

UNIVERZITET U NOVOM SADU

MEDICINSKI FAKULTET

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj: RBR	
Identifikacioni broj: IBR	
Tip dokumentacije: TD	Monografska dokumentacija
Tip zapisa: TZ	Tekstualni štampani materijal
Vrsta rada (dipl., mag., dokt.): VR	Doktorska disertacija
Ime i prezime autora: AU	Vesna Njagulj
Mentor (titula, ime, prezime, zvanje): MN	Prof. dr Robert Semnic Prof dr Miroslav Milankov
Naslov rada: NR	Optimizovani protokol magnetno-rezonantne vizuelizacije zgloba kolena na aparatu jačine 3 Tesla
Jezik publikacije: JP	srpski
Jezik izvoda: JI	srp. / eng.

Zemlja publikovanja: ZP	Srbija
Uže geografsko područje: UGP	Vojvodina
Godina: GO	2016.
Izdavač: IZ	autorski reprint
Mesto i adresa: MA	21 000 Novi Sad, Hajduk Veljkova 3

Fizički opis rada: FO	(broj poglavlja 8 / stranica 105/ slika 44 / grafikona 13 / referenci 155/ priloga 2)
Naučna oblast: NO	Medicina
Naučna disciplina: ND	Radiologija
Predmetna odrednica, ključne reči: PO	koleni zglob; magnetna rezonanca; meniskus; trodimenzionalni imidžing; bolesti zglobova; prednji ukršteni ligament; zglobna hrskavica
UDK	616.728.3-073:537.635
Čuva se: ČU	U biblioteci Medicinskog fakulteta u Novom Sadu, Hajduk Veljkova 3
Važna napomena:	

VN	
Izvod: IZ	<p>Uvod: magnetno rezonantni imidžing (MR) je u širokoj uporebi u dijagnostici patoloških poremećaja ekstremiteta. Postoji interes da se redukuje vreme trajanja snimanja tokom pregleda kako bi se povećao komfor pacijenata i redukovali problemi koji su u vezi sa klaustrofobijom i artefaktima koji nastaju pri pomeranju pacijenta tokom dugih snimanja. Trodimenzionalne (3D) izovoksel sekvence pokazale su značajne mogućnosti u redukciji vremena snimanja MR pregledom zgloba kolena bez smanjenja kvaliteta dijagnostičkih mogućnosti.</p> <p>Cilj: uporediti dijagnostičke mogućnosti rutinskog, 2D MR protokola, na 3.0 Tesla MR aparatu, sa 3D True fast imaging, TrueFISP, izovoksel sekvencom u detekciji hondralnih oštećenja, ruptura prednjeg ukrštenog ligamenta (LCA), ruptura meniskusa i abnormalnosti subhondralne kosti, u korelaciji sa artroskopijom, kao referentnim standardom.</p> <p>Materijal i metode: Studija je odobrena od institucionalnog etičkog odbora. Pacijenti su informisani o studiji i potpisali pristanak za učešće u istraživanju. 76 zgloba kolena kod 76 pacijenata (34 ženskog pola; prosečne starosti 36 godina) uključeno je u prospektivnu studiju, snimljeno je standardnim 2D MR protokolom snimanja i 3D TrueFISP sekvencom u sagitalnoj ravni. Svim pacijentima je urađena artroskopija u periodu od maksimum 30 dana nakon snimanja. Dva radiologa, nezavisno jedan od drugog, su evaluirala dobijene snimke. Preciznost u detekciji hondralnih oštećenja, ruptura LCA i meniskusa, i abnormalnosti subhondralne kostne srži je određena podudarnošću radioloških i artroskopskih nalaza kao i proverom podudaranja ove dve metode snimanja.</p> <p>Rezultati: prosečna senzitivnost i specifičnost 3DTrueFISP sekvence je bila 75%, 94% respektivno, u dijagnostici oštećenja hrskavice, 97%, 97% u detekciji ruptura LCA, 65%, 89% u postavljanju dijagnoze ruptura meniskusa, a dobra podudarnost radioloških nalaza je dobijena u interpretaciji oštećenja subhondralne kosti.</p> <p>Standardnim 2D MR protokolom prosečna senzitivnost i specifičnost je bila 70%, 93%, respektivno, u postavljanju dijagnoze hondralnih oštećenja, 94% i 100% u postavljanju dijagnoze rupture LCA, 65%, 88% u detekciji ruptura meniskusa.</p> <p>Zaključak: dijagnostičke mogućnosti upotrebom 3DTrueFISP sekvence su uporedive sa standardnim,</p>

	2D, MR protokolom u snimanju zgloba kolena.
Datum prihvatanja teme od strane Senata: DP	13.06.2011.
Datum odbrane: DO	
Članovi komisije: (ime i prezime / titula / zvanje / naziv organizacije / status) KO	

University of Novi Sad
FACULTY OF MEDICINE ACIMSI
Key word documentation

Accession number: ANO	
Identification number: INO	
Document type: DT	Monograph documentation
Type of record: TR	Textual printed material
Contents code: CC	PhD thesis
Author: AU	Vesna Njagulj
Mentor: MN	Prof. dr Robert Semnic Prof dr Miroslav Milankov
Title: TI	Optimization of Magnetic Resonance Protocol in Visualization of the Knee Joint Using 3 Tesla
Language of text: LT	Serbian

Language of abstract: LA	eng. / srp.
Country of publication: CP	Serbia
Locality of publication: LP	Vojvodina
Publication year: PY	2016.
Publisher: PU	Author`s reprint
Publication place: PP	Faculty of Medicine Hajduk Veljkova 3, 21000 Novi Sad, Serbia

Physical description: PD	(number of chapters 8/ pages 105/ pictures 44/ tables 13/ citations 155/ supplements 2)
Scientific field SF	Medicine
Scientific discipline SD	Radiology
Subject, Key words	Knee Joint; Magnetic Resonance Imaging; Menisci, Tibial; Imaging, Three-Dimensional; Joint Diseases;

SKW	Anterior Cruciate Ligament; Cartilage, Articular
UC	616.728.3-073:537.635
Holding data: HD	Library of Medical Faculty Novi Sad, Hajduk Veljkova 3
Note: N	
Abstract: AB	<p>Introduction: Magnetic resonance imaging (MR) is widely used to assess internal derangements of the extremities. There is an interest in decreasing examination times to improve patient comfort and reduce the problems related to claustrophobia and motion artifacts, which occur more commonly with long examinations. The three-dimensional (3D) isovoxel true FISP sequence facilitates a noticeable reduction in acquisition time for MR imaging of the knee without reducing diagnostic performance.</p> <p>Objective: To compare the diagnostic performance of conventional, 2D, MR protocol, at 3.0 Tesla MR, with 3D water-excitation true fast imaging with steady-state precession, TrueFISP, an isotropic resolution sequence for detecting articular cartilage defects, anterior crucial ligament tears, meniscal tears and subchondral bone changes of the knee joint, with arthroscopy as reference standard.</p> <p>Materials and methods: The study was institutional review board approved. Written informed consent was obtained from all patients. 76 knees of 76 patients (34 females; mean age 36 years) were prospectively examined by using a conventional 2D MR protocol and sagittal 3D TrueFISP sequence. All patients underwent arthroscopy within a maximum period of 30 days after imaging. Two blinded readers evaluated the MR images. Accuracy for detection of cartilage defects, anterior cruciate ligament and meniscal tears, and subchondral bone abnormalities interobserver agreement, and intermethod agreement were calculated.</p> <p>Results: Overall sensitivity and specificity of 3DTrueFISP sequence were, respectively, 75%, 94% for diagnosis cartilage defects, 97%, 97%, for a diagnosis ACL tears, 65%, 89% for diagnosis of meniscal tears and with good interobserver agreement in interpretation of subchondral bone</p>

	<p>abnormalities. The standard MR protocol had overall sensitivities and specificities 70%, 93%, respectively, for diagnosis of cartilage defects, 94% and 100% for diagnosis ACL tears and 65%, 88% for diagnosis meniscal tears.</p> <p>Conclusion: The diagnostic performance of knee MR imaging performed by using a 3DTrueFISP sequence is comparable to the diagnostic performance of the conventional, 2D, MR protocol.</p>
<p>Accepted on Senate on: AS</p>	<p>13.06.2011.</p>
<p>Defended: DE</p>	
<p>Thesis Defend Board: DB</p>	

Mentori:

Prof. Dr Robert Semnic, redovni profesor Medicinskog fakulteta Univerziteta u Novom Sadu

Prof. Dr Miroslav Milankov, redovni profesor Medicinskog fakulteta Univerziteta u Novom Sadu

Zahvaljujem se mentorima na sugestijama i učešću u izradi doktorske disertacije.

*Zahvaljujem se svima, koji su na bilo koji način doprineli u izradi ove doktorske
disertacije.*

LISTA SKRAĆENICA

MR – magnetna rezonanca

LCA – prednji ukršten ligament

LCP – zadnji ukršten ligament

LCL – lateralni kolateralni ligament

LCM – medijalni kolateralni ligament

LF – lateralni kondil butne kosti

MF – medijalni kondil butne kosti

LT – lateralni kondil golenjače

MT – medijalni kondil golenjače

T – trohlea butne kosti

P – patela

2D – dvodimenzionalno

3D – trodimenzionalno

MDCT – Multidetektorska kompjuterizovana tomografija

SNR – signal-to-noise ratio – odnos signal-šum

TR – vreme ponavljanja

TE – vreme ehoa

T1 – longitudinalno vreme relaksacije

T2 – transverzalno vreme relaksacije

PD – proton density sekvenca

FOV – field of view

sag – sagitalno

cor – koronalno

tra – transverzalno

SADRŽAJ:

I UVOD

1.1 Anatomija, MR anatomija i funkcija zgloba kolena - osnove

1.1.1 Koštane strukture i zglobne površine, osnovne funkcije zgloba

1.1.2 Meniskusi

1.1.3 Artikularna hrskavica zgloba kolena i subhondralna kost

1.1.4 Ligamenti zgloba kolena

1.1.4a Anatomija potpornih struktura zgloba kolena

1.2. Radiološka dijagnostika patoloških stanja zgloba kolena

1.3.1 Istorijat i savremena radiološka dijagnostika

1.3.2 MR dijagnostika patoloških stanja u zglobu kolena

1.3. Ortopedska dijagnostika patoloških stanja zgloba kolena

II HIPOTEZE I CILJEVI ISTRAŽIVANJA

III MATERIJAL I METODE

3.1 Uzorak (pacijenti)

3.2 MR imidžing

3.3 Artroskopija kao referentni standard

3.4 Statistička analiza

IV REZULTATI

4.1 Artroskopija

4.2. Podudarnost radiološke interpretacije MR pregleda - “interobserver agreement”

4.2.1 Podudarnost radiološke interpretacije MR pregleda u detekciji hondralnih oštećenja

4.2.2 Podudarnost radiološke interpretacije MR pregleda u detekciji oštećenja LCA

4.2.3 Podudarnost radiološke interpretacije MR pregleda u detekciji ruptura medijalnog meniskusa

4.2.4 Podudarnost radiološke interpretacije MR pregleda u detekciji ruptura lateralnog meniskusa

4.2.5 Podudarnost radiološke interpretacije MR pregleda u detekciji oštećenja subhondralne kosti

4.2.6 Podudarnost različitih metoda, standardnog i novog protokola pregleda - "intermethod agreement"

V DISKUSIJA

VI ZAKLJUČAK

VII LITERATURA

VIII PRILOZI

Prilog 1.

Prilog 2.

I UVOD

1.1 Anatomija i funkcija zgloba kolena - osnove

1.1.1 Anatomija koštanih struktura i zglobnih površina, osnovne funkcije zgloba

Zglob kolena (lat. *articulatio genus*) predstavljanajveći zglob u telu čoveka, složene anatomije, o kome je sprovedeno veliki broj kliničkih i naučnih istraživanja.

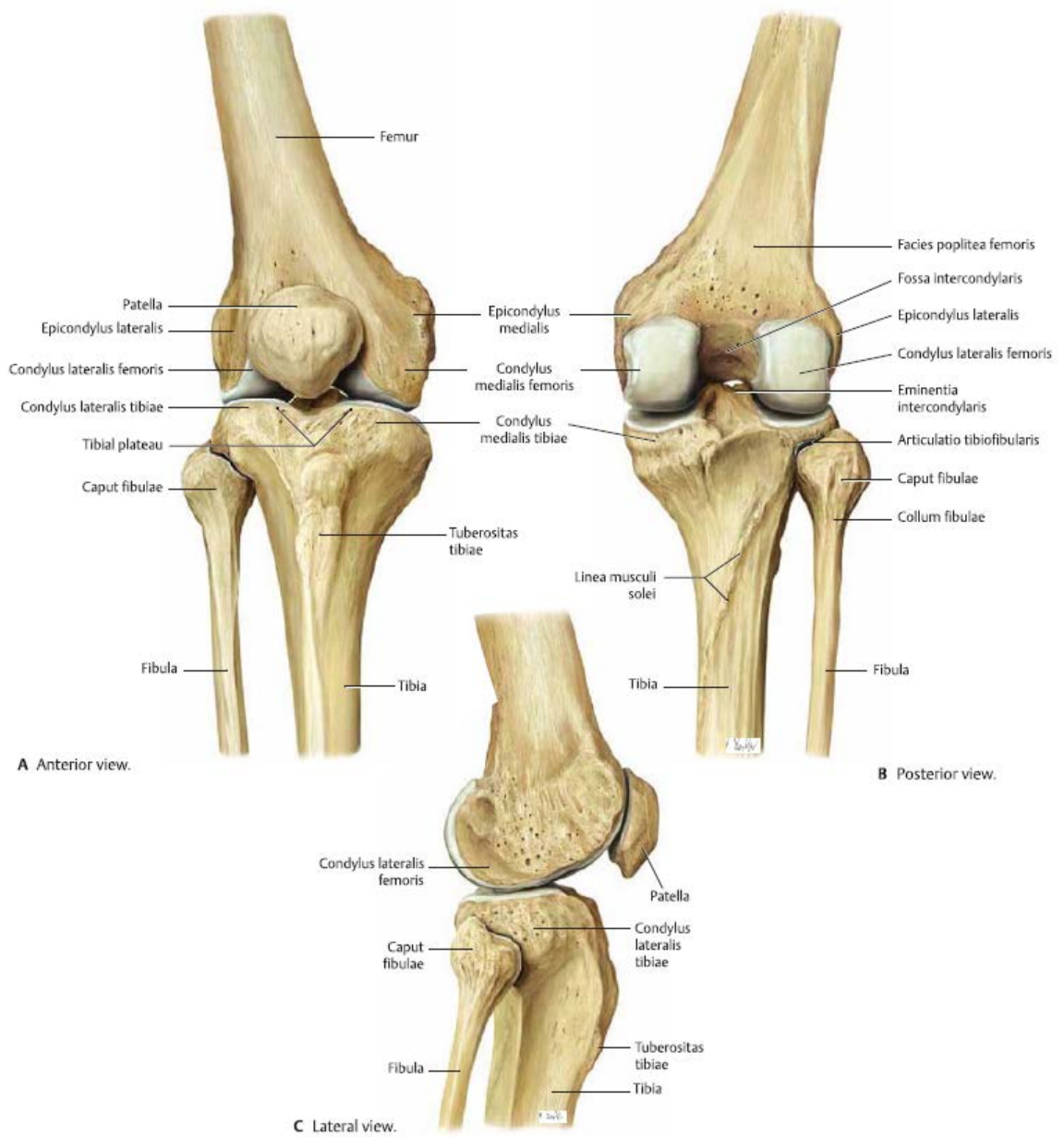
Glavni razlog za ovako veliko interesovanje za zglob kolena je veliki broj pacijenata sa oboljenjem kolena, kako zbog akutnih traumatskih lezija, tako i zbog hroničnih oboljenja i raznih inflamatornih stanja zgloba.

U muskuloskeletnoj radiologiji to je zglob koji je najčešće pregledan i radiološki dijagnostikovani.(1)

Zglob kolena ima jedinstvenu anatomiju u telu čoveka, koja u kombinaciji sa lokalizacijom između dve najduže kosti u telu, butne kosti (lat. *femur*) i golenjače (lat. *tibia*), čini ga podložnim povredama, traumi i drugoj patologiji. Glavne strukture zgloba su velika zglobna kapsula (lat. *capsula articularis*), butna kost (lat. *femur*), golenjača (lat. *tibia*), čašica (lat. *patella*), lišnjača (lat. *fibula*), zglobne površine (lat. *facies articulares*), (slika 1.), i zglobna hrskavica, meniskusi (lat. *menisci articulares genus*)- spoljašnji i unutrašnji (lat. *meniscus lateralis et meniscus medialis*), veze, odnosno ligamenti (lat. pl.-*ligamenta*), intraartikularni masni jastučići, retinakulumi, brojne tetive i mišići i druge strukture složene zglobne kapsule.

Sastoji se od tri funkcionalne celine, kompartmenta, patelofemoralnog (PF) zgloba i dva kompartmenta femorotibijalnog (FT) zgloba, unutrašnji i spoljašnji (lat. *articulatio patellofemoralis, articulatio femorotibialis medialis et lateralis*).

Kompleksna anatomija zgloba čini ga podložnim povredama.



Slika 1. Koštane strukture zgloba kolena

Patelofemoralni (PF) zglob predstavlja zglob između anteriornog aspekta butne kosti (lat. *trochlea ossis femoris; facies patellaris*) i posteriorne površine čašice (lat. *facies articularis*). PF zglob je kompleksna struktura sa velikim funkcionalnim kapacitetom i velikim biomehaničkim zahtevima. Normalna funkcija zgloba zavisi od kongruentnosti zglobne površine čašice i butne kosti.

Zglobna površina čašice se nalazi iznad zglobne površine butne kosti, na koju naleže uvek kada je koleno u fleksiji. Kod fleksije u zglobu kolena čašica vrši snažan pritisak na kondile butne kosti, potiskujući ih unazad. Prekomerno potiskivanje kondila butne kosti sprečavaju ukrštene veze (ligamenti) zgloba kolena.

Razvojne ili stečene alteracije u geometriji površina PF zgloba su udružene sa brojnim kliničkim problemima kao što je nestabilnost čašice, hondromalacija čašice, i posledično bol u prednjem aspektu zgloba kolena (eng. „*anterior knee pain*”).(2-7)

PF zglob je važan za stabilnost u kompletnom zglobu kolena, primarno u njegovoj uluzi kao deo ekstenzornog mehanizma.

Čašica je velika sezamoidna kostinkorporirana u tetivu četvoroglavog mišića buta (lat. *m.quadriceps femoris*) koji pripada prednjoj grupi mišića buta (natkolenice).

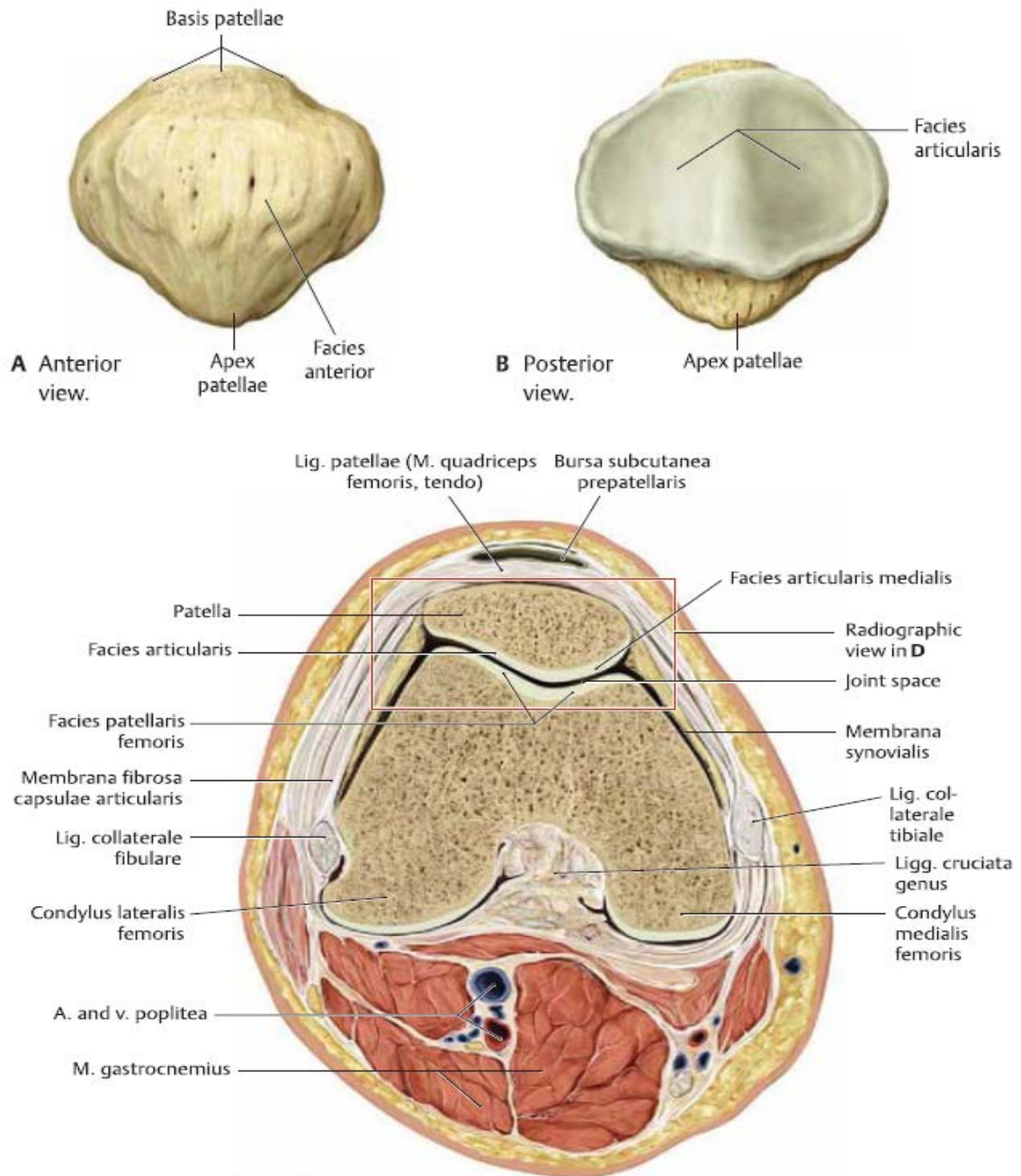
Posteriorna površina čašice predstavlja artikularnu površinu, sastavljenu od nekoliko faseta, najčešće dva, spoljašnjeg i unutrašnjeg ,sa interfasetnim grebenom između faseta. Zglobne površine su glatke i omogućavaju adekvatnu distribuciju opterećenja pri pokretima fleksije-ekstenzije u zglobu kolena, tokom prolaska (eng. *tracking*) čašice kroz trohleu butne kosti.

Vertikalni grben, interfasetni, deli obično zglobnu površinu čašice na unutrašnju i spoljašnju artikularnu površinu, unutrašnja površina je najčešće manje površine. Ovaj vertikalni greben normalno naleže na kolotur butne kosti (lat. *trochlea ossis femoris, fossa intercondylaris femoris*) i po veličini obično odgovaraju jedno drugom.

Pri položaju pune fleksije, unutrašnji faset čašice je u kontaktu sa spoljašnjim aspektom unutrašnjeg kondila butne kosti, a superiorni aspekt spoljašnjeg faseta čašice je u kontaktu sa anteriornim aspektom spoljašnjeg kondila butne kosti.(1)

Anteriorna površina čašice je konveksna i neravna, anteriorno od nje se redom nalaze vrlo tanak sloj fibrozne hrskavice, kontinuirani sloj (eng. *continuation*) tetive pravog

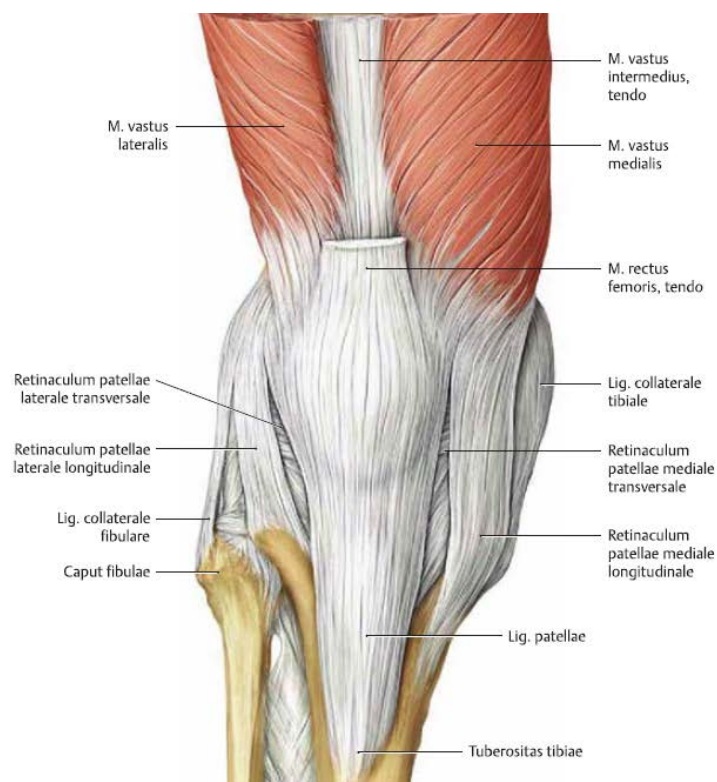
mišića buta (lat. *m.rectus femoris*) koji spaja tetive četvoroglavog mišića buta i čašični ligament (lat. *lig.patellae*) i prečašična burza (lat. *bursa praepatellaris*).⁽⁸⁾



Slika 2. Anatomija čašice i transverzalni prikaz patelofemoralnog zgloba

Široka gornja ivica čašice predstavlja bazu (lat. *basis patellae*), dok je distalni aspekt vrh čašice, (lat. *apex patellae*). Baza patele je široka i orjentisana naviše, i mesto je pripoja većeg dela *m.quadriceps femorisa* (lat. *m rectus femoris et m.vastus intermedius*). Vrh čašice je zaobljen, orjentisan prema inferiorno, i na njemu se pripaja završna tetiva *m.quadriceps femorisa*, čašićni ligament (lat. *lig. patellae*), koji povezuje čašicu sa gornjim okrajkom golenjače.

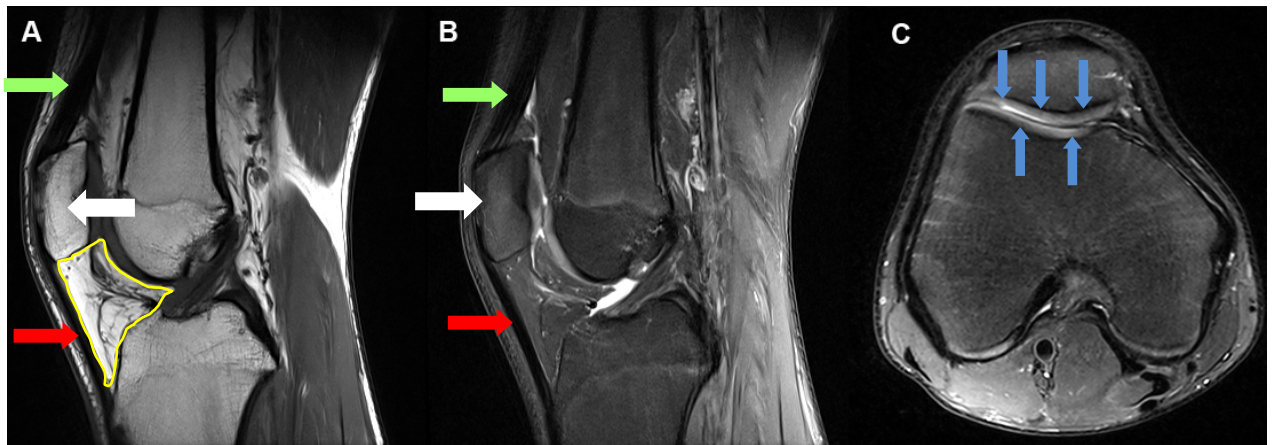
Čašica povećava mehaničke mogućnosti mišića ekstenzora prenosom snage ekstenzora duž kolena na većoj udaljenosti od centralne ose rotacije. Na ovaj način se povećava moment sile i smanjuje potrebnu snagu *m.quadriceps femorisa* potrebnu za ekstenziju zgloba kolena za 15 do 30%. (9)



Slika 3. Ligamentarni odnosi u PF zglobu, anteriorni prikaz

Rutinskim MR pregledom u položaju nepotpune ekstenzije, mogu se evaluirati različiti anatomske strukture, stanje hrskavice i širok spektar oboljenja u vezi sa PF zglobom (Slika 3.). (10-12)

Najbolji prikaz zgloba je u sagitalnoj i aksijalnoj ravni, u zavisnosti od patološkog stanja koronalni tomogrami mogu doneti dodatne informacije. MR pregledom se vizuelizuje kompletno masno jastučće - Hoffa i sinovijalne plike.



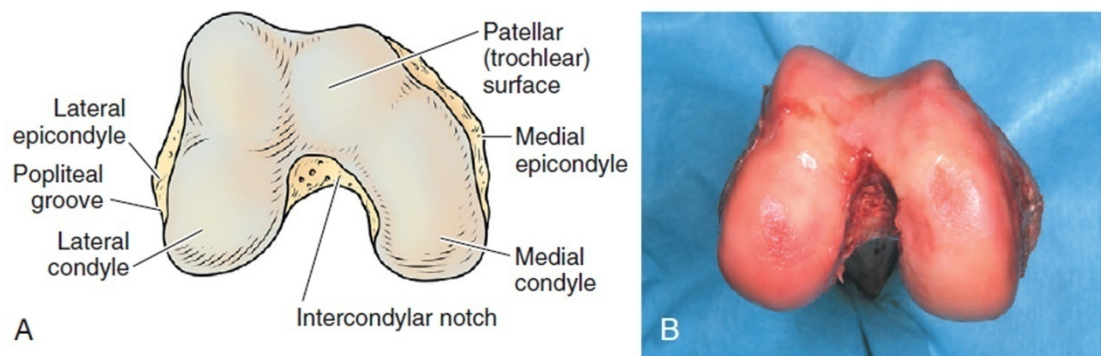
Slika 3. PF zglob, MR tomogrami, A-T1 sagitalni, B-PDFS sagitalni, C-PDFS aksijalni (bela strelica – čašica; zelena strelica – tetiva m.quadriceps femoris; crvena- čašični ligament; plave strelice – hrskavica PF zgloba; žuta linija ograničava rubove Hoffa masnog jastučeta

FT zglob formiraju distalni okrajak butne kosti (lat.*extremitas distalis ossis femoris*) i proksimalni okrajak golenjače (lat. *extremitas proximalis ossis tibiae*). Konveksne zglobne površine butne kosti su lateralni i medijalni kondil butne kosti (lat.*condylis lateralis et medialis*) čije su prednjedonje zglobne strane naglašeno konveksne i naležu na kondile golenjače. Kondili butne kosti su napred spojeni kolotururom (lat.*trochlea ossis femoris, fossa intercondylaris femoris*) koji predstavlja glačicu za čašicu (lat. *facies patellaris*). Lateralni kondil butne kosti je uvijen od napred prema unazad, te se oko njega može vršiti samo fleksija i ekstenzija. Medijalni kondil je zavijen u istom pravcu, ali i oko međukondilarne jame (lat. *fossa intercondylaris*) i oko njega se mogu,

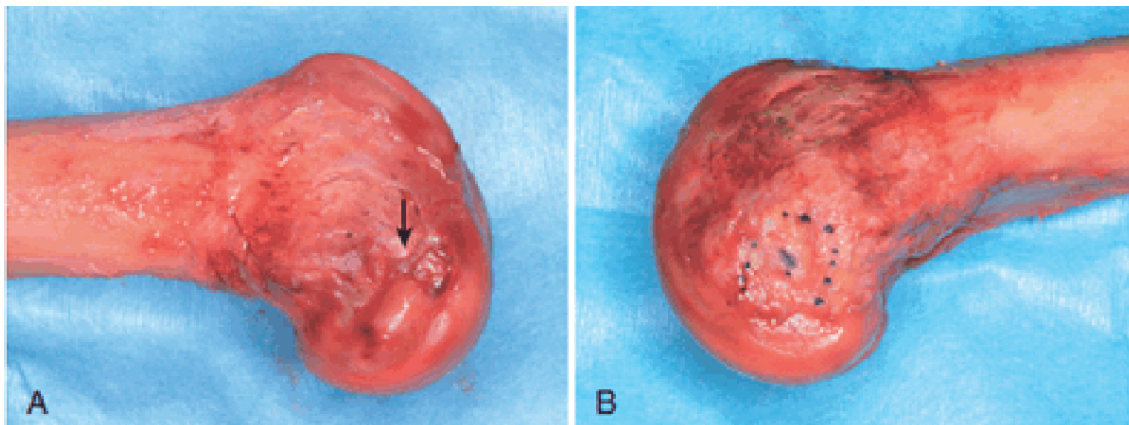
pored fleksije i ekstenzije, vršiti i rotatorni pokreti. Medijalni kondil ima veći radijus krivine nego lateralni.

Površinska i potkožna neravna površina oba kondila butne kosti, predstavlja spoljašnju odnosno unutrašnju kvržicu (lat. *epicondylus lateralis et medialis*). Između spoljašnje kvržice i ruba zglobne površine postoji žleb u kome se pripaja zatkoleni mišić (lat. *m.popliteus*).

Medijalni i lateralni epikondil butne predstavljaju mesto insercije mišića i ligamenata.



Slika 4. Koštana anatomija distalnog okrajka butne kosti

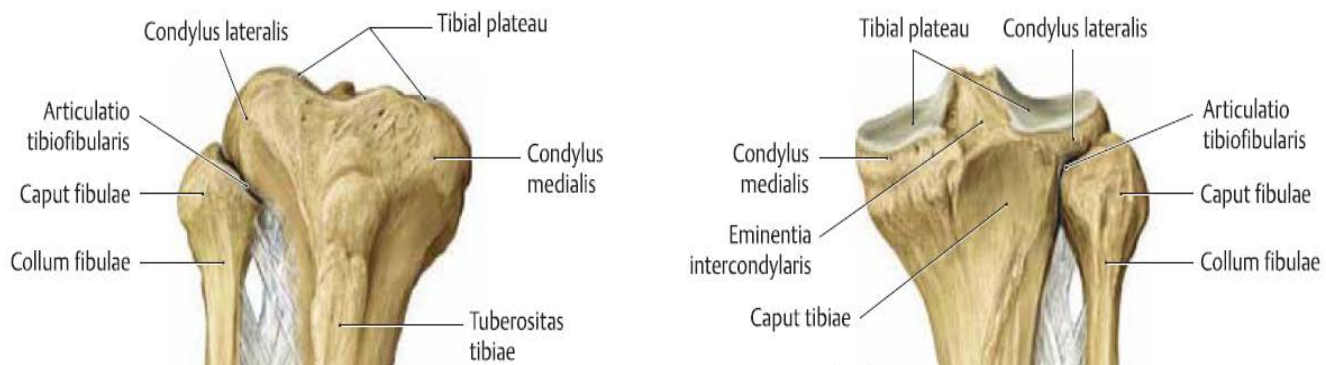


Slika 5. Medijalni i lateralni epikondil butne kosti

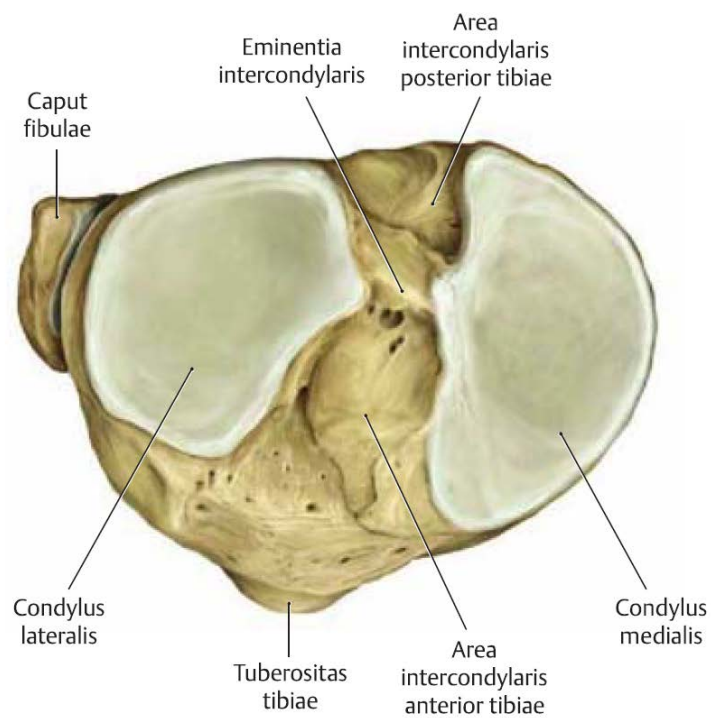
Gornji okrajak golenjače (lat. *extremitas superior tibiae*) se sastoji od dva koštana ispupčenja, spoljašnjeg i unutrašnjeg kondila (lat. *condylus laterlis et medialis*), u celini ima oblika zarubljene četverostrane piramide, čija baza gleda naviše, vrh je usmeren naniže i nastavlja se telom golenjače (lat. *corpus tibiae*).

Na gornjem okrajku, bazi, golenjače postoje dve zglobne površine, razdvojene nezglobnim delom. Zglobna površina spoljašnjeg kondila (lat. *facies articularis condyli lateralis*) i zglobna površina unutrašnjeg kondila (lat. *facies articularis condyli medialis*).

Medijalna zglobna površina je nešto izdubljenija u odnosu na lateralnu, ali ne dovoljno koliko je medijalni kondil butne kosti konveksan. Lateralne zglobna površina je manja, blago trouglastog oblika, zaravnjena, i u posteriornom segmentu lako konveksna. Obe zglobne površine su prekrivene hrskavicom. Ovaj zglob omogućava ograničenu, relativnu, pokretljivost butne kosti i golenjače koja je olakšana postojanjem mehaničkog kontakta između hrskavica i meniskusa. (13)



Slika 6. Koštana anatomija gornjeg okrajka golenjače, A- anteriorni prikaz; B- posteriorni prikaz



Slika 7. Koštana anatomija gornjeg okrajka golenjače (proksimalni prikaz)

Adaptivnu funkciju između dve artikularne površine imaju lateralni i medijalni meniskus (lat. *meniscus lateralis et meniscus medialis*). Njihova dodatna funkcija je i olakšavanje pokreta rotacije u FT zglobu.

Između dve artikularne površine golenjače nalazi se interkondilarno ispupčenje i dva interkondilarna polja, prednje i zadnje. Interkondilarno ispupčenje (lat. *eminentia intercondylaris*) se sastoji od spoljašnje i unutrašnje interkondilarne kvržice (lat. *tuberculum intercondylare laterale et tuberculum intercondylare mediale*). Površina ispred interkondilarnog ispupčenja se zove prednje interkondilarno polje (lat. *area intercondylaris anterior*). Na ovoj površini se, od anteriorno prema posteriorno, redom, pripajaju prednji rog medijalnog meniskusa, prednji ukršteni ligament, i prednji rog lateralnog meniskusa.

Nešto manja površina, iza interkondilarnog ispupčenja, je zadnje interkondilarno polje (lat. *area intercondylaris posterior*). Ovde se, od anteriorno prema posteriorno, pripajaju zadnji rog lateralnog meniskusa, zadnji rog unutrašnjeg meniskusa i zadnji ukršteni ligament kolena.

Na anterornoj strani gornjeg okrajka golenjače nalazi se golenjačno ispupčenje (lat. *tuberositas tibiae*). *Tuberositas tibiae* je jednom linijom ili grebenom, podeljen na glatki, proksimalni segment, na kome se pripaja čašični ligament i nervani, distalni deo, koji je potkožan. Distalno, od *tuberositas* golenjače, se nastavlja anteriorna ivica golenjače (lat. *margo anterior tibiae*).

Na zadnjoj strani gornjeg okrajka golenjače, na spoljašnjem kondilu, prisutno je udubljenje u kome se pripaja tetiva *m.popliteusa*.

Na spoljašnjoj, posteroinferiornoj strani spoljašnjeg kondila golenjače, nalazi se ravna i glatka zglobna površina, faset, za formiranje zgloba sa gornjim okrajkom lišnjače (lat. *fibulae*). (1, 14)

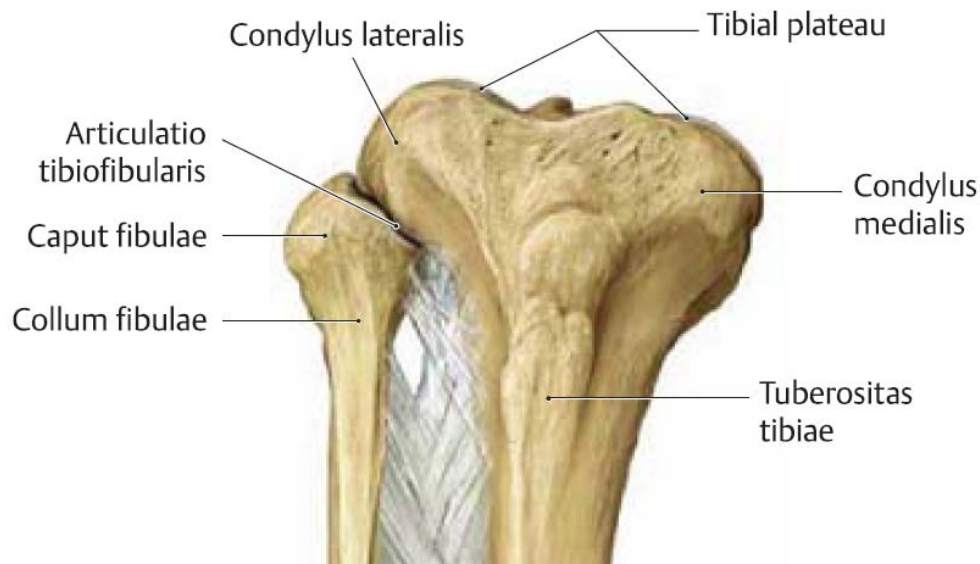
Lišnjača (lat. *fibula*) predstavlja kost koja nije pod težinskim opterećenjem u donjem ekstremitetu, pozicionirana je u spoljašnjem aspektu potkolenice. Gornji okrajak lišnjače (lat. *extremitas superior*) predstavljen je “glavom” lišnjače (lat. *caput fibulae*). Na gornjeunutrašnjoj površini glave lišnjače nalazi se okruglasta, glatka zglobna površina (lat. *facies articularis capitis fibulae*), koje je orjentisana prema naviše, napred i unutra, i formira zglob sa golenjačom. Iznad, pozadi i spolja od ove zglobne

površine se nalazi vrh glave lišnjače (lat. *apex capitis fibulae*) na kome se pripaja tetiva dvoglavog mišića natkolenice (lat. *m.biceps femoris*). Na glavi lišnjače, ispred njenog vrha, pripaja se bočni fibularni ligament (lat. *ligament collaterale fibulare s. latereale*) zgloba kolena.

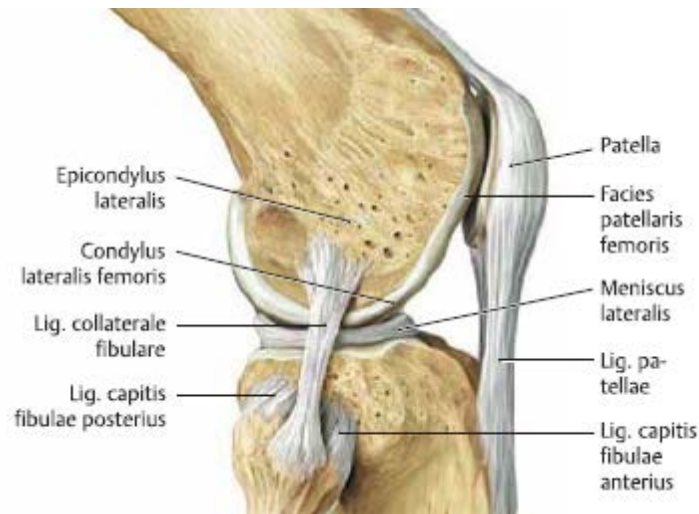
Ispod nivoa glave fibule nastavlja se “vrat” lišnjače (lat. *collum fibulae*) koji povezuje gornji okrajak *fibulae* sa telom kosti.

Gornji golenjačno-lišnjačni zglob (lat. *articulatio tibiofibularis* - TF), je sa minimalnim pokretima kliženja. Komunikacija između proksimalnog TF zgloba i zgloba kolena je identifikovana kod jednog broja fetusa, i postoji kod oko 10% odraslih osoba. (14-17)

Proksimalni tibiofibularni (TF) zglob je ravan zglob (eng “plane joint”). Fibrozna zglobna kapsula je pripojena na rubovima zglobnih površina (faseta) *tibiae* i *fibulae*. Zglobna kapsula je deblja anteriorno nego posteriorno. Pojačana je anteriornim i posteriornim ligamentima glavice *fibulae*, (lat. *lig.capitis fibulae anterioris et lig. capitis fibulae posterioris*). (16, 18)



Slika 8. Proksimalni tibiofibularni zglob, koštane strukture (desno koleno), anteriorni prikaz



Slika 9. Proksimalni tibiofibularni zglob, ligamentarne i koštane strukture, lateralni prikaz

1.1.2 Meniskusi

Meniskusi kolenog zgloba (lat. *menisci articulares genus*) su vezivno-hrskavičave (fibro-kartilaginozne) strukture, polumesečastog oblika. Pozicionirani su između zglobnih površina golenjače i kondila butne kosti i ispravljaju nepodudarnost ovih zglobnih površina tako što podubljuju i povećavaju artikularne površine golenjače i omogućavaju da zglobne površine ostvare blizak kontakt. Uloga im je elastičnih ublaživača pritiska kondila butne kosti na golenjaču pri fleksiji. Različitog su oblika, lateralni meniskus (lat. *meniscus lateralis*) je više cirkularna struktura, u obliku slova “O”, dok je medijalni (lat. *meniscus medialis*) u obliku slova “C”. Lateralni meniskus pre pokriva veću zglobnu površinu u odnosu na medijalni. Na meniskusima se razlikuju prednji i zadnji rog (lat. *cornua*) i telo meniskusa. Oba meniskusa su pripojena za različite strukture koje okružuju zglob kolena, kao i za samu golenjaču. Pripoji prednjih i zadnjih rogova oba meniskusa su pričvršćeni jakim fibroznim vlaknima na prednjem i zadnjem međukondilarnom polju gornjeg okrajka golenjače (lat. *area intercondylaris anterior et posterior*) i delom na lateralnom odnosno medijalnom interkondilarnom

tuberkulumu. Prednji rogovi meniskusa su povezani poprečnim ligamentom kolena (lat. *lig. transversum genus*).

Periferni aspekt medijalnog meniskusa se pripaja za fibroznu zglobnu kapsulu i duboki sloj medijalnog kolateralnog ligamenta (lat. *lig. collaterale mediale* - LCM). Pripoj prednjeg roga lateralnog meniskusa je na prednjem medjukondilarnom polju kao i na anteriornoj strani lateralnog interkondilarnog tuberkuluma, gde je u bliskom odnosu sa distalnim pripojem prednjeg ukrštenog ligamenta (LCA).

Širina oba meniskusa je približno konstantna, mada, postoji mogućnost povećane širine u regiji tela. Poprečni presek meniskusa ima trouglast oblik. Krvni sudovi se nalaze samo u spoljašnjoj trećini meniskusa.

Lateralni meniskus ima slabiji periferni pripoj, a posteriorno je odvojen od zglobne kapsule tetivom zatkolnog mišića (lat. *m. popliteus*) i njegovim omotačem. Zbog toga je lateralni meniskus veće pokretljivosti u odnosu na medijalni.

Pripoji meniskusa za koštane i kapsularne strukture obezbeđuju njihovu stabilnost, sprečavaju dislokaciju, i kontrolišu pokrete meniskusa pri fleksiji i ekstenziji u zglobu kolena. Pripoji oba meniskusa za golenjaču se ostvaruju preko ligamenata "korena" meniskusa. Ovi ligamenti su diskretni odlično vizuelizuju pregledom kolena magnetnom rezonancom (MR).

Oba meniskusa lako klize posteriorno pri pokretima fleksije u zglobu, lateralni meniskus se može pomeriti i do 1cm posteriorno, dok se medijalni meniskus pomera posteriorno svega par milimenara. (19)

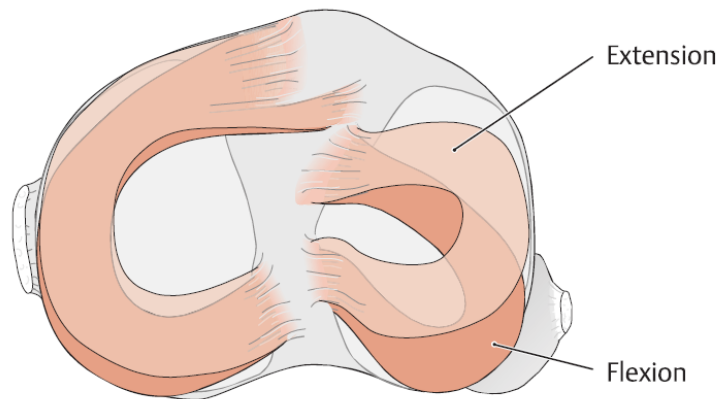
Anteriorni korenovi meniskusa su pokretljiviji od posteriornih, verovatno zbog robusnijih mekotkivnih struktura lokalizovanih u posteriornom aspektu zgloba i zglobne kapsule, a najmanja pokretljivost je prisutna kod zadnjeg roga medijalnog meniskusa. (20)

Pokreti i anteroposteriornom pravcu pri fleksiji u zglobu omogućavaju da se održi kongruentnost zglobnih površina, i štiti meniskuse od "blokade" u zglobnom prostoru. U koronalnoj ravni postoji minimalna pokretljivost meniskusa.

Još uvek ne postoji precizan konsenzus o funkciji pojedinačnih meniskalnih spojeva u promeni položaja meniskusa pri pokretima u zglobu.

Nedavno je objavljena studija koja pokazuje značaj ligamentarne strukture, snopa, poprečnog kosog anteromedijalnog kaspulofemoralnog ligamenta, koji je u kontinuitetu

sa LCM i njegovo oštećenje je udruženo sa ekstruzijom tela medijalnog meniskusa.(1, 14, 21, 22)

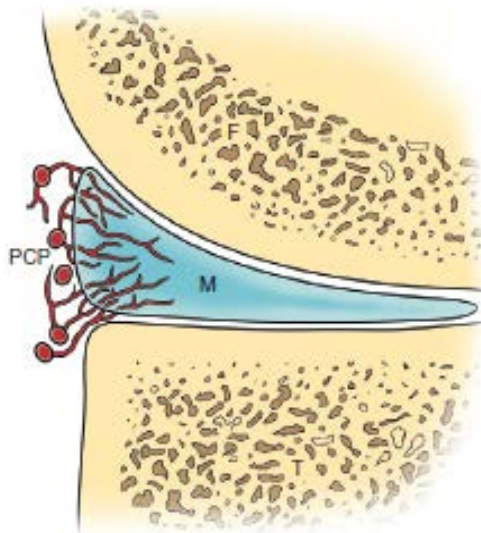


Slika 10. Pokretljivost meniskusa pri pokretima fleksije i ekstenzije u zglobu kolena, levo koleno

Meniskofemoralni ligamenti predstavljaju akcesorne ligamente zgloba kolena i spajaju zadnji rog lateralnog meniskusa, ređe medijalnog, sa interkondilarnoj regijom butne kosti. Postoje varijacije ovih ligamenata, ali se najčešće viđaju i opisuju meniskofemoralni ligamenti od posteriornog roga lateralnog meniskusa do lateralnog aspekta medijalnog kondila butne kosti. Kako prolaze kroz zglobni prostor, oni su u bliskom odnosu sa zadnjim ukrštenim ligamentom (LCP). Anteriorni meniskofemoralni ligament (lat. *lig. meniscofemorale anterius - Humphry*) koji je ispred LCP i posteriorni meniskofemoralni ligament (lat. *lig. meniscofemorale posterius - Wrisberg*) koji prolazi iz LCP. (23-26)

Vaskularizacija oba meniskusa uglavnom je od superiornih i inferiornih grana od obe, medijalne i lateralne, genigulatne arterije (slika 11).

Ovi krvni sudovi prave perimeniskalni kapilarni pleksus u sinovijalnom i kapsularnom tkivu koji vaskularizuje perifernu ivicu meniskusa (5-30%) na njegovom spoju sa zglobnom kapsulom. (23)

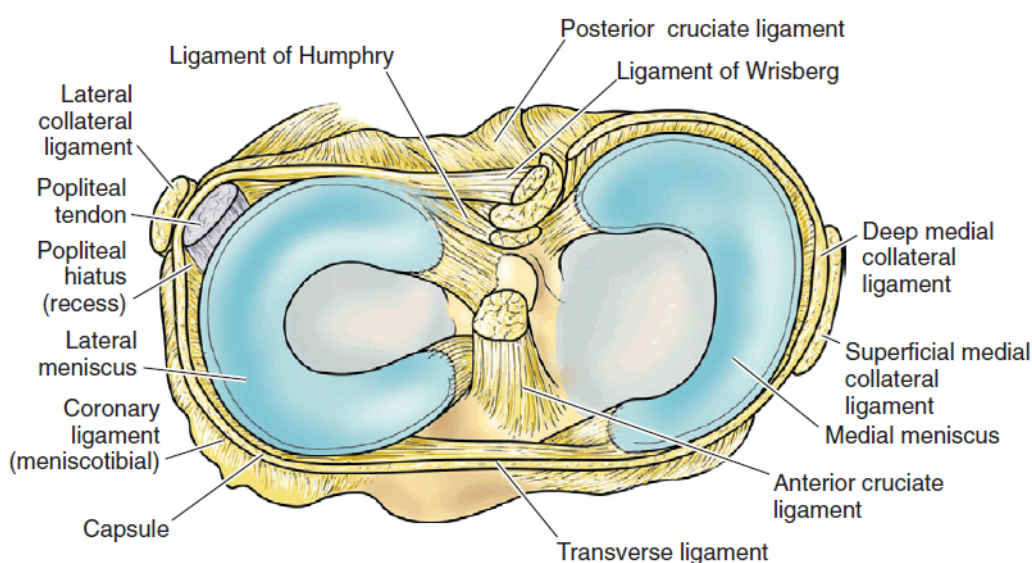


Slika 11. Perimeniskalni kapsularni pleksus

Centralni deo, i veći deo meniskusa (65-75%), su avaskularni i snabdevaju se nutritivcima iz sinovijalne tečnosti difuzijom i mehaničkim upunpavanjem tokom pokreta u zglobu. Mogućnost zarastanja oštećenja meniskusa zavisi od udaljenosti od zone vaskularizacije.

Meniskusi su inervisani posteriornim granama tibijalnog nerva (lat. *n.tibialis*) i terminalnim granama obturatornog i femoralnog nerva (lat. *n.obturatorius et n.femoralis*).

Neuralni elementi su prisutne u svim delovima meniskusa, najviše su koncentrisani u anteriornom i posteriornom rogu meniskusa. Prisutni su mehanorecepteri koji su bitni jer imaju ulogu da prenesu senzornu informaciju o mehanizmu funkcionisanja zgloba kolena. (23, 27, 28)



Slika 12. Anatomija medijalnog i lateralnog meniskusa

Mikroskopskim analizama je utvrđeno da procesom normalnog starenja meniskusi postaju čvršće konzistencije, gube elastičnost i postaju makroskopski žuće boje.

Mikroskopski postepeno se gube ćelijski elementi uz povećanje fibroznog tkiva koje zamenjuje elastična vlakna. Na mestu gubitka ćelijskih elemenatan pojavljuju se cistični prostori koji mogu inicirati nastanak rupture, obično, pod desjtvom sile pritiska od strane kondila butne kosti mogu nastati “eng. cleavage” ruptures. Raslojavanje meniskusa može uzrokovati bol. Oštećen meniskus može direktno uzrokovati oštećenje nadležuće ili podležuće hrskavice.(29-32)

Potvrđeno da oštećenje meniskusa, traumatsko ili degenerativno, uzrokuje povećanje djestva sile u aksijalnoj ravni na pripadajuće delove hrskavice artikularnih površina što vodi u rani razvoj osteoartritisa. (32, 33)

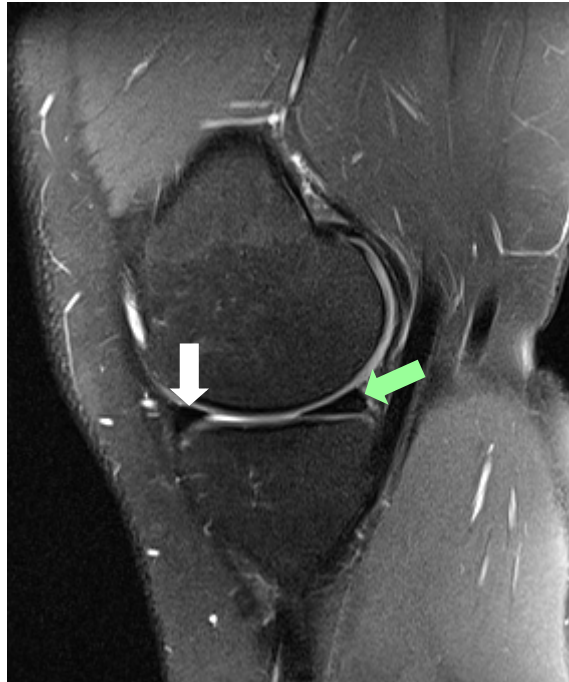
Magnetna rezonanca (MR) je široko prihvaćena metoda za radiološku evaluaciju meniskusa s obzirom na visok kontrast mekih tkiva i trenutno je metoda izbora za detekciju meniskalnih oštećenja i u planiranju daljeg terapijskog postupka. (34)

Potpuno znanje protokola snimanja, normalne anatomije meniskusa i okolnih struktura, kao i anatomskih varijacija je ključno da se obezbedi visoka dijagnostička preciznost i preveniraju nepotrebne terapijske procedure kao i hirurške intervencije.

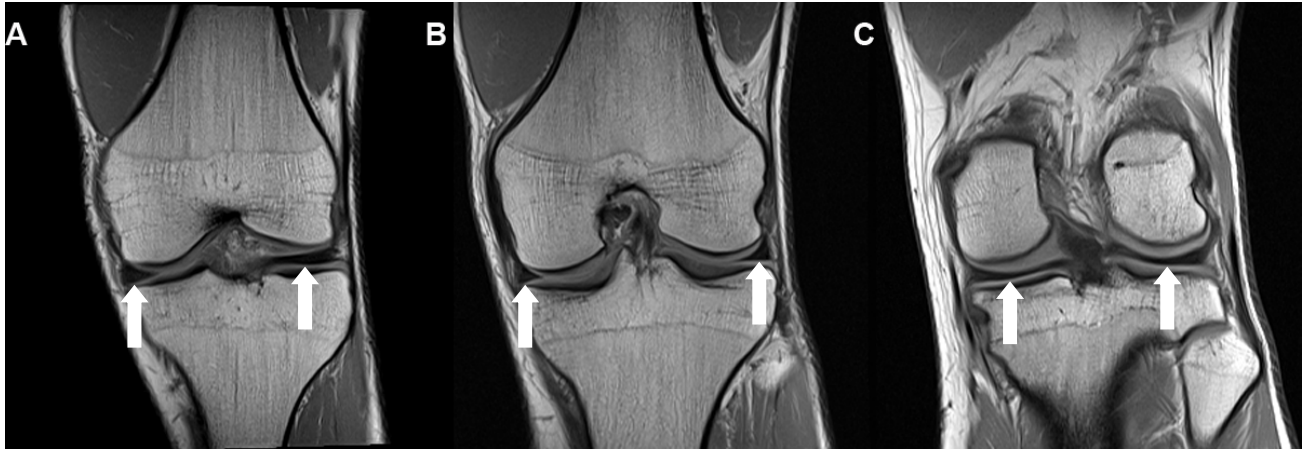
Visoka prostorna rezolucija MR pregleda meniskusa postiže se korišćenjem brzih (eng. fast spin-echo, FSE) i trodimenzionalnih (3D) MR sekvenci pregleda. (34)

Na MR tomogramima normalno tkivo meniskusa je homogeno niskog T1, PD, T2, GRE i STIR signala, i vidi se u obliku “leptir mašne” (eng. bow-tie) na sagitalnim tomogramima u nivou periferije tela meniskusa, dok je oblika trouglaste strukture u centralnim delovima (slika 13). MR pregledom prepoznaju se prednji, zadnji rog i telo, kao i ligamenti pripoja za zglobnu kapsulu i koštane strukture. Rupture meniskusa se vizuelizuju na MR pregledu kao povišen intenzitet signala unutar strukture meniskusa koji dopire do artikularne površine. MR ima visoku senzitivnost (70-98%) i specifičnost (74-98%) u dijagnostikovanju oštećenja meniskusa. (34-38)

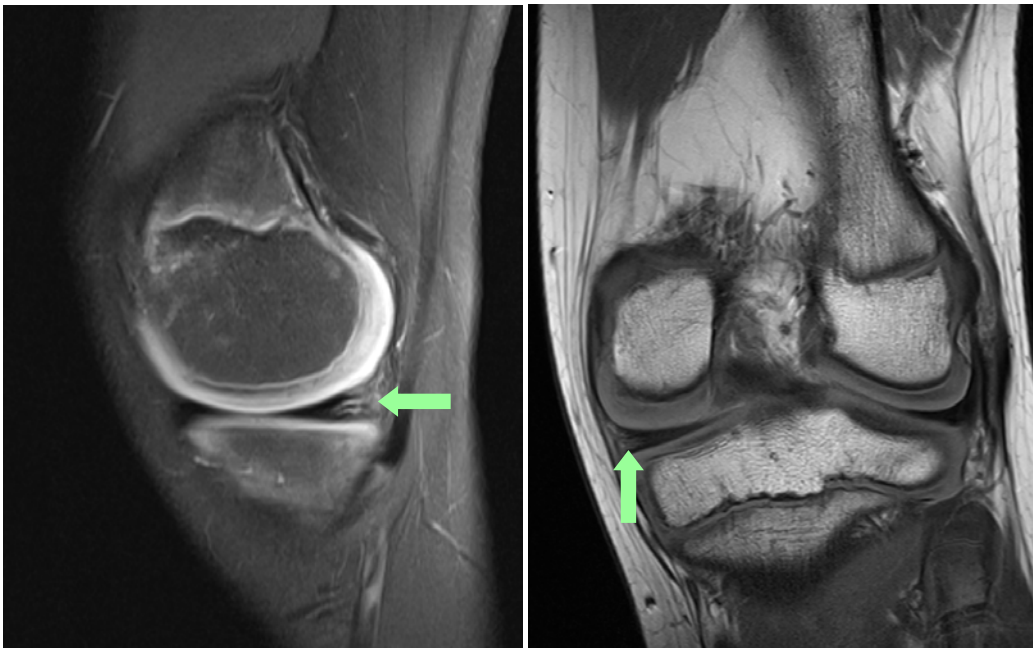
Kod mlađih osoba postoji odstupanje od signala, usled dobre vaskularizacije perifernih 50% meniskusa od strane perifernog vaskularnog plekusa, što omogućava spontano zarastanje oštećenje nastalih u ovoj zoni. Stepem vaskularizacije meniskusa se smanjuje sa godinama i kod odraslih je smanjen na 10-30%. Bolja prokrvljenost periferije meniskusa kod mlađih osoba povećava intenzitet signala na MR pregledu i ne predstavlja oštećenje meniskusa. (39)



Slika 13. Sagitalni prikaz prednjeg (bela strelica) i zadnjeg roga (zelena strelica) medijalnog meniskusa, levo koleno.



Slika 14. Koronalni prikaz (levo koleno), A- prednji rog oba meniskusa; B- telo oba meniskusa; C- zadnji rog oba meniskusa



Slika 15. Normalna vaskularizacija medijalnog meniskusa (zelene strelice), pacijent uzrasta 12 godina, levo koleno.

1.1.3 Artikularna hrskavica zgloba kolena i subhondralna kost

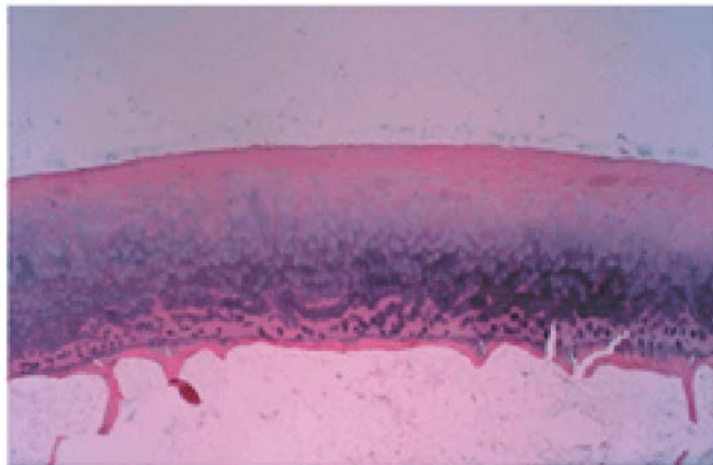
Zglobne površine kondila i trohlee butne kosti, platoa golenjače i čašice prekrivenu su specijalizovanim vezivnim tkivom, hijelinom hrskavicom, različite debljine. Zglobna hijelina hrskavica je kompleksne i jedinstvene strukture i njen integritet je ključan za pravilno funkcionisanje zgloba. Hrkavica je izuzetno glatka na artikularnim površinama, elastična, sposobna da podnese visok pritisak koji se dešava i pri normalnim pokretima u zglobu. Primarno je sastavljena od hondrocita i proteoglikana. Proteoglikani su su kompleksi glikoproteini koji se sastoje od centralnog proteinskog jezgra na koje su pripojeni lanci glikozaminglikana.

Makroskopskim i mikroskopskim analizama je utvrđeno da kompozicija hrskavice nije ista u svakom segmentu, već je podeljena u slojeve, zavisno od orijentacije kolagenih vlakana i gustine hondrocita. Približno, površinskih 5-10% debljine hrskavice je sastavljeno od pljostantih, elongiranih ćelija orijentisanih paralelno sa zglobnom površinom. Kolagena vlakna su horizontalno položena, a u matriksu se nalazi manja količina proteoglikana nego u drugim slojevima. Drugi sloj hrskavice, ispod površinskog, predstavlja tranzicioni ili intermedijerni "stratum", sadrži krupnije hondrocite, koji su pojedinačni ili grupisani. Treći sloj, predstavlja radijantni sloj, sadrži kolumne velikih ćelija, orijentisanih perpendikularno na artikularnu površinu, kao i kolagena vlakna isto orijentisana. Ovaj sloj je najveći, predstavlja 70-80% debljine hrskavice. Četvrti, najdublji sloj, predstavlja kalcifikovani "stratum" i sastoji se od nevijabilnih ćelija i kalcifikovanog matriksa. Inferiorna površina kalcifikovanog sloja je iregularna ili undulirana sa produžecima koji se pružaju i integrišu u subhondralnu kost.

Subhondralna kost ima tanak površinski sloj koji naleže natrabekule spongiozne kosti. Artikularna hrskavica se ishranjuje preko sinovijalne tečnosti, krvnih sudova sinovijalne membrane i krvnih sudova podležuće kostne srži. (1, 23)



Slika 16. Anatomski prikaz normalne hrskavice kondila femura.



Slika 17. Histološki prikaz hijeline artiklarne hrskavice

Oporavak hrskavice nakon akutne traume ili hroničnog oštećenja je skoro nemoguć upravo zbog njene avaskularizacije i proređene celularnosti. Zarastanje oštećenje hrskavice, kod koga nije došlo do oštećenja subhondralne kosti, se svodi na proliferaciju hondrocita na rubu oštećenja. Iako je proliferacija hondrocita moguća, ona je nedovoljna za zarastanje nastalog oštećenja ili defekta. Kod oštećenja hrskavice koje zahvata i subhondralnu kost, odgovor u procesu sanacije se sastoji od stvaranja granulacionog tkiva i fibrokartilaginoznog ožiljnog tkiva čija je morfologija različita u odnosu na morfologiju normalne hijeline hrskavice tako da je i funkcionalnost takvog tkiva neadekvatna u poređenju sa normalnom hrskavicom. (1, 40-44)

Iako sadrži ćelije, tečnu komponentu, kolagen i proteoglikane, kompozicija hrskavice se ne menja signifikantno s godinama. Procesom starenja hrskavica dobija više žutu boju, ali ne postoji dokaz da ovaj pigment ima funkcionalnu signifikantnost.(45)

Fibrilacija hrskavice je svakako proces koji se sa godinama dešava, koji inicijalno započinje na samoj površini i u površinskim slojevima. Prekid kontinuiteta, “eng. fraying”, i iregularnost su elementi fibrilacije hrskavice. Hemijskom analizom je utvrđeno da je povezano sa smanjenjem koncentracije glikozaminoglikana i kolagena.(45)

Ovaj proces nije sinonim osteoartritisu, ali može progredirati i zahvatiti dublje slojeve hrskavice. Inicijalni stadijum u osteoartritisu je razmekšanje hrskavice sa prekidom kontinuiteta kolagenih vlakana.

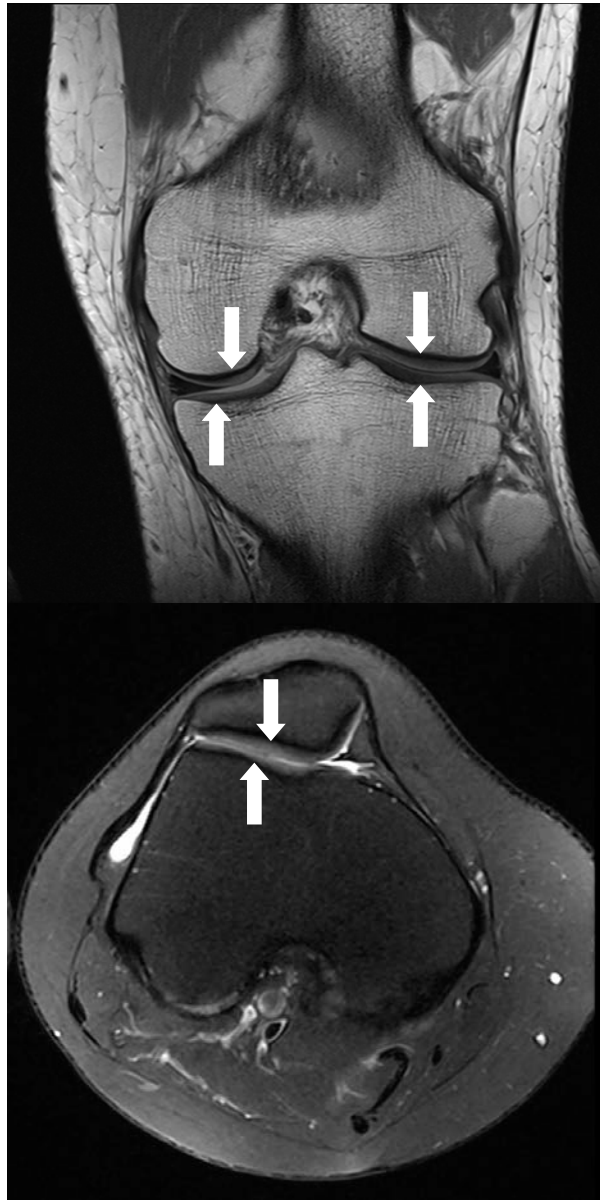
Povezanost promena koje nastaju procesom starenja, i promena kod osteoartritisa nije sasvim jasna.(1)

MR imidžing artikularne hrskavice je tema velikog broja istraživanja u protekle dve decenije. Inicijalne studije su pokazale limitiranost magnetne rezonance u evaluaciji stanja hrskavice, zavisnost od vrste upotrebene sekvence kao i prostorne rezolucije. Pokazalo se da je MR ustvari optimalna dijagnostička metoda za evaluaciju artikularne hrskavice. Multidetektorska kompjuterizovana tomografija (MDCT), sa višom prostornom rezolucijom, u budućnosti može imati veću ulogu u dijagnostici hondralnih oštećenja. (43, 46)

Do danas su studije pokazale da sistemi veće jačine magnetnog polja mogu pružiti odličnu prostornu rezoluciju i omogućiti vizuelizaciju interne struktura hrskavice. Adekvatnim sekvencama pregleda moguće je analizirati strukturalne i fiziološke karakteristike hrskavice.

Usled prisustva slojeva unutar strukture hrskavice, postoji različito vreme relaksacije pojedinih slojeva artikularne hrskavice i dobijeni MR signal nije identičan iz svakog pojedinačnog sloja. Zbog postojanja u varijabilnosti strukture hrskavice otežana je standardizacija metode za vizuelizaciju hrskavice, detekciju oštećenja, degenerativnih promena i oporavka. Sa druge strane, MR je odlična metoda za procenu integriteta hrskavice. Ključni faktori za adekvatan MR imidžing hrskavice su odnos signala i šuma (eng. *signal-to-noise ratio* (SNR)), prostorna rezolucija i izbor protokola pregleda. Kliničkom verifikacijom dobijenih nalaza magnetnom rezonancom omogućava se da se dobije adekvatan rutinski protokol MR pregleda u toku kog se mogu evaluirati i ostale strukture zgloba. (47-52)

Trodimenzionalni tanki preseki visoke rezolucije danas se mogu postoići velikim brojem široko dostupnih sekvenci čije izvođenje zahteva kratko vreme, a njihova primena redukuje dužinu celokupnog MR pregleda. (53-57)



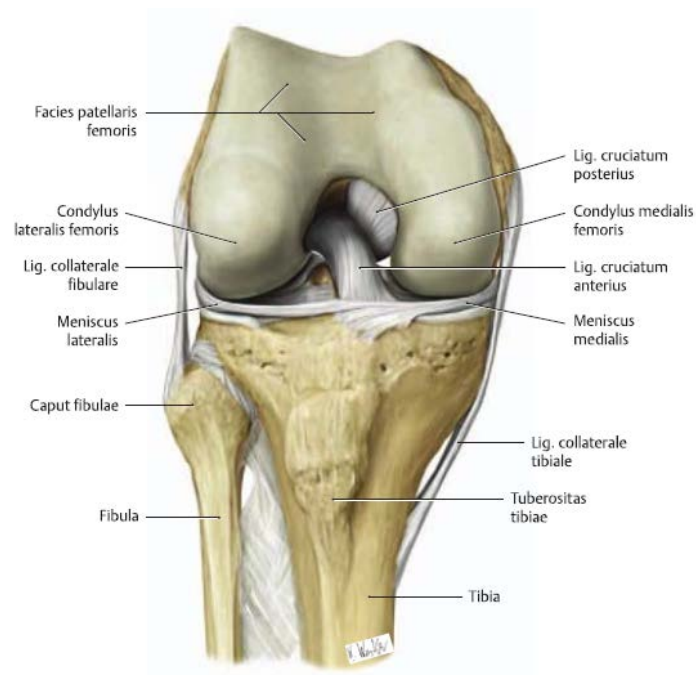
Slika 18. A-koronalni prikaz hrskavice FT zgloba, B-transverzalni prikaz hrskavice PF zgloba; rutinski MR protokol

1.1.4 Ligamenti zgloba kolena

Koštane strukture, koje čine zglob kolena, spojene su međusobno sledećim strukturama: anteriorna zglobna kapsula, patelarni ligament, dva bočna ligamenta zgloba kolena, unutrašnji i spoljašnji, (lat. *lig. collaterale fibulare - LCL et lig. collaterale mediale - LCM*), transverzalni ligament, koronarni ligament. Sa posteriorne strane zgloba kosi poplitealni (zatkoleni) ligament (lat. *lig. popliteum obliquum*), zatim lučni zatkoleni ligament (lat. *lig. arcuatum*). Ukršteni ligamenti zgloba kolena (lat. *ligg. cruciata genus*) su prednji ukršteni ligament (lat. *lig. cruciatum anterius-LCA*), zadnji ukršteni ligament (lat. *lig. cruciatum posterius - LCP*).

Primarna uloga ligamenata zgloba kolena je da obezbede stabilnost. Prednji i zadnji ukršteni ligament (lat. *LCA et LCP*) su intraartikularne, intrakapsularne, ekstrasinovijalno lokalizovne strukture i imaju glavnu funkciju u stabilnosti zgloba kolena. Predstavljaju snažne ligamentarne strukture koje povezuju butnu kost i golenjaču, obavijene su omotačem od sinovijalne membrane koja je porekla posteriorne interkondilarne regije kolena.

Kadaveričnom analizom je ustanovljena prosečna dužina LCA 3,5cm, i u nivou srednje trećine ligament prosečnog je poprečnog dijametra 1cm. Prosečna dužina LCP je 3,8 cm i u srednjoj trećini je prosečnog poprečnog dijametra 1,3cm. (58-60)



Slika 19. Prikaz kolateralnih ligamenata, LCA i LCP gledano sa anteriorne strane desnog kolena

Iako postoji razlika u rezultatima studija koja se odnosi na dužinu LCP, opšte je prihvaćen koncenzus da je LCP snažnija ligamentarna struktura. Ligamenti se međusobno ukrštaju, a postoji dodatno i intraligamentarno uvrtnje snopova svakog ligamenta pojedinačno. (61)

Prvi opisi anatomije LCA pronađeni su zapisani na egipatskom papirusu 3000 BC.

Hipokrat (Hippocrates 460-370BC) je opisao subluksaciju u zglobov kolena čoveka koja je u vezi sa povredom LCA. Ime ligamenta je dao Claudius Galen of Pergamon “ligamenta genu cruciate” (129–199 BC) (62)

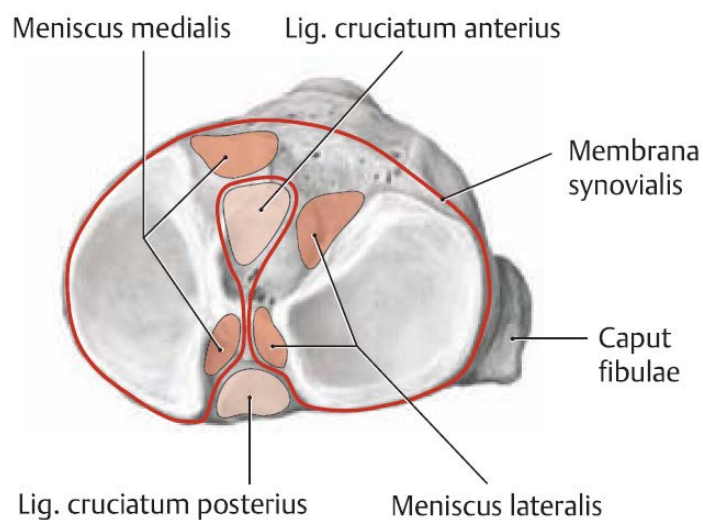
LCA se proksimalno pripaja u posteriornom aspektu interkondilarne jame, na medijalnoj strani spoljašnjeg kondila butne kosti. (60)

Distalno, LCA se pripaja anteriorno od spoljašnje kvržice interkondilarnog ispopčenja i delom na prednjem interkondilarnom polju.

Nekoliko fascikulusa LCA može biti u zajedničkom pripoju sa anteriornim pripojem prednjeg roga lateralnog meniskusa. Pripoj LCA na golenjači je veći i jači u odnosu na proksimalni, femoralni, pripoj. (58, 63)

Distalni lepezasti oblik pripoja formirani takozvani “otisak” (eng. *footprint*) na mestu pripoja na golenjači i omogućava da se LCA pozicionira ispod krova interkondilarne jame. (64)

Ovakav jedinstven pripoj je doveo postavljanja pretpostavke da nakon rupture LCA, pojedine tehnike rekonstrukcije ligamenta, mogu dovesti do “impingementa” LCA grafta o krov interkondilarne jame. vlakna normalnog LCA klize ispod krova interkondilarne jame. (59)



Slika 20. Šematski prikaz pripoja LCA na proksimalnom okrajku golenjače, odnosi sa pripojem meniskusa

LCA se sastoji od kolagenih vlakana. Ova vlakna su orjentisana paralelno sa dužom osom ligamenta. Mnoga kolagena vlakna su sjedinjena zajedno i čine subfascikularnu jedinicu. U humanoj populaciji, velika je količina endotenona, i to daje sliku trakaste forme ligamenta (eng. *band-like*) i neunifoman izgled ligamenta.

Važna je histološka građa samog pripoja LCA, gde postoji promena strukture iz fleksibilne ligamentarne strukture LCA prema rigidnoj, tvrdoj koštanoj strukturi sa interpozicijom tranzitorne zone fibrokartilaginoznog tkiva i mineralizovane hrskavice. Ovo služi kao prevencija “stres” kontrakcije na mestu pripoja ligamenta omogućavajući postepen prelazak ka rigidnoj koštanoj strukturi. (63)

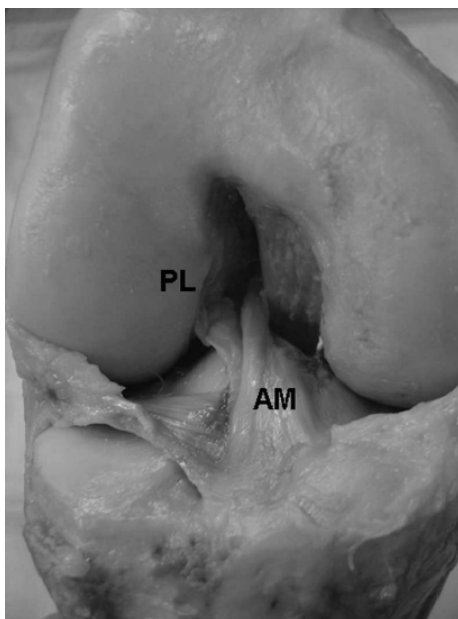
Vaskularizacija ligamenta je predominantno od srednje arterije kolena (lat. *a.genus media*) koja je grana poplitealne arterije (lat. *a. poplitea*) i direktno vrši penetraciju posteriorne zglobne kapsule. (63)

Kapilarni krvni sudovi transverzalno probijaju ligament. Postoji signifikantna vaskularizacija iz masnog jastučeta (Hoffa) preko superiornih kolenih grana (lat. *aa. genus superiores lateralis et medialis*) koje mogu imati veću ulogu kod povreda i zarastanja LCA. (27, 59)

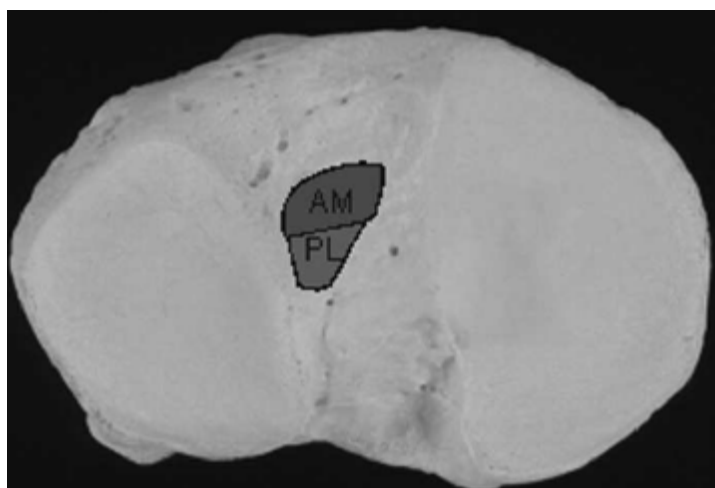
Inervacija je porekla n.tibialisa, preko terminalnih grana.(65)

Studijom sprovedenom 1984.god otkriveno je postojanje nekoliko tankih aksona u samoj strukturi ligamenta, kao i snopova koji su na površini ligamenta. Pronadjeni su mehanoreceptori, slični goldži aparatima u tetivama. Predstavljaju proprioreceptore i signaliziraju potencijalne povrede ligamenata. (66)

LCA nije samo traka sastavljena od vezivnog tkiva koja povezuje butnu kost i golenjaču. LCA se sastoji od dva snopa, anteromedijalnog i posterolateralnog (Slika), koji su imenovani prema mestu pripoja na golenjači (Slika). (58, 63, 65, 67)



Slika 21. Desni zglob kolena, gledan od napred. Uklonjene su anteriorne strukture zgloba. Prikazana su dva snopa ligamenta, anteromedijali (AM) i posterolateralni (PL).



Slika 22. Pripoj AM i PL snopa na golenjači (eng. footprint). Tibijalni pripoj je obično trouglastog oblika.

Uzdužna osa LCA je zakošena za $26^{\circ} \pm 6^{\circ}$ u odnosu na vertikalnu uzdužnu ravan.

Zbog anatomske orijentacije pripoja, dokazano je da postoji uvrtnje LCA kada zglob kolena se pomera iz položaja ekstenzije u fleksiju. Pripoj na butnoj kosti je primarno orijentisan u longitudinalnoj ravni butne kosti, dok je pripoj na golenjači orijentisan u anteroposteriornom pravcu. (59, 68)

Trenutno postoje istraživanja i nesuglasice u vezi sa brojem snopova LCA, kao i da li zaista odvojeni snopovi histološki postoje ili su samo funkcionalne celine.

Diferencijacija LCA u dve funkcionalne jedinice, anteromedijalni (AM) i posterolateralni (PL) snop je jednostavna, i široko prihvaćena.

Generalno je prihvaćeno da je AM snop zadužen funkcionalno da spreči anteriornu translaciju golenjače. Međutim, nepotpuna kongruentnost u FT zglobu omogućava unutrašnju i spoljašnju rotaciju golenjače. (69)

Kada je koleno u položaju ekstenzije, zategnut je PL snop, a AM snop je umereno relaksiran.

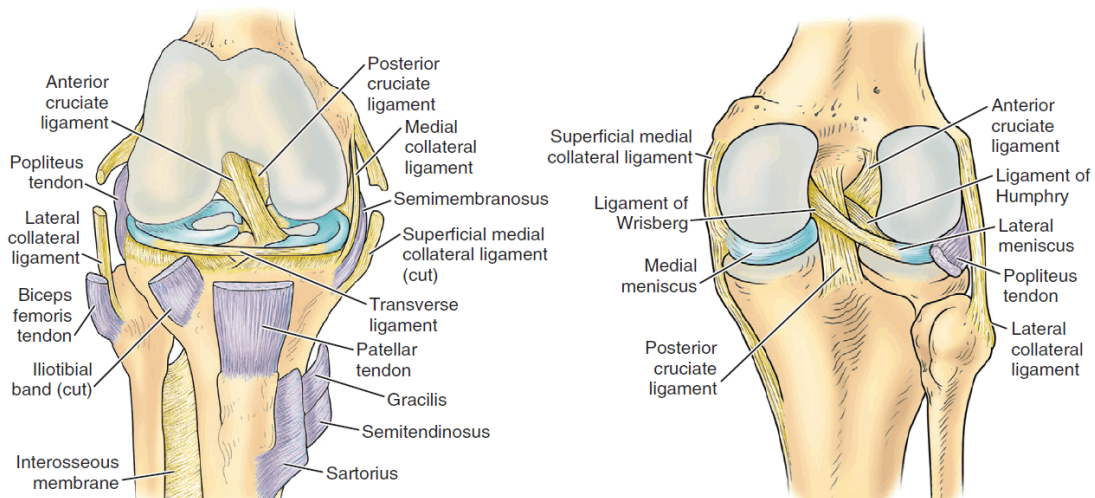
Pri fleksiji u zglobu, pripoj LCA na butnoj kosti dobija više horizontalnu orijentaciju uzrokujući zatezanje AM snopa i opuštanje PL snopa. (70)

Načinjene biomehaničke studije koje su eveluirale LCA graft nakon rekonstrukcije, u kojima su za LCA graft korišćene tetive hamstringa ili kost-patelarni ligament-kost graft (eng. Bone-Patellar tendon-bone (BTB)) pretpostavljaju da ovakve rekonstrukcije su uspešne u limitiranju anteriorne translacije golenjače, ali su insuficijentne u kontroli tibijalne rotacije. (71-75)

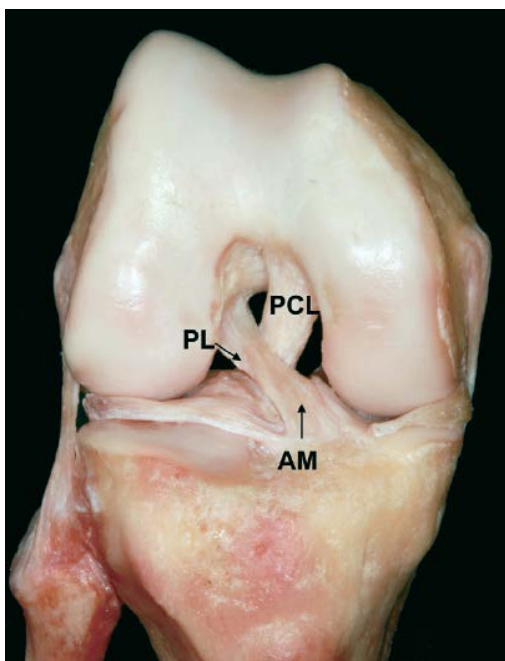
Najveći broj istraživanja u vezi sa zglobom kolena se tiče LCA. LCA je proučavan iz raznih aspekata, biomehanika intaktnog ligamenta, biomehanika grafta, mehanizmi povredjivanja, klinička i radiološka dijagnostika povrede, terapijski pristup, hirurške tehnike, postoperativna rehabilitacija.

Ukoliko do povrede dođe, glavni cilj rekonstrukcije LCA je potpuni oporavak i povratak funkcije zgloba i prevencija razvoja osteoartritisa. (76-79)

Dodatno je dokazano da, zbog anatomske orijentacije, postoji uvrtnje LCA kada zglob kolena se pomera iz položaja ekstenzije u fleksiju. (59)



Slika 23. A. anteriorni prikaz LCA i okolnih struktura; B posteriorni prikaz LCP i okolnih struktura

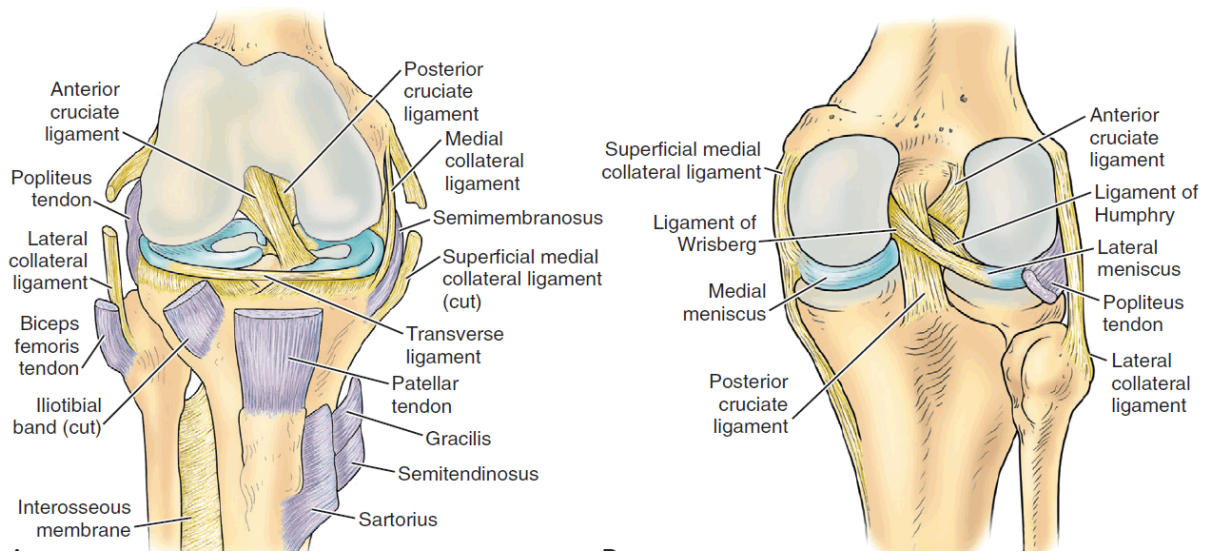


Slika 24. Kadaverični prikaz AM i PL snopa LCA uz prikaz odnosa sa LCP (na slici označen sa PCL), anteriorni prikaz desnog zgloba kolena

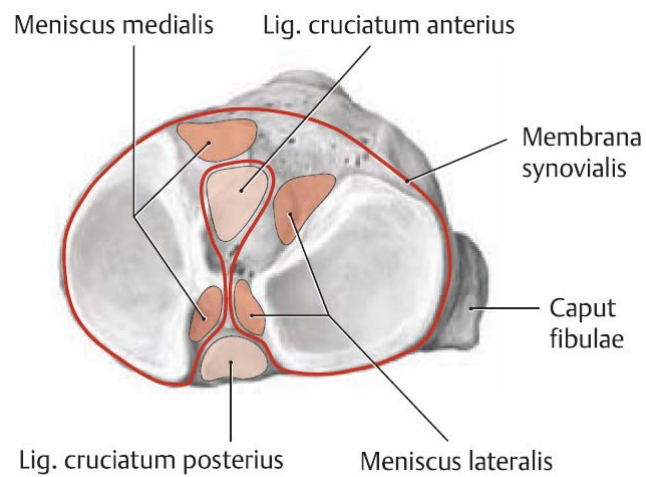


Slika 25. MR, koronalni prikaz levog zgloba kolena, LCA, bela strelica AM snop, zelena strelica PL snop

Zadnji ukršteni ligament, (lat. *lig. cruciatum posterius* - *LCP*), ima proksimalni pripoj na lateralnoj strani medijalnog kondila butne kosti, sa pravcem pružanja prema naniže i spolja, ukršta se sa LCA i distalno pripaja na zadnjem interkondilarnom polju golenjače (lat. *area intercondylaris posterior*), posteriorno od pripoja zadnjih rogova meniskusa. (14)



Slika 26. A. anteriorni prikaz odnosa LCA i LCP; B posteriorni prikaz LCP i okolnih struktura



Slika 27. Šematski prikaz pripoja LCP na proksimalnom okrajku golenjače, odnosi sa pripojem zadnjeg roga medijalnog i lateralnog meniskusa

Povrede LCP su ređe u odnosu na povrede LCA, i čine oko 3-23% svih povreda zgloba kolena. (78, 80)

LCP je sastavljen od kolagenih vlakana, najčešće se predstavlja kao ligament sastavljen od dva snopa, anterolateralnog (anteriorno) i posteromedijalnog snopa vlakana (posteriorno). Predstavlja centralni stabilizator zgloba, koji sprečava translaciju golenjače posteriorno u odnosu na butnu kost, sprečava prekomernu valgus i varus angulaciju zgloba i sprečava unutrašnju rotaciju golenjače u odnosu na butnu kost. (81)

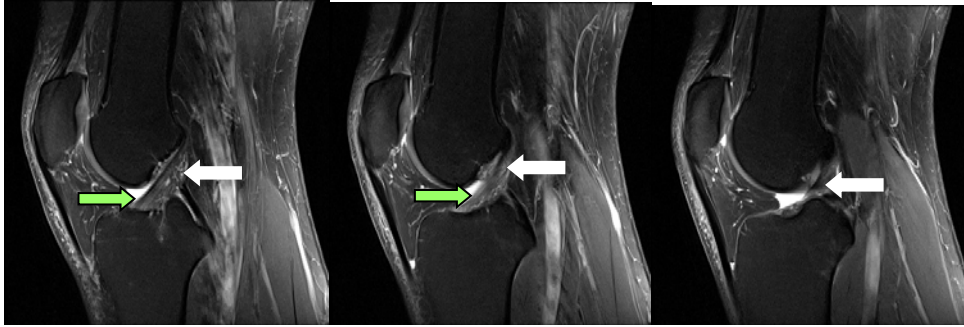
Veličina poprečnog preseka ligamenta se smanjuje od njegovog proksimalnog prema distalnom pripoju. Distalni pripoja je manji od proksimalnog.

MR pregledom u sagitalnoj ravni, kroz dva do tri preseka, se može uočiti kompletan tok vlakana LCA i LCP.

Evaluacija LCA i LCP magnetnom rezonancom ne zahteva dodatne sekvence van standardnog protokola MR pregleda. Normalna MR morfologija oba ligamenta podrazumeva jasno definisanu strukturu u vidu snopa vlakana, veoma niskog intenziteta signala. Najbolje se vizuelizuju u sagitalnoj ravni, neposredno uz mediosagitalnu ravan zgloba.

Kako se zglob kolena obično pregleda u ekstenziji, LCP je labav, zadebljan, umereno zakrivljen i anguliran prema posteriorno. Pripoji oba ligamenta se mogu uočiti na koronalnim i transverzalnim tomogramima.

Iako se pretpostavlja da se LCA sastoji od dve funkcionalne jedinice, dva snopa vlakana, ovi se snopovi ne mogu diferencirati na sagitalnim tomogramima. Jasnije se vide u nivou femoralnog i tibijalnog pripoja na koronalnim ili transverzalnim tomogramima. (82)



Slika 28. Tri uzastopna sagitalna tomograma, PDFS, debljina preseka 3mm, vizuelizacija kompletnog LCA, levo koleno, od anteriorno prema posteriorno (strelice označavaju vlakna LCA)



Slika 29. Sagitalni tomogram, PDFS, normalna MR morfologija LCP (strelica označava srednju trećinu ligamenta).

Anteriorno, odnosno posteriorno od LCP, mogu se videti meniskofemoralni ligament, anteriorno od LCP *Humphry*-ijevligament, posteriorno *Wrisberg*-ov ligament. Ova dva ligamenta su pronađena u do 80% slučajeva, ali se prisustvo oba ligamenta u jednom kolenu viđa u rasponu od 6% do 80%. (83)

Meniskofemoralni ligamenti se dobro vizuelizuju na sagitalnim i koronalnim MR tomogramima, i treba ih jasno uočiti i razdvojiti od LCP. Kosa vlakna LCP nekad se mogu pogrešno interpretirati kao meniskofemoralni ligament. (21, 26)



Slika 30. Sagitalni MR tomogram, anteriorni i posteriorni meniskofemoralni ligament, između delom prikazan LCP

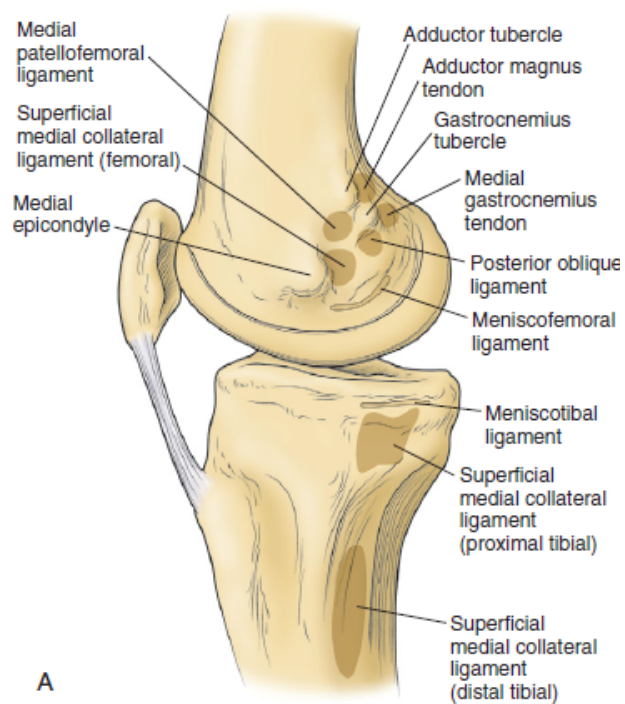


Slika 31. Koronalni MR tomogram, strelica označava posteriorni meniskofemoralni ligament, desno koleno

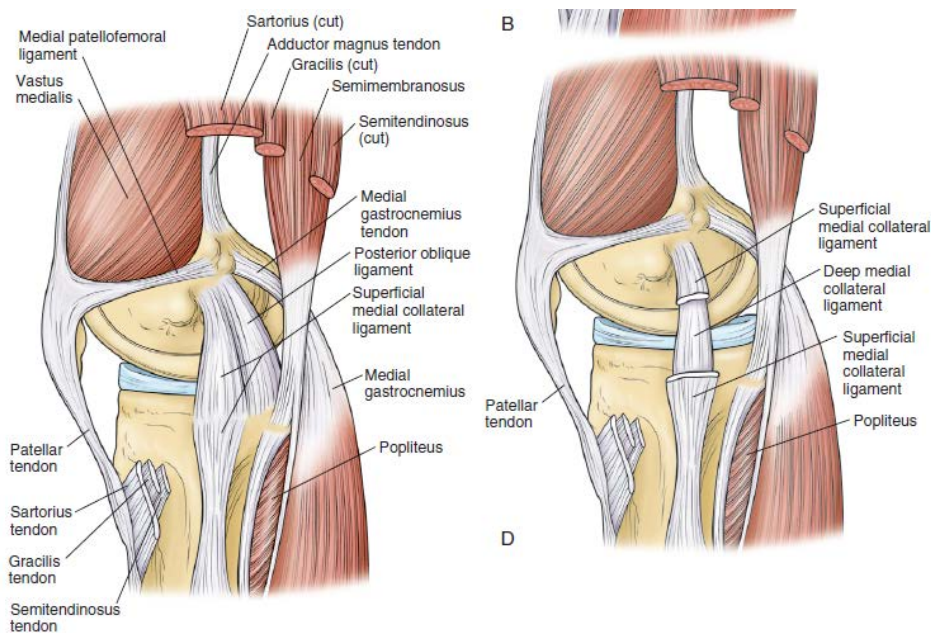
1.1.4.a Anatomija potpornih struktura zgloba kolena

Dodatne, potporne strukture zgloba kolena su brojne i kompleksne, čine ih kapsularna zadebljanja, ligamenti, tetive i retinakulumi. Sa medijalne strane najvažniji su površinski i duboki sloj medijalnog kolateralnog ligamenta (lat. *lig. collaterale mediale* -LCM), tetive *pes anserinus*, i patelarni retinakulum.

Stabilnost zgloba kolena je potpomognuta grupom mišića: m.biceps femoris, m.semitendinosus, m.semimembranosus, m.popliteus, m.gastrocnemius, m.sartorius, m.gracilis i m.quadriceps femoris.

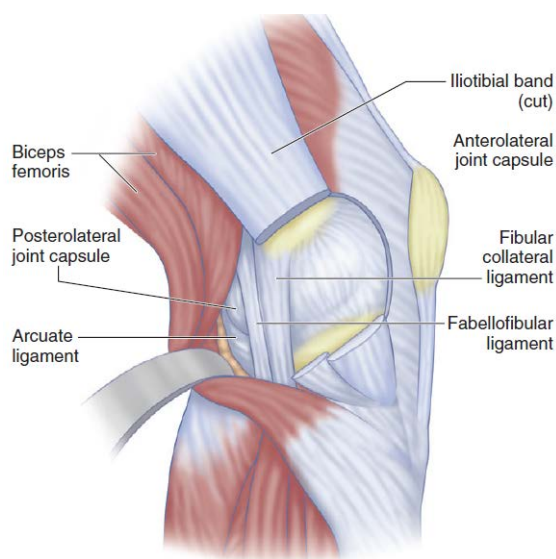


Slika 32. Medijalni prikaz potpornih struktura zgloba, mesta insercije na koštanim strukturama



Slika 33. Medijalni prikaz potpornih tetivnih i ligamentarnih struktura

Na lateralnoj strani zgloba stabilnost pojačava postojanje *m.biceps femoris* zajedno sa tetivom, *tractus iliotibialis*-a, fibularni kolateralni ligament (lat. *lig. collaterale fibulare* -LCL), zatkoleni ligament (lat. *lig.popliteum obliquum*), lateralni kapsularni ligament, meniskofemoralni ligamenti, *arcuatni* i *popliteofibularni* ligamenti, *fabellofibularni* ligament i patelarni retinakulumi.



Slika 34. Lateralni prikaz potpornih tetivnih i ligamentarnih struktura

U anteriornom aspektu zgloba, postporne strukture su patelarni ligament, patelofemoralni ligamenti, i *m.quadriceps femoris*, mišić i tetiva.

1.2. Radiološka dijagnostika patoloških stanja zgloba kolena

Primarna radiološka metoda u dijagnostici oboljenja zgloba kolena je standardna radiografija. Na radiografiji postoje brojne anatomske tačke koje predstavljaju orijentaciju u interpretaciji snimka. Razvojem novih tehnologija, pre svega magnetne rezonance, ali i kompjuterizovane tomografije, scintigrafije, ultrazvučne dijagnostike, artrografije, pojavio se novi termin “imaging” (eng.), koji objedinjuje radiološke dijagnostičke procedure. Koja će metoda i dijagnostički protokol biti primenjeni zavisi od patološkog stanja. Cilj upotrebe imidžing metoda je da se vizuelizuje oboljenje u samom zglobu ili regiji oko zgloba kolena. (1, 84-86)

1.3.1 Istorijat i savremena radiološka dijagnostika

Narušavanje unutrašnje normalne anatomije zgloba kolena, kao i patološke promene mekih tkiva, najbolje se vizuelizuju magnetnom rezonancom (MR), magnetno-rezonantnim imidžingom (MRI).

Standarni MR kalemovi (zavojnice), koji su u široko dostupni i u širokoj upotrebi, omogućavaju produkciju slika visoke rezolucije i odličnog kontrasta tkiva, kao i povećanu senzitivnost i specifičnost u otkrivanju patoloških procesa. (87)

Početak upotrebe MR imidžinga kao dijagnostičke procedure opis stanja zgloba kolena se svodio na opšte stanje zgloba. Kasnije, radiolozi su postali usmereniji i fokusiranina detalje patološkog stanja u zglobu.

Prve mogućnosti magnetne rezonance u dijagnostici patoloških stanja zgloba kolena pokazali su u svojim istraživanjima 1983. Kean i koautori (88) i Moon sa saradnicima (89), kao i Lee sa koautorima 1984.godine (90). Iako su bile daleko od današnjih

poznavanja mogućnosti MR pregleda, one su pokrenule niz studija koje su usledile u narednih trideset godina i danas traju.

Prve studije koje su korelirale dijagnostičko-patološki nalaz na kadaverima, kao i dijagnostički i nalaz artroskopije kod simptomatskih pacijenata u studijama koje usporevedene 1985. godine od strane Reichera i koautora (91, 92).

Brzo je se magnetna rezonanca pokazala kao neinvazivna dijagnostička metoda superiornija u odnosu na klasičnu artrografiju, i komplementarna dijagnostičkoj artroskopiji. Pojačavanjem mogućnosti magnetnog polja, postizanjem boljeg kvaliteta slike, povećanju prostorne rezolucije, smanjenju šuma na slici i razvojem brzih trodimenzionalnih sekvenci pregleda, koje omogućavaju postprocesing, naknadnu, sekundarnu reformaciju slike magnetna rezonanca je sve više privlačila pažnju u dijagnostici oboljenja koštanozglobnog sistema, a time i zgloba kolena i dobijala je sve veći značaj. Sve ovo je doprinelo da se lakše i preciznije dijagnostikuje narušena normalna anatomija u zglobu, kako varijacije i odstupanja od uobičajenih anatomskih odnosa, tako i patološka stanja. Ustanovljeno je da prisustvom intraartikularnog izliva u zgobu se bolje diferenciraju pojedina patološka stanja, te je tako direktna artrografija, aplikacijom gadolinijumskog paramagnetnog kontrastnog sredstva bila široko prihvaćena u pojedinim dijagnostičkim centrima. Danas se artrografija zgloba kolena uz primenu magnetne rezonance ređe primenjuje, u poređenju sa dijagnostikom drugih zglobova, pre svega zgloba kuka, ručnog zgloba, zgloba lakta i ramena. Rezervisana je za određena patološka stanja i primenjuje se kao MR ili CT artrografija (93-99).

MR pregled zgloba kolena je najčešće tražen pregled u muskuloskeletnoj radiologiji. Razlog za ovo je jednostavan, metoda je precizna, i kliničaru, ortopedu, donosi dodatne, nove ili potvrđuje postojeće informacije o stanju zgloba. Neka stanja kliničkim pregledom se ne mogu dijagnostikovati ili diferencirati, već zahtevaju invazivne procedure. Takođe, kliničkim pregledom i informacijama dobijenih MR pregledom, hirurg se odlučuje o daljem tretmanu pacijenta, vrsti operative tehnike (100, 101).

1.3.2 MR dijagnostika patoloških stanja u zglobu kolena

Odsamog početka korišćenja magnetne rezonance u dijagnostici narušavanja normalnih odnosa u zglobovima, MR ima veliku ulogu, i praktično je zamenila u potpunosti klasičnu artrografiju u dijagnostici poremećaja i oštećenja meniskusa, ligamenata, hrskavice, dovela do smanjenja morbiditeta i troškova lečenja koji su nastajali sprovođenjem dijagnostičke artroskopije u slučajevima negativnih nalaza. (82, 102-106)

Noble je u svom istraživanju 1992.godinenaglasio da je potrebno izbegavati artroskopiju u dijagnostičke svrhe i ukazao da rezultati MR pregleda pomažu kliničkom pregledu, ostavljajući artroskopiju za rešavanje problema u zglobu koji je prethodno dokazan da postoji. (107)

Iako i danas postoje nesuglasice u istraživačkim radovima koje sprovode ortopedi i onih radova koje sprovode radiolozi, ispravno bi bilo dijagnostičku artroskopiju i MR pregled ne posmatrati kao kompetitivne metode već komplemetarne. (1)

Nekoliko je ključnih faktora koji doprinose adekvatnoj interpretaciji MR snimaka. Prvo je osnovno poznavanje principa magnetne rezonance i protokola pregleda kao i poznavanje MR morfologije normalnih anatomskih struktura i zgloba bez patoloških promena. Posebnu pažnju treba usmeriti na normalne, anatomske varijacije u zglobu, kako bi se izbegla pogrešna interpretacija nalaza. (87)

Sa danas dostupnim sistemima za MR pregled i rutinskim, standardnim, protokolima pregleda koji su u širokoj upotrebi, senzitivnost i specifičnost MR pregleda u detekciji lezija LCA se u studijama kreće od 85-100%.

Velika studija sprovedena 1988. (1) u kojoj je urađena evaluacija 3000 MR pregleda od kojih je kod 242 pacijenta urađena artroskopija pokazala je preciznost MR pregleda u detekciji patologije LCA od 95% . (108)

Vallet AD i saradnici su 1989. objavili rezultate studije u kojoj je bilo uključeno 30 pacijenata, gde su rezultati pokazali senzitivnost i specifičnost MR pregleda u detekciji patologije LCA 100%. (109)

Novije studije pokazuju slične rezultate o čemu će biti više reči u diskusiji. (96, 110-112)



Slika 35. Kompletna ruptura LCA (bele strelice); desno koleno, standardni protokol pregleda



Slika 36. Posledice nedavne rupture LCA, “pivot-shift” mehanizam povrede, tipična lokalizacija koštanih kontuzionih lezija (bele strelice), postkontuziona redukcija hrskavice lateralnog kondila femura (crvena strelica), ruptura LCA (zelena strelica). Levo koleno, standardni protokol pregleda, sagitalni i koronalni prikaz.



Slika 37. Sledeći pacijent, sa “pivot-shift” mehanizam povrede i posledičnom rupturom LCA. Na nosećoj artikularnoj površini lateralnog kondila femura, naglašenija postkontuziona lezija distalne epifize femura (bele strelice), impakcija subhondralne kosti i postkontuziona redukcija hrskavice (crvena strelica). Levo koleno, sagitalni prikaz, stadardni protokol pregleda.

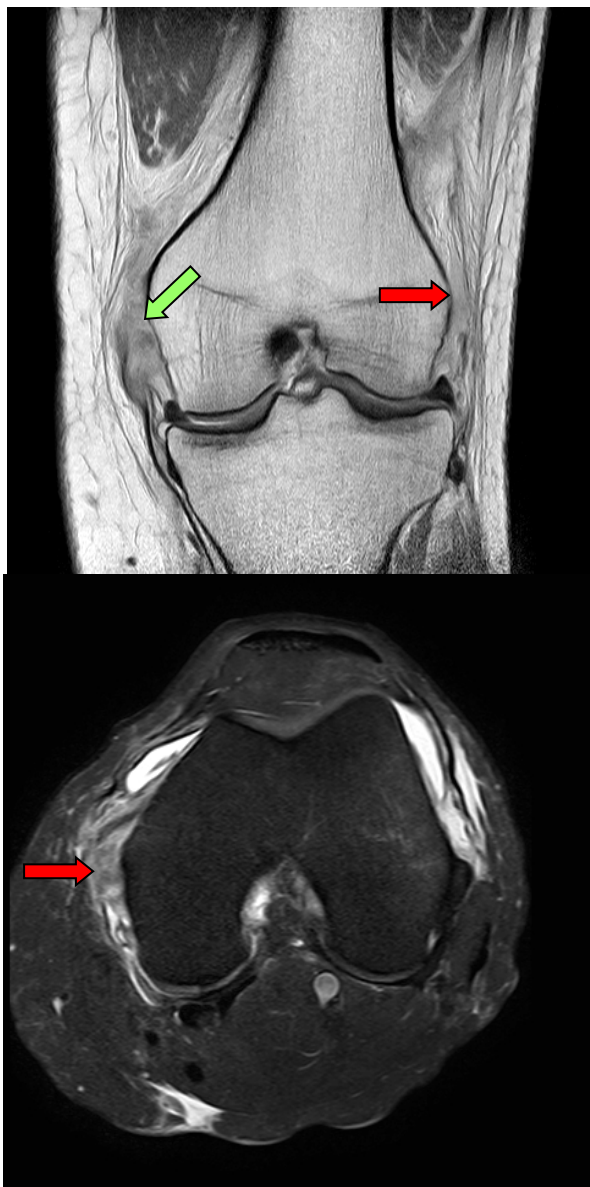
Kod pacijenta kod kojih se klinički dijagnostikuje ruptura LCA, mogućnost postojanja pridružene povrede meniskusa ili LCM je klinička indikacija za MR pregled. Dodatno, visoka preciznost magnetne rezonance u detekciji oštećenja hrskavice predstavlja još jednu indikaciju za MR pregled pre odluke o daljem tretmanu pacijenta. Većina ruptura LCA se dijagnostikuje klinički pregledom. U tim situacijama MR se koristi za dijagnostiku pridruženih lezija, primarno meniskalnih ili hondralnih oštećenja. (113-117)

Veliki značaj magnetne rezonance je u slučajevima kompleksnih povreda zgloba, gde su postoje udružene povrede više struktura zgloba i kada preciznost kliničkog pregleda zgloba iznosi 30-72% pokazao je i Oberlander sa saradnicima u studiji objavljenoj 1993.godine, pri pregledu 296 zglobova kolena. (118)



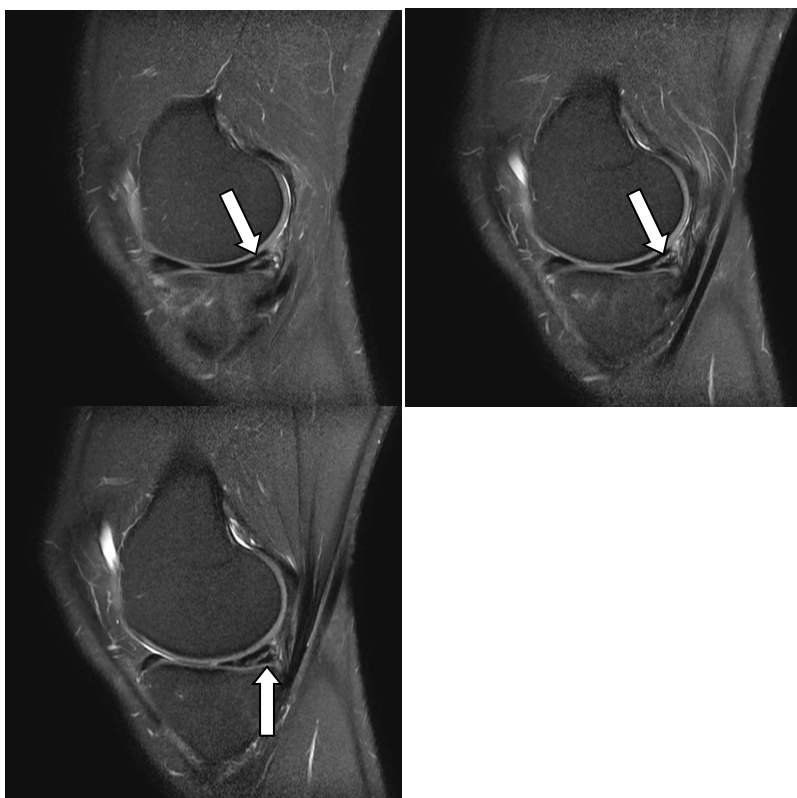
Slika 38. Udružene lezije, desno koleno, standarni protokol pregleda; levo – ruptura LCA (bela strelica); desno – “bucket-handle” ruptura medijalnog meniskusa, sa inkarceracijom fragmenta meniskusa interkondilarno (zelena strelica), posledica rupture

femoralnog pripoja LCA (bela strelica), hondralno površinsko oštećenje noseće artikularne površine medijalnog kondila femura (crvena strelica).



Slika 39. Ruptura femoralnog pripoja LCM (crvena strelica), ruptura femoralnog pripoja LCA (zelena strelica). Koronalni i transverzalni prikaz, levo koleno, standardni protokol pregleda.

Senzitivnost i specifičnost MR pregleda za detekciju oštećenja meniskusa, prema podacima dobijenim u brojnim studijama varira, i kreće se od 80-100%. (110, 116, 119-125)



Slika 40. Horizontalna longitudinalna ruptura zadnjeg roga medijalnog meniskusa, tri uzatopna sagitalna tomograma, desno koleno, standardni protokol pregleda. Prikaz komunikacije rupture sa donjom artikularnom površinom i sa kapsularnim spojem zadnjeg roga medijalnog meniskusa (strelice).

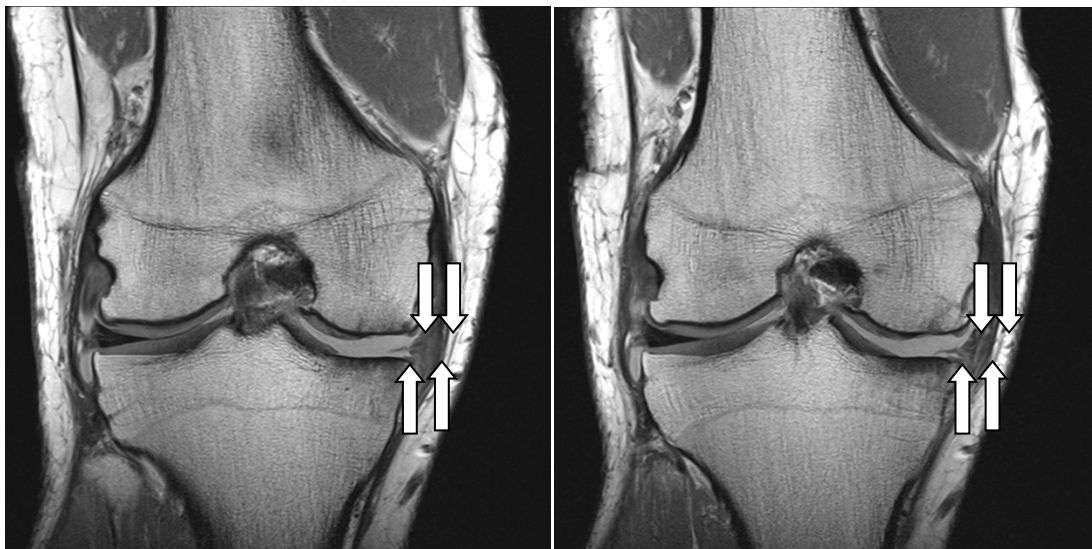


Slika 41. “Bucket-handle” ruptura medijalnog meniskusa sa inkarceracijom fragmenta interkondilarno (bela strelica), levo koleno, standardni protokol pregleda, sagitalni, koronalni i transverzalni prikaz (sa leva na desno).

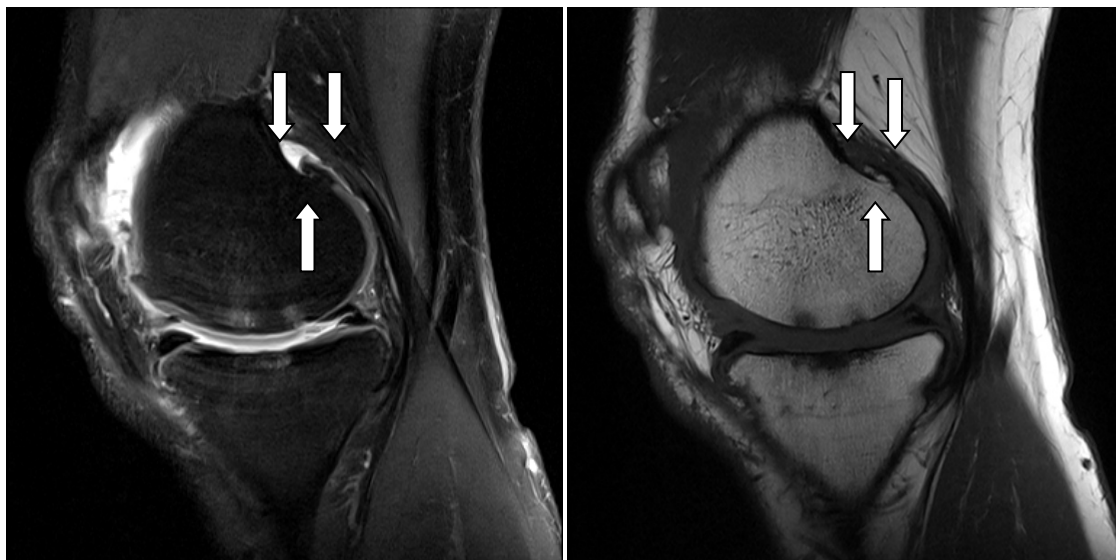
Veliki deo današnje populacije ima oboljenja i oštećenja hrskavice, različitog uzroka koja daju raznovrsnu kliničku simptomatologiju. Magnetna rezonanca je pokazala veliki potencijal u proceni stanja artikularne hrskavice, zato što je moguće postići visok kontrast između artikularne hrskavice i okolnih struktura. Koliko god je MR od velike pomoći u dijagnostici osteohondralnih oštećenja i osteohondritisa disekansa (lat. *osteochondritis dissecans*), gde postoji u manjem ili većem stepenu i oštećenje subhondralne kosti, prikaz izolovane abnormalnosti hrskavice kao što je prisutno kod hondromalacije i inflamatornog ili degenerativnog artritisa predstavlja važniji problem. U ovim stanjima, adekvatna interpretacija MR nalaza direktno zavisi od prostorne rezolucije načinjenog pregleda, i odnosa “signala” i šuma (eng. SNR). Struktura hrskavice je mala u odnosu na prostornu rezoluciju kompletnog snimka, dodatno, intrahondralne varijacije su premalih dimenzija da se jasnu prikažu zbog postojanja

efekta “parcijalnog volumena”. Kao posledica kompleksne strukture hrskavice, dobijeni MR signal iz same hrskavice je teško kvantifikovati i zavisi od brojnih faktora, najviše od parametara primenjenih tokom samog snimanja. Do danas je postignuto da se strukturalne i fiziološke karakteristike hrskavice dobro prikažu na aparatima veće jačine magnetnog polja (3T, ali i sistemima od 1.5T) i da se dobije dovoljna količina podataka sa visokom prostornom rezolucijom koja omogućava vizuelizaciju interne strukture hrskavice.

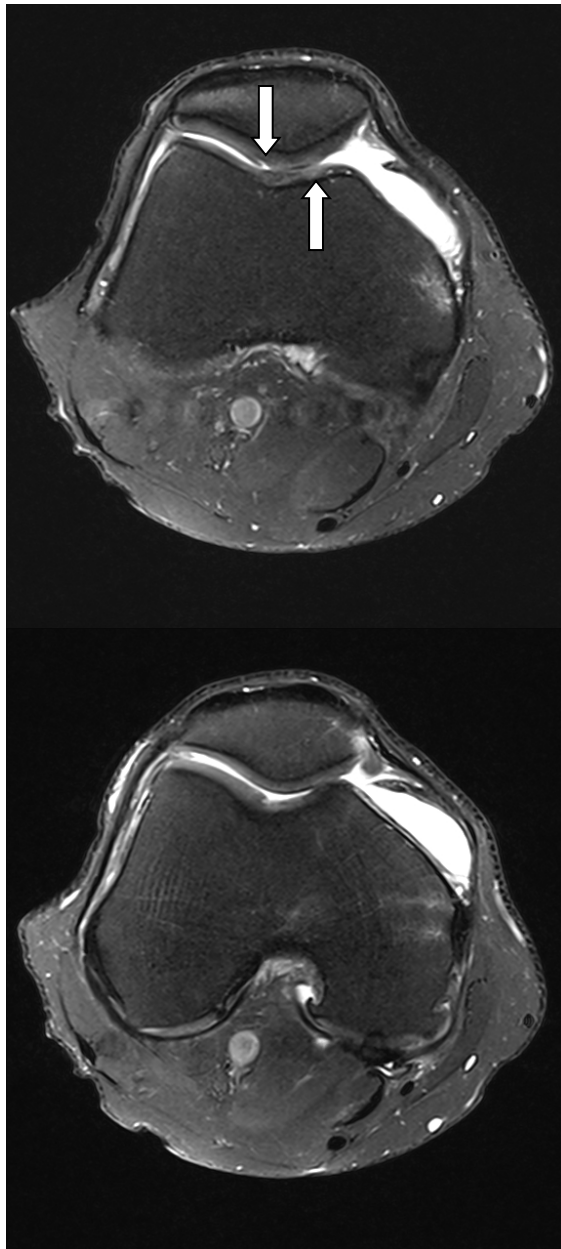
Sad su široko dostupni u standardnoj upotrebi kalemovi (zavojnice) specijalizovani za MR pregled zgloba kolena sa optimalnom visokom rezolucijom na standardnim MR skenerima. (47, 126-128)



Slika 42. Koronalni tomogrami, kompletna hondralna redukcija medijalnog kompartmenta FT zgloba (strelice), desno koleno, standardni protokol pregleda



Slika 43. Sagitalni tomogrami (isti pacijent kao i prethodna slika 42), kompetna hondralna redukcija obe artikularne površine medijalnog kompartmenta FT zgloba sa vizuelizacijom degenerativnih promena subhondralne kosti,desno koleno, standardni protokol pregleda



Slika 44. Levo – transverzalni pikaz PF zgloba, kosa fisura hrskavice patele, ne zahvata 50% debljine hrskavice (strelica); Desno - transverzalni pikaz PF zgloba, umerena hondralna redukcija trohlee butne kosti (strelica). Desno koleno, standardni protokol pregleda

1.3. Ortopedska dijagnostika patoloških stanja zgloba kolena

Iako je veliki značaj naprednih radioloških imidžing metoda u dijagnostici patoloških stanja zgloba kolena, klinički pregled zgloba je i dalje primarna metoda u evaluaciji stanja zgloba pacijenta. Pregled započinje prikupljanjem anamnestičkih podataka, informisanjem o simptomima i ukoliko se dogodila trauma, opisom mehanizma povređivanja. Ovim podacima ortoped je usmeren direktno na regiju zgloba koja je zahvaćena patološkim procesom, čime se postiže dobijanje preciznije dijagnoze.

Delovi kliničkog pregleda podrazumevaju inspekciju, palpaciju, kao i statičku i dinamičku evaluaciju stanja zgloba. "Stres" testovi se primenjuju radi procene stanja kolateralnih i ukrštenih ligamenata kao i posteromedijalnih i posterolateralnih kapsularnih struktura.

Sledeća metoda u dijagnostičkom protokolu je najčešće standardna radiografija zgloba kolena u dva pravca. (129-132)

Zglob kolena je zglob u kome artroskopija ima najveći dijagnostički i hirurški značaj. Artroskopija je dopuna kliničkom pregledu i ne može ga zameniti i nikad je ne bi trebalo sprovoditi bez prethodno načinjene radiografije zgloba.

Sa povećanjem preciznosti drugih dijagnostičkih testova, uključujući i magnetnu rezonancu, jednostavna "dijagnostička" artroskopija je izgubila na značaju.

Artroskopija zgloba kolena se može uraditi kao inicijalni korak, pre sprovođenja artroskopije radi sporvodjenja hirurškog procesa ili pre otvorene artrotomije. Artroskopija se radi u lokalnoj, regionalnoj blok anesteziji ili u opštoj anesteziji, zavisnosti od kompleksnosti stanja, planirane dužine trajanja procedure i iskustva specijaliste ortopedije koji sprovodi artroskopiju. Sama procedura se sprovodi u hirurškoj sali u striktno sterilnim uslovima. Iako su komplikacije, kao što su infekcije, retke (< 1%), moraju se poštovati principi kao kod svake hirurške tehnike. Standardni operativni pristupi su anteromedijalni, anterolateralni, posteromedijalni i superolateralni. (132)

Artroskopija se danas upotrebljava u tretmanu ruptura meniskusa i drugih patoloških stanja meniskusa, povreda ukrštenih ligamenata, oštećenja hrskavice različite etiologije, ukljanjanju slobodnih zgobnih tela, rešavanju potencijalnih problema sa sinovijalnim

plikama, i narušenih normalnih anatomskih odnosa u patelofemoralnom zglobu, kod sinovektomije u slučaju potreba za drenažom zgloba, kod rešavanja pojedinih fraktura zgloba, kao debridement tehnika kod osteoartritisa, kao i u drugim stanjima.(132)

Dok su klinički pregled danas primarna dijagnostička metoda u proceni stanja zgloba kolena, i proceni korisnosti od eventualno dalje načinjene artroskopije, magnetna rezonancne se interponira između kliničkog pregleda, donosi dodatne informacije, usmerava hirurga na detalje povrede i eventualno pridružene lezije. (55, 133, 134)

U dijagnostici i terapiji intraartikularni narušenih anatomskih odnosa i povreda zgloba kolena, artroskopija i danas predstvalja referentni (“zlatni”) standard, čija preciznost dodatno zavisi od iskustva operatera. (135, 136)

II HIPOTEZE I CILJEVI ISTRAŽIVANJA

Cilj: optimizacija protokola pregleda kolenog zgloba magnetnom rezonancom na aparatu jačine 3 Tesla.

1. 3D sekvence, osim što skraćuju vreme pregleda, donose isti ili veći broj podataka o patološkim promenama u zglobu kolena u odnosu na konvecionalne sekvence, standardnog 2D MR pregleda.
2. 3D sekvence imaju veću senzitivnost i specifičnost u odnosu na standardno korišćene sekvence pri evaluaciji zgloba kolena MR pregledom.

III MATERIJAL I METODE

3.1 Uzorak (pacijenti)

Prospektivnom studijom je obuhvaćeno 76 pacijenata muškog i ženskog pola (34 ženskog pola), prosečne starosti 36 godina (od 18 do 54), kojima je urađen MR pregled kolenog zgloba u Centru za imidžing dijagnostiku, Instituta za onkologiju Vojvodine u Sremskoj Kamenici, u period od 2010 do 2014.godine, nakon pregleda ortopeda i pretpostavljene dijagnoze sa indikacijom za dijagnostičku ili terapijsku artroskopiju. Protokol studije je odobren na Etičkom odboru Kliničkog centra Vojvodine i od strane Etičke komisije Medicinskog fakulteta Univerziteta u Novom Sadu. Svi pacijenti su pročitali i potpisali informisani pristanak za učešće u ispitivanju (Prilog 1 i 2.).

Kriterijumi za uključivanje u istraživanje bili su:

1. Pacijenti sa napunjenih 18 godina i stariji od 18 godina.

Kriterijumi za isključivanje iz studije su bili:

1. Prethodne hirurške intervencije na ispitivanom zglobu kolena

2. Nemogućnost da se pacijentu izvrši MR snimanje, zbog postojanja apsolutnih ili relativnih kontraindikacija za snimanje u magnetnom polju.

3.2 MR imidžing

MR snimanje je načinjeno od nekoliko dana do 3 meseca pre načinjene artroskopije. Za MR snimanje korićen je aparat jačine 3 Tesla, (3-T MR - Siemens Trio, Siemens Medical Solutions Erlangen, Germany) sa osmokalnim radiofrekventnim kalemom specijalizovanim za pregled donjeg ekstremiteta. Standardni protokol podrazumevao je 2DT1W i 2DPDFS sagitalne tomograme, 2DPDW koronalne tomogram i 2DPDFS transverzalne tomograme, koji su načinjeni sa debljinom preseka od 3mm, (tabela 1.). Pregled su rađeni bez aplikacije intravenskog paramagnetnog kontrastnog sredstva.

Tabela 1.

	SEKVENCA			
<i>Tehničke karakteristike</i>	T1 TSE sag	PDFS sag	PD cor	PDFS tra
TR/TE	419/8.5	3350/43	2210/9	3350/43
Turbo factor, PAT	-	GRAPPA, 2	-	GRAPPA, 2
FOV (mm)	150x150	150x150	150x150	150x150
Debljina preseka	3mm	3mm	3mm	3mm
Matrix	384x320	384x320	448x405	384x320
Flip angle	150	138	131	138
Saturacija masti (FS)	-	+	-	+
Broj preseka	30	30	30	30
Vreme snimanja (min)	3:25	5:02	4:44	4:09
kontrast	-	-	-	-

legenda:

TR-vreme ponavljanja

TE-vreme ehoa

T1-longitudinalno vreme relaksacije

T2-transverzalno vreme relaksacije

PD- proton density sekvenca

FOV-field of view

sag-sagitalno

cor-koronalno

tra- transverzalno

TSE-turbo spin echo

Nakon standardnog protokola pregleda kod 76 pacijenata je uradjena dodatna, izovoksel, 3D- TrueFISP sekvencasa debljinom preseka od 0,6mm (Tabela 2).

Tabela 2.

	SEKVENCA
<i>Tehničke karakteristike</i>	3DTrueFISP
TR/TE	9.23/3.91
Turbo factor	GRAPPA, 2
FOV (mm)	150x150
Debljina preseka	0,6mm
Matrix	320x320
Flip angle	28
Saturacija masti (FS)	Water excitation
Broj preseka	240
Vreme snimanja (min)	2:48
kontrast	-

GRAPPA - eng. “generalized autocalibrating parallel acquisition”

PAT - eng. “parallel acquisition technique”

Dva, radiologa, nezavisno jedan od drugog, sa iskustvom u muskuloskeletnom imidžingu od 14 i 8 godina su evaluirali dobijene tomograme standardnog i dopunskog protokola. Oba radiologa nisu bila upoznata sa kliničkim, ortopedskim, nalazom pacijenta kao ni sa rezultatima naknadno urađene artroskopije.

Evaluacija MR pregleda podrazumevala je pregledanje dobijenih tomograma standardnog protokola pregleda kod 40 pacijenata, i dodatnih izovoksel 3D sekvenci kod drugih 36 pacijenata. Nakon dve nedelje, pregledan je dopunski protokol pregleda kod prvih 40 pacijenata, a standardni protokol pregleda kod drugih 36 pacijenata.

Evaluacija izovoksel 3D sekvence podrazumevala je gledanje sve tri ravni pregleda na radnoj stanicisa sekundarnim reformacijama (radna stanica: Siemens, Syngo.via) uz mogućnost da se adekvatno “zakrivi” ravan orijentacije kako bi se određena regija u celini evaluirala.

Evaluirane su sledeće strukture: hrskavica artikularnih površina, LCA, oba meniskusa, i subhondralna kostna srž.

Artikularna hrskavica je podeljena na šest površina: femoralni kondili, medijalni i lateralni, tibijalni platoi, medijalni i lateralni, trohlea femura, i artikularna površina patele. MR nalazna hrskavici je gradiran na osnovu modifikovanog Outerbridge klasifikacionog sistema za hondralne abnormalnosti (tabela 3.) koju su primenjivali i ortopedi koji su radili artroskopiju kod ispitanika (44, 137-139). Korišćeno je pet stepena oštećenja hrskavice, 0 - bez abnormalnosti, 1- abnormalnost inteziteta signala, ali normalna površina hrskavice, 2- iregularnost površine hrskavice, erozije, ili ulceracije koje ne zahvataju više od 50% debljine hrskavice, 3- za defekte koji zahvataju 50% i više od 50% debljine hrskavice, ali manje od 100% i 4- za defekte čija ekstenzija dopire do subhondralne kosti. Ukoliko je na jednoj artikularnoj površini postojalo više lezija, različitog stepena oštećenja, najviši stepen oštećenja je prihvaćen kao oštećenje te površine i zabeležen kao rezultat.

Tabela 3. Modifikovani Outerbridge klasifikacioni sistem za hondralne abnormalnosti

MR i modifikovana Outerbridge klasifikacija abnormalnosti hrskavice	
MR klasifikacija	Modifikovana Outerbridge klasifikacija
Stepen 0: normalna intaktna hrskavica	Stepen 0: normalna intaktna hrskavica
Stepen 1: normalna kontura±abnormalan intenzitet signala	Stepen 1: hondralno razmekšanje; intaktna površina, bez drugih morfoloških oštećenja
Stepen 2: superficijalna iregularnost, erozije ili ulceracije, < 50% debljine hrskavice	Stepen 2: superficijalna fibrilacija, fisure ili ulceracije, <50% debljine hrskavice
Stepen 3: parcijalni defekt, zahvata ≥50%, a <100% debljine hrskavice	Stepen 3: parcijalni defekt, fibrilacije, fisure, ulceracije ili hondralni flap koji zahvata ≥50%, a <100% debljine hrskavice
Stepen 4: defekt pune debljine hrskavice	Stepen 4: defekt pune debljine hrskavice, ulceracija i izloženost subhondralne kosti

LCA je procenjivan kao intaktan na MR pregledu, ako je bez abnormalnosti u intenzitetu signala, degeneracije, odnosno kao rupturiran - potpuni diskontinuitet vlakana.

Meniskusi su interpretirani kao intaktni ili sa rupturom. (1)

Subhondralna kostna srž je interpretirana kao normalna kada nije postojala fokalna zona izmenjenog intenziteta signala i izmenjena (abnormalna) kada se uočavala fokalna zona alteracije intenziteta signalana MR pregledu. (1)

Svaki radiolog je pojedinačno unosio podatke u tabelu, Excel 2010 (Microsoft).

3.3 Artroskopija kao referentni standard

Artroskopija je korišćena kao referentni, "zlatni standard". Ortepodici (sa 15 i 30 godina iskustva) su tokom artroskopije evaluirali navedenih šest artikularnih površina radi procene stanja hrskavice. Zabeleženo je najveće (najvišeg stepena) oštećenje hrskavice. Za ostale strukture, korišćen je izveštaj artroskopije koji je napisan opisno, kao završna dijagnoza. (140-148)

3.4 Statistička analiza

McNemar test je korišćen za utvrđivanje signifikantnosti razlike u senzitivnosti, specifičnosti i preciznosti različitih MR tehnika pregleda, različitih primenjenih sekvenci.

Podudarnost nalaza dva radiologa (eng. "*interobserver agreement*") u interpretaciji i analizi dobijenih tomograma korišćenjem standardnog protokola MR pregleda i 3DTrueFISP sekvence izračunata je pomoću *Kappa* statistike (SPSS software, version 12). Analizirano je stanje hrskavice šest različitih zglobnih površina, LCA, unutrašnjeg i spoljašnjeg meniskusa, stanje subhondralne kosti kao i prisustvo edema kostne srži. Takođe je rađena procena podudarnosti dobijenih informacija korišćenjem sekvenci standardnog MR pregleda i 3DTrueFISP sekvence (eng. "*intermethod agreement*").

Podudarnost analize dijagnostičkih podataka radiologa i analiza podudarnosti različitih metoda dijagnostike (eng. "*Interobserver & intermethod agreement*") je procenjena na osnovu preporuka Landisa i Kocha gde *Kappa* vrednost 0.00-0.20 podrazumeva slabu (eng. *slight*) podudarnost, vrednost 0.21-0.40 blagu (eng. *fair*) podudarnost, vrednost 0.41-0.60 umerenu (eng. *moderate*) podudarnost, vrednost 0.61-0.80 značajnu (eng. *substantial*) podudarnost i vrednost od 0.81 do manje od 1.00 ukazuje idealnu podudarnost (eng. *perfect*).

$P < 0,05$ je smatrano za statistički značajnu razliku.

Za oštećenja hrskavice, podaci su dihotono podeljeni na “bez oštećenja” (Gr 0) i sa oštećenjem (2-4). Senzitivnost i specifičnost (u intervalu poverenja 95%) za detekciju oštećenja LCA, meniskusa i subhondralne kosti, je izračunata korišćenjem McNemar testa.

IV REZULTATI

4.1 Artroskopija (“referentni standard”)

Intraoperativno je ukupno detektovano: 138 oštećenja artikularne hrskavice, 32 rupture prednjeg ukrštenog ligamenta (LCA) i 57 ruptura meniskusa (42 unutrašnjeg meniskusa).

4.2. Podudarnost radiološke interpretacije MR pregleda - “interobserver agreement”

4.2.1 Podudarnost radiološke interpretacije MR pregleda u detekciji hondralnih oštećenja

Oštećenja hrskavice su evaluirala dva radiologa na šest različitih artikularnih površina. Za radiologa (R1) prosečna senzitivnost i specifičnost u detekciji svih hondralnih oštećenja upotrebom standardnog protokola MR pregleda, bila je 69,7%, 91,1% respektivno, dok je u evaluaciji hondralnih oštećenja upotrebom 3DTrueFISP sekvence prosečna senzitivnost bila 67,7%, specifičnost 93,25%. Prosečna senzitivnost i specifičnost u detekciji hondralnih oštećenja standardnim protokolom pregleda bila je 73%, odnosno 94,5% za radiologa (R2), dok je upotrebom 3DTrueFISP sekvence prosečna senzitivnost bila 80,4%, a specifičnost 95,1%. (tabela 4).

Tabela 4. Senzitivnost i specifičnost rutinskog protokola MR pregleda i 3DTrueFISP sekvence u detekciji hondralnih oštećenja.

Artikularna površina	Senzitivnost (IP 95%)		Specifičnost (IP 95%)	
	Standardni protokol	3DTrueFISP	Standardni protokol	3DTrueFISP
LF (13 lezija)	83,5 (82,9-84,1)	83,7 (82,9-84,5)	97,6 (96,8-98,4)	98,4
MF (37 lezija)	51,9 (51,3-52,5)	58,3 (51,3-65,4)	91,1 (87,2-94,9)	95,2 (94,9-95,6)
LT (11 lezija)	85,8 (85,5-86,1)	85,8 (85,5-86,1)	91,5 (90,8-92,3)	93,1 (92,3-93,8)
MT (15 lezija)	81,3 (80,3-82,4)	82,4 (80,3-84,5)	95,5 (95,1-96,7)	96,7
P (44 lezije)	42,9 (42,1-56,4)	57,2 (42,1-72,3)	92,2 (87,5-96,9)	90,6 (87,5-93,8)
T (18 lezija)	71,9 (67,6-76,3)	83,0 (76,3-89,7)	88,8 (87,9-89,7)	91,0 (89,7-92,3)

IP= interval poverenja; LF-lateralni kondil butne kosti; MF-medijalni kondil butne kosti; LT-lateralni plato golenjače; MT-medijalni plato golenjače; P-patela; T-trohlea butne kosti.

Podudarnost radiološkog nalaza dva radiologa, (R1 i R2), u interpretaciji oštećenja artikularne hrskavice (eng. “*interobserver agreement*”) prikazana je u Tabeli 5. Nije postojala statistički značajna razlika u podudarnosti radiološkog nalaza korišćenjem 2D standardnog protokola pregleda i 3DTrueFISP sekvence, ($P=0.000$). Na osnovu dobijenih vrednosti, podudarnost je bila značajna, i kretala se u intervalu 0.61-0.80.

Tabela 5. Kappa vrednost sa intervalom poverenja 95% opisuje podudarnost radiološkog nalaza dva radiologa u određivanju stepena oštećenja hrskavice upotrebom standardnog 2D protokola i 3DTrueFISP sekvence. Prikazane su prosečne vrednosti stepena oštećenja svih artikularnih površina.

Kappa vrednost (95% interval poverenja)

Oštećenje hrskavice	Standardni protokol	3DTrueFISP sekvence	<i>p</i> -vrednost
<i>R1 i R2</i>	0,690	0,688	< 0,0001

4.2.2 Podudarnost radiološke interpretacije MR pregleda u detekciji oštećenja LCA

Lezije prednjeg ukrštenog ligamenta (LCA), radiolozi su nezavisno evaluirali, sa visokom senzitivnošću i specifičnošću, upotrebom standardnog 2D protokola MR pregleda i upotrebom

3DTrueFISP sekvence. U prvom slučaju, korišćenjem standardnog protokola pregleda, prosečna senzitivnost i specifičnost za oba radiologa su bile 94,3 i 100,0%, respektivno, dok je upotrebom 3DTrueFISP sekvence, prosečna senzitivnost bila 97,75%, specifičnost 97,50%, (tabela 6).

Tabela 6. Senzitivnost i specifičnost rutinskog protokola MR pregleda i 3DTrueFISP sekvence u detekciji rupture LCA.

LCA	Senzitivnost (IP 95%)		Specifičnost (IP 95%)	
	Standardni protokol	3DTrueFISP	Standardni protokol	3DTrueFISP
LCA (32 rupture)	94,3 (93,2-95,5)	97,75(95,5-100)	100,0	97,50 (95,5-100)

IP= interval poverenja.

Međusobna podudarnost nalaza (eng. “*interobserver agreement*”) R1 i R2 u interpretaciji rupture LCA je prikazana u Tabeli 7. Podudarnost se kretala od 0,782 do 0,892 (*Kappa* vrednost) pri upotrebi standardnog protokola pregleda, i od 0,752 do 0,892 pri interpretaciji rupture LCA upotrebom 3DTrueFISP sekvence. Nije postojala statistički značajna razlika u podudarnosti radiološkog nalaza korišćenjem 2D standardnog protokola pregleda i 3DTrueFISP sekvence, ($P=0.000$), podudarnost se kretala u intervalu od 0,752 do 0,892 (*Kappa* vrednost) što ukazuje na postojanje idelane podudarnosti u interpretaciji nalaza.

Tabela 7. *Kappa* vrednost sa intervalom poverenja 95% opisuje podudarnost radiološkog nalaza dva radiologa u određivanju postojanja rupture LCA upotrebom standardnog 2D protokola i 3DTrueFISP sekvence. Prikazane su prosečne vrednosti dijagnostikovanih ruptura LCA.

Kappa vrednost (95% interval poverenja)

Ruptura LCA	Standardni protokol	3DTrueFISP sekvence	<i>p</i> -vrednost
<i>RI i R2</i>	0,837	0,822	< 0,0001

LCA- prednji ukršteni ligament

4.2.3 Podudarnost radiološke interpretacije MR pregleda u detekciji ruptura medijalnog meniskusa

Rupture medijalnog meniskusa, bez izjašnjavanja o orijentaciji rupture, oba radiologa su evaluirala, standardnim MR 2D protokolom pregleda i 3DTrueFISP sekvence. Upotrebom standardnog protokola pregleda prosečna senzitivnost za oba radiologa je bila 48,2%, specifičnost 48,9%, dok je upotrebom 3DTrueFISP sekvence, prosečna senzitivnost bila 48,9%, specifičnost 82,3%. Rezultati su prikazani u Tabeli 8.

Tabela 8. Senzitivnost i specifičnost rutinskog protokola MR pregleda i 3DTrueFISP sekvence u detekciji ruptura medijalnog meniskusa.

Medijalni meniskus	Senzitivnost (IP 95%)		Specifičnost (IP 95%)	
	Standardni protokol	3DTrueFISP	Standardni protokol	3DTrueFISP
MM(42 rupture)	48,2 (44,7-51,7)	48,9(44,7-53,1)	80,9 (79,4-82,4)	82,35 (79,4-85,3)

IP= interval poverenja; MM- medijalni meniskus

Podudarnost dobijenih nalaza upoređivanjem rezultata oba radiologa, R1 i R2, u detekciji ruptrua medijalnog meniskusa je prikazana u Tabeli 9. Opseg podudarnosti interpretacije nalaza se kretao od 0,783 do 0,811 (*Kappa* vrednost) za standardni 2D protokol pregleda, i od 0,731 do 0,839 za detekciju ruptura 3DTrueFISP sekvencom,($P=0.000$),što ukazuje na postojanje značajne podudarnosti u interpretaciji nalaza.

Tabela 9. *Kappa* vrednost sa intervalom poverenja 95% opisuje podudarnost radiološkog nalaza dva radiologa u određivanju postojanja ruptura medijalnog meniskusa sa upotrebom standardnog 2D protokola i 3DTrueFISP sekvence. Prikazane su prosečne vrednosti dijagnostikovanih ruptura medijalnog meniskusa.

Kappa vrednost (95% interval poverenja)

Ruptura medijalnog meniskusa	Standardni protokol	3DTrueFISP sekvence	<i>p</i> -vrednost
<i>R1 i R2</i>	0,797	0,785	< 0,0001

4.2.4 Podudarnost radiološke interpretacije MR pregleda u detekciji ruptura lateralnog meniskusa

Rupture lateralnog meniskusa, bez izjašnjavanja o orijentaciji rupture, radiolozi su nezavisno evaluirali, standardnim MR 2D protokolom pregleda i 3DTrueFISP sekvence. Upotrebom standardnog protokola pregleda prosečna senzitivnost za oba radiologa je bila 81,3%, specifičnost 95,1%, dok je upotrebom 3DTrueFISP sekvence, prosečna senzitivnost bila 81,8%, specifičnost 95,9%. Rezultati su prikazani u Tabeli 10.

Tabela 10. Senzitivnost i specifičnost rutinskog protokola MR pregleda i 3DTrueFISP sekvence u detekciji ruptura lateralnog meniskusa.

Lateralni meniskus	Senzitivnost (IP 95%)		Specifičnost (IP 95%)	
	Standardni protokol	3DTrueFISP	Standardni protokol	3DTrueFISP
LM(15 ruptura)	81,3 (80,3-82,3)	81,8(80,3-83,4)	95,1 (91,8-98,4)	95,9 (93,4-98,4)

IP= interval poverenja; LM- lateralni meniskus

Podudarnost dobijenih nalaza upoređivanjem rezultata oba radiologa, R1 i R2, u detekciji ruptura lateralnog meniskusa je prikazana u Tabeli 11. Opseg podudarnosti interpretacije nalaza se kretao od 0,585 do 0,732 (*Kappa* vrednost) za standardni 2D protokol pregleda, i 0,723 za detekciju ruptura 3DTrueFISP sekvencom, ($P=0,000$), što ukazuje na postojanje umerene do značajne podudarnosti u interpretaciji nalaza.

Tabela 11. *Kappa* vrednost sa intervalom poverenja 95% opisuje podudarnost radiološkog nalaza dva radiologa u određivanju postojanja ruptura lateralnog meniskusa sa upotrebom standardnog 2D protokola i 3DTrueFISP sekvence. Prikazane su prosečne vrednosti dijagnostikovanih ruptura lateralnog meniskusa.

Kappa vrednost (95% interval poverenja)

Ruptura lateralnog meniskusa	Standardni protokol	3DTrueFISP sekvence	<i>p</i> -vrednost
<i>R1 i R2</i>	0,658	0,732	< 0,0001

4.2.5 Podudarnost radiološke interpretacije MR pregleda u detekciji oštećenja subhondralne kosti

Kako se stanje subhondralne kosti artroskopski ne može evaluirati, detekcija oštećenja je vršena MR pregledom, uočavanjem abnormalnosti signala kostne srži primenom obe imidžing tehnike, standardni 2D protokol pregleda i 3DTrueFISP sekvence, koje su korišćene u studiji. (149)

Dobijeni rezultati procene stanja subhondralne kosti prikazani su u tabeli 12.

Tabela 12. *Kappa* vrednost sa intervalom poverenja 95% opisuje podudarnost radiološkog nalaza dva radiologa u detekciji patološki izmenjenog signala subhondralne kosti upotrebom standardnog 2D protokola i 3DTrueFISP sekvence.

Kappa vrednost (95% interval poverenja)

Subhondralna kost	R1	R2	<i>p</i> -vrednost
	0,765	1.000	< 0,0001

U detekciji abnormalnosti signala subhondralne kostne srži podudarnost, korišćenjem obe tehnike pregleda, radiolozi su dobili značajnu podudarnost korišćenjem metoda, R1, dok je u interpretaciji radiologa, R2, podudarnost sekvenci bila idealna. Detekovano je ukupno 13 (R1), odnosno 11 (R2), abnormalnosti intenziteta signala subhondralne kosti.

4.2.6 Podudarnost različitih metoda, standardnog i novog protokola pregleda - “intermethod agreement”

Podudarnost dve metode u otkrivanju različitih patoloških stanja (eng “*intermethod agreement*”), idealna (eng.”*perfect*”) u interpretaciji hondralnih oštećenja, ruptura LCA, ruptura medijalnog meniskusa, dok je nešto slabija, ali značajna podudarnost dobijena u interpretaciji ruptura lateralnog meniskusa i abnormalnosti subhondralnih oštećenja u slučaju R1, tabela 13.

Tabela 13. Podudarnost različitih metoda

	Oštećenje hrskavice	LCA	MM	LM	SHB
R1	0,831	0,916	0,833	0,787	0,765
R2	0,977	1,000	0,972	1,000	1,000

V DISKUSIJA

U dijagnostikovanju patoloških stanja u zglobu kolena, umesto redukcije vremena akvizicije pojedinačnih sekvenci standardnog MR pregleda moguće je redukovati ukupan broj načinjenih sekvenci ukoliko se koriste 3D izovoksel sekvence sa sekundarnim triplanarnim reformacijama. Sekundarne reformacije su dugo vremena bile rezervisane za dijagnostiku kompjuterizovanom tomografijom (CT), u magnetnorezonantnom imidžingu svoju upotrebu su prvo našle u dijagnostici kardiovaskularnog sistema (150) i u abdominalnoj dijagnostici (151).

Ono što je važno, vreme potrebno za kreiranje sekundarnih reformacija takođe treba uključiti u ukupan proračun trajanja pregleda i procenu potrebnog vremena za evaluaciju MR pregleda i pisanje nalaza. Sa novim radnim stanicama, kao što je (Siemens, syngo.via), koja je korišćena i u ovoj studiji, vreme potrebno za sekundarne reformacije se svodi na ispod 1 minut.

U ranije objavljenoj studiji, Gay i saradnici su pokazali da korišćenje 3D izovoksel TrueFISP pregleda sa MPR reformacijama je komparabilno sa standardnim tehnikama za interpretaciju abnormalnosti LCA i meniskusa, ali su naveli da je to dovelo do povećanja vremena trajanja obe procedure, vremena procesuiranja i vremena evaluacije pregleda. (96)

Međutim, danas vreme potrebno za naknadnu obradu slike nije problem, jer ne dovodi do povećanja vremena potrebnog za interpretaciju nalaza. Danas obrada slike ne predstavlja značajan faktor u proceni vremena potrebnog za kompletnu evaluaciju dobijenog MR pregleda. U studiji objavljenoj od strane Duc i saradnika 2008. godine, dobijeni su podaci da je 3D izovoksel sekvenca komparabilna sa standardnim protokolom pregleda u detekciji hondralnih oštećenja što se podudara sa podacima dobijenim našom studijom. (110)

Rezultati dobijeni korišćenjem 3D izovoksel TrueFISP sekvence u našoj studiji, u slučaju oba radiologa su bez signifikantnih odstupanja.

U detekciji i interpretaciji hondralnih oštećenja zgloba kolena, 2D standardni protokol pregleda je imao prosečnu senzitivnost 69,55%, dok je prosečna specifičnost bila 92,78%. Prosečna senzitivnost i specifičnost za 3DTrueFISP sekvencu, u detekciji i karakterizaciji hondralnih oštećenja, bile su 75,06%, odnosno 94,16%, respektivno. Rezultati dobijeni od oba radiologa su pokazali postojanje značajne podudarnosti rezultata *Kappa* analizom.

U studiji objavljenoj 2008.godine, Duc et al, u kojoj je takođe analizirana komparabilnost 3D izovoksel sekvence i standardnog 2D MR pregleda, dobijeni rezultati su za 2D standardni pregled bili 39% senzitivnost, odnosno 83% specifičnost, dok su za 3D izovoksel sekvencu dobijene vrednosti za senitivnost 45%, i 83% za specifičnost. U našoj studiji u poređenju sa navedenom, broj lažno pozitivnih i lažno negativnih nalaza se razlikuje, te je specifičnost i 2D i 3D pregleda signifikantno veća. Ovo se može objasniti vremenom kada je rađena navedena studija, 2008.god, i aktuelno većim tehničkim mogućnostima u snimanju magnetnom rezonancom. (110)

Slični zaključci i rezultati su objavljeni i u drugom studijama. (55, 110)

Ai i saradnici su 2012. objavili rezultate studije u kojoj je 3D sekvencom dobijena veća senzitivnost (70,9% u odnosu na 50,6%), i specifičnost (72,6% prema 58,9%) u odnosu na standardni 2D MR pregled u detekciji i evaluaciji hondralnih oštećenja. (152)

Dobijeni rezultati su pokazali istu ili bolju senzitivnost i specifičnost u detekciji hondralnih oštećenja 3DTrueFISP sekvencom u komparaciji sa 2D standardnim protokolom, s tim da treba naglasiti da standardni protokol pregleda prosečno zahteva 17 min i 20 sekundi snimanja, a 3D sekvenca do 3 minuta, doprinos ovog rezultata nedvosmislen.

U detekciji ruptura LCA, prosečna senzitivnost standardnog MR pregleda je bila 94,3%, dok je senzitivnost 3DTrueFISP sekvence 97,75%. Specifičnost 3DTrueFISP sekvence je 97,50%, a 2D standardnog protokola pregleda 100%. Standardnim protokolom pregleda broj lažno pozitivnih nalaza je sveden na nulu. Podudarnost nalaza dva radiologa je bila značajna (*Kappa* vrednost se kretala od 0,688-0,690). Dobijeni rezultati koreliraju sa brojnim do sada objavljenim studijama, Jung i saradnici su u studiji objavljenoj 2013.godine (1) komparacijom 2D sekvenci sa 3D sekvencama,

pokazali rezultate senzitivnosti pregleda 94,4% i 98,2% respektivno, bez značajnih odstupanja između 2D i 3D pregleda. (149)

Nedavno objavljena studija na aparatu 1.5T također je pokazala slične mogućnosti u detekciji ruptura LCA, 3D sekvenca i rutinski 2D pregled su imali senzitivnost 93% i 93% respektivno, i specifičnost 80%, i 85% respektivno. (153)

Autori studije objavljene u januaru 2016.godine u zaključku su izneli podatak da 3D imidžing može da zameni 2D rutinske sekvence zbog jednakih dijagnostičkih mogućnosti i kraćeg vremena potrebnog za izvođenje pregleda. (154)

U dijagnostici ruptura medijalnog i lateralnog meniskusa postojala je značajna podudarnost u interpretaciji nalaza ruptura između dva radiologa. Senzitivnost i specifičnost detekcije ruptura oba meniskusa, upotrebom 2D i 3D sekvence je bila skoro identična. Nešto niža senzitivnost je postojala u slučaju oba radiologa i oba protokola pregleda u detekciji ruptura medijalnog meniskusa (44,7-53,1%), dok je specifičnost bila visoka (79,4-85,3%). U interpretaciji ruptura lateralnog meniskusa i pri dijagnostici 2D protokolom i 3D sekvencom senzitivnost i specifičnost su bile visoke u slučaju oba radiologa uz umerenu do značajnu podudarnost u interpretaciji nalaza (*Kappa* vrednost 0,658-0,732). Do sada objavljene studije pokazuju visoku senzitivnost i specifičnost u detekciji ruptura meniskusa, dok je u studiji

Duc sa saradnicima 2008.godine objavljeno da su dijagnostičke mogućnosti 3D sekvence bile veće u odnosu na standardni 2D protokol, uz postojanje umerene podudarnosti u interpretaciji više radiologa. (110)

Dufka i koautori su 2016. godine objavili nešto drugačije rezultate, sa podacima o senzitivnosti i specifičnosti u detekciji ruptura medijalnog meniskusa 90%, i 75% respektivno, i 61% senzitivnost i 81% specifičnost u detekciji ruptura lateralnog meniskusa.

Kroz mnoge studije, podaci dobijeni pri interpretaciji nalaza ruptura meniskusa variraju, i uglavnom se kreću od 80-100%. (116, 121-124, 155)

Oba radiologa su identifikovala abnormalnosti subhondralne kostne srži kod 13 (R1) odnosno 11 (R2) pacijenata. Korišćenjem obe tehnike pregleda radiolozi su pokazali značajnu do idealnu podudarnost (*Kappa* vrednost 0,765-1.000), što je slično kao u

studiji Junga i saradnika iz 2013.godine, gde je podudarnost, Kappa vrednost, bila 0,760-0,910. (149)

VI ZAKLJUČAK

Zanimljiv podatak dobijen našim istraživanjem je da se subhondralne abnormalnosti, promene subhondralne kostne srži, vide dobro standardnim protokolom pregleda, ali se isto tako precizno detektuju i 3D izovoksel sekvencom, koja je gradient-echo sekvenca. Abnormalnosti subhondralne kostne srži su značajne u proceni hroniciteta procesa na hrskavici i nije ih moguće detektovati artroskopskim pregledom.

Evidentna je blaga prednost u detekciji hondralnih oštećenja 3D izovoksel sekvencom, naročito u preciznosti gradiranja oštećenja. S obziromna to da je prosečno vreme potrebno za izvođenje 3D izovoksel TrueFISP sekvence 3 minuta, doprinos sekvence je nedvosmislen. Očekivan je dobar rezultat u interpretaciji hondralnih oštećenja, s obziromna to da 3D izovoksel TrueFISP sekvence daje odličan kontrast između intraartikularne tečnosti i površine hrskavice.

Navedena sekvenca je komparabilna standardnom protokolu u evaluaciji ruptura meniskusa, sa većom preciznošću se detektuju manja oštećenja koja kasnije mogu progredirati.

Postojanjem mogućnosti sekundarnih reformacija, i mogućnosti da se ravan orijentacije podese prema ravni orijentacije samog meniskusa, medijalnog i lateralnog pojedinačno, dodatno doprinosi u preciznosti evaluacije meniskusa, lokalizaciji mesta rupture, identifikaciji dislociranih fragmenata, i naročito u detekciji diskretnih lezija pripoja posteriornog roga lateralnog i medijalnog meniskusa gde se standardnim sekvencama meniskoligamentarni pripoj, zbog debljine preseka od 3mm, otežano vizuelizuje.

3D izovoksel True-FISP sa prosečnim trajanjem od 3 minuta, omogućava da se standardni protokol pregleda redukuje, u smislu broja sekvenci, i da ceo pregled traje kraće što doprinosi komforu pacijenta koji se pregleda, a takodje omogućava dostupnost MR skenera većem broju pacijenata.

Zbog kratkog vremenskog trajanja same 3D izovoksel TrueFISP sekvence, skraćena pregleda, redukuje se mogućnost postojanja artefakta usled motornog nemira pacijenta (pomeranja), što omogućava precizniju interpretaciju patološkog procesa u zglobu.

3D izovoksel TrueFISP u kombinaciji sa sekvencama standardnog, modifikovanog, MR pregleda omogućava optimizaciju postojećeg protokola pregleda i doprinosi većoj senzitivnosti i specifičnosti MR pregleda zgloba kolena.

S obziromna to da je 3D izovoksel TrueFISP gradient-echo sekvenca, njena upotreba u postoperativnim stanjima u slučajevima postojanja sintetskog metalnog materijala, kao na primer kod stanja nakon ligamentoplastike LCA, je limitirana, i sekvenca je praktično neupotrebljiva zbog grubih artefakta distorzije slike.

VII LITERATURA

1. Resnick D, Kang HS. Internal derangements of joints. Philadelphia: W.B. Saunders; 2007.
2. Dejour H, Walch G, Nove-Josserand L, Guier C. Factors of patellar instability: an anatomic radiographic study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 1994;2(1):19-26.
3. Sasaki T, Yagi T. Subluxation of the patella. Investigation by computerized tomography. *Int Orthop.* 1986;10(2):115-20.
4. Macnab I. Recurrent dislocation of the patella. *J Bone Joint Surg Am.* 1952;34A(4):957-67.
5. Aglietti P, Insall JN, Cerulli G. Patellar pain and incongruence. I: Measurements of incongruence. *Clin Orthop Relat Res.* 1983(176):217-24.
6. Insall J, Bullough PG, Burstein AH. Proximal "tube" realignment of the patella for chondromalacia patellae. *Clin Orthop Relat Res.* 1979(144):63-9.
7. Christoforakis JJ, Strachan RK. Internal derangements of the knee associated with patellofemoral joint degeneration. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2005;13(7):581-4.

8. Wangwinyuvirat M, Dirim B, Pastore D, Pretterklieber M, Frank A, Haghghi P, et al. Prepatellar quadriceps continuation: MRI of cadavers with gross anatomic and histologic correlation. *AJR Am J Roentgenol.* 2009;192(3):W111-6.
9. Buckwalter JA ET, Simon SR. *Orthopaedic Basic Science: Biology and Biomechanics of the Musculoskeletal System 2ed:* American Academy of Orthopaedic Surgeons; 2000.
10. Jacobson JA, Lenchik L, Ruhoy MK, Schweitzer ME, Resnick D. MR imaging of the infrapatellar fat pad of Hoffa. *Radiographics.* 1997;17(3):675-91.
11. Koskinen SK, Taimela S, Nelimarkka O, Komu M, Kujala UM. Magnetic resonance imaging of patellofemoral relationships. *Skeletal Radiol.* 1993;22(6):403-10.
12. Kujala UM KM, Österman K, et al. . Magnetic resonance imaging analysis of patellofemoral incongruity in females. *Clin J Sport Med.* 1992;2:21.
13. Shrive NG, O'Connor JJ, Goodfellow JW. Load-bearing in the knee joint. *Clin Orthop Relat Res.* 1978(131):279-87.
14. Mrvaljević D. *Anatomija čoveka - donji ekstremitet.* Beograd: Savremena administracija; 2004.

15. Resnick D, Newell JD, Guerra J, Jr., Danzig LA, Niwayama G, Goergen TG. Proximal tibiofibular joint: anatomic-pathologic-radiographic correlation. *AJR Am J Roentgenol.* 1978;131(1):133-8.
16. Williams PL BL, Berry MM, et al. *Gray's anatomy.* 38 ed. New York: Churchill Livingstone; 1995.
17. Mijač M BM, Đorđević Lj, Teofilofski G. *Anatomija čoveka - osteologija.* Beograd: Savremena administracija; 2004.
18. Romanes GJ e. *Cunningham's textbook of anatomy.* 11 ed. London: Oxford university press; 1972.
19. Benjamin M, Evans EJ, Rao RD, Findlay JA, Pemberton DJ. Quantitative differences in the histology of the attachment zones of the meniscal horns in the knee joint of man. *J Anat.* 1991;177:127-34.
20. Vedi V, Williams A, Tennant SJ, Spouse E, Hunt DM, Gedroyc WM. Meniscal movement. An in-vivo study using dynamic MRI. *J Bone Joint Surg Br.* 1999;81(1):37-41.
21. Gupte CM, Bull AM, Thomas RD, Amis AA. A review of the function and biomechanics of the meniscofemoral ligaments. *Arthroscopy.* 2003;19(2):161-71.

22. Aydingoz U, Demirhan M, Gumus T, Ercakmak B, Beser CG, Kosemehmetoglu K, et al. Association of Medial Meniscus Extrusion With the Prominence of a Fascicular Capsulofemoral Band Subjacent to the Deep Medial Collateral Ligament. *AJR Am J Roentgenol.* 2016;206(4):810-6.
23. Mow VC AS, Jackson DW. *Knee Meniscus: Basic and Clinical Foundations.* New York: Raven press; 1992.
24. Heller L, Langman J. The Menisco-Femoral Ligaments of the Human Knee. *J Bone Joint Surg Br.* 1964;46:307-13.
25. Kaplan EB. The embryology of the menisci of the knee joint. *Bull Hosp Joint Dis.* 1955;16(2):111-24.
26. Gupte CM, Smith A, McDermott ID, Bull AM, Thomas RD, Amis AA. Meniscofemoral ligaments revisited. Anatomical study, age correlation and clinical implications. *J Bone Joint Surg Br.* 2002;84(6):846-51.
27. Arnoczky SP, Warren RF. Microvasculature of the human meniscus. *Am J Sports Med.* 1982;10(2):90-5.
28. Nimni M. *Collagen: Chemistry, Biology and Biotechnology.* FL:CRC: Boca Raton; 1988.

29. A.J. H. Osteoarthritis of the knee and its early arrest. *Am Acad Orthop.* 1971;20(Instr Course Lect):219-30.
30. Hopker WW, Angres G, Klingel K, Komitowski D, Schuchardt E. Changes of the elastin compartment in the human meniscus. *Virchows Arch A Pathol Anat Histopathol.* 1986;408(6):575-92.
31. Kulkarni VV, Chand K. Pathological anatomy of the aging meniscus. *Acta Orthop Scand.* 1975;46(1):135-40.
32. Englund M, Guermazi A, Lohmander SL. The role of the meniscus in knee osteoarthritis: a cause or consequence? *Radiol Clin North Am.* 2009;47(4):703-12.
33. Boden SD, Davis DO, Dina TS, Stoller DW, Brown SD, Vailas JC, et al. A prospective and blinded investigation of magnetic resonance imaging of the knee. Abnormal findings in asymptomatic subjects. *Clin Orthop Relat Res.* 1992(282):177-85.
34. Nguyen JC, De Smet AA, Graf BK, Rosas HG. MR imaging-based diagnosis and classification of meniscal tears. *Radiographics.* 2014;34(4):981-99.
35. Fischer SP, Fox JM, Del Pizzo W, Friedman MJ, Snyder SJ, Ferkel RD. Accuracy of diagnoses from magnetic resonance imaging of the knee. A multi-center analysis of one thousand and fourteen patients. *J Bone Joint Surg Am.* 1991;73(1):2-10.

36. Gray SD, Kaplan PA, Dussault RG. Imaging of the knee. Current status. *Orthop Clin North Am.* 1997;28(4):643-58.
37. Mackenzie R, Dixon AK, Keene GS, Hollingworth W, Lomas DJ, Villar RN. Magnetic resonance imaging of the knee: assessment of effectiveness. *Clin Radiol.* 1996;51(4):245-50.
38. Miller GK. A prospective study comparing the accuracy of the clinical diagnosis of meniscus tear with magnetic resonance imaging and its effect on clinical outcome. *Arthroscopy.* 1996;12(4):406-13.
39. Renstrom P, Johnson RJ. Anatomy and biomechanics of the menisci. *Clin Sports Med.* 1990;9(3):523-38.
40. Hodler J, Berthiaume MJ, Schweitzer ME, Resnick D. Knee joint hyaline cartilage defects: a comparative study of MR and anatomic sections. *J Comput Assist Tomogr.* 1992;16(4):597-603.
41. Recht MP, Kramer J, Marcelis S, Pathria MN, Trudell D, Haghghi P, et al. Abnormalities of articular cartilage in the knee: analysis of available MR techniques. *Radiology.* 1993;187(2):473-8.
42. Resnick D. *Diagnosis of bone and joint disorders.* 3rd ed. Philadelphia: Saunders; 1995.

43. Recht MP, Goodwin DW, Winalski CS, White LM. MRI of articular cartilage: revisiting current status and future directions. *AJR Am J Roentgenol.* 2005;185(4):899-914.
44. Crema MD, Roemer FW, Marra MD, Burstein D, Gold GE, Eckstein F, et al. Articular cartilage in the knee: current MR imaging techniques and applications in clinical practice and research. *Radiographics.* 2011;31(1):37-61.
45. Kelley WN. *Textbook of rheumatology.* 2nd ed. Philadelphia, PA: Saunders; 1985. xlv, 1972, xxxv p. p.
46. Recht MP, Resnick D. MR imaging of articular cartilage: current status and future directions. *AJR Am J Roentgenol.* 1994;163(2):283-90.
47. Frank LR, Wong EC, Luh WM, Ahn JM, Resnick D. Articular cartilage in the knee: mapping of the physiologic parameters at MR imaging with a local gradient coil--preliminary results. *Radiology.* 1999;210(1):241-6.
48. Goodwin DW, Zhu H, Dunn JF. In vitro MR imaging of hyaline cartilage: correlation with scanning electron microscopy. *AJR Am J Roentgenol.* 2000;174(2):405-9.

49. Kaab MJ, Gwynn IA, Notzli HP. Collagen fibre arrangement in the tibial plateau articular cartilage of man and other mammalian species. *J Anat.* 1998;193 (Pt 1):23-34.
50. Jeffery AK, Blunn GW, Archer CW, Bentley G. Three-dimensional collagen architecture in bovine articular cartilage. *J Bone Joint Surg Br.* 1991;73(5):795-801.
51. Clark JM. Variation of collagen fiber alignment in a joint surface: a scanning electron microscope study of the tibial plateau in dog, rabbit, and man. *J Orthop Res.* 1991;9(2):246-57.
52. Clark JM, Simonian PT. Scanning electron microscopy of "fibrillated" and "malacic" human articular cartilage: technical considerations. *Microsc Res Tech.* 1997;37(4):299-313.
53. Kijowski R, Davis KW, Woods MA, Lindstrom MJ, De Smet AA, Gold GE, et al. Knee joint: comprehensive assessment with 3D isotropic resolution fast spin-echo MR imaging--diagnostic performance compared with that of conventional MR imaging at 3.0 T. *Radiology.* 2009;252(2):486-95.
54. Ristow O, Steinbach L, Sabo G, Krug R, Huber M, Rauscher I, et al. Isotropic 3D fast spin-echo imaging versus standard 2D imaging at 3.0 T of the knee--image quality and diagnostic performance. *Eur Radiol.* 2009;19(5):1263-72.

55. Duc SR, Pfirrmann CW, Schmid MR, Zanetti M, Koch PP, Kalberer F, et al. Articular cartilage defects detected with 3D water-excitation true FISP: prospective comparison with sequences commonly used for knee imaging. *Radiology*. 2007;245(1):216-23.
56. Kijowski R, Tuite M, Passov L, Shimakawa A, Yu H, Reeder SB. Cartilage imaging at 3.0T with gradient refocused acquisition in the steady-state (GRASS) and IDEAL fat-water separation. *J Magn Reson Imaging*. 2008;28(1):167-74.
57. Murphy BJ. Evaluation of grades 3 and 4 chondromalacia of the knee using T2*-weighted 3D gradient-echo articular cartilage imaging. *Skeletal Radiol*. 2001;30(6):305-11.
58. Girgis FG, Marshall JL, Monajem A. The cruciate ligaments of the knee joint. Anatomical, functional and experimental analysis. *Clin Orthop Relat Res*. 1975(106):216-31.
59. Daniel D AW, O'Connor J. *Knee Ligaments. Structure, function, injury and repair*. New York: Raven Press; 1990.
60. Feagin JA, Applewhite LB. *The Crucial ligaments : diagnosis and treatment of ligamentous injuries about the knee*. 2nd ed. New York: Churchill Livingstone; 1994. xxix, 864 p., 2 leaves of plates p.

61. Kennedy JC, Hawkins RJ, Willis RB, Danylchuck KD. Tension studies of human knee ligaments. Yield point, ultimate failure, and disruption of the cruciate and tibial collateral ligaments. *J Bone Joint Surg Am.* 1976;58(3):350-5.
62. DeMaio M. Giants of orthopaedic surgery: Masaki Watanabe MD. *Clin Orthop Relat Res.* 2013;471(8):2443-8.
63. Arnoczky SP. Anatomy of the anterior cruciate ligament. *Clin Orthop Relat Res.* 1983(172):19-25.
64. Souryal TO, Moore HA, Evans JP. Bilaterality in anterior cruciate ligament injuries: associated intercondylar notch stenosis. *Am J Sports Med.* 1988;16(5):449-54.
65. Kennedy JC, Weinberg HW, Wilson AS. The anatomy and function of the anterior cruciate ligament. As determined by clinical and morphological studies. *J Bone Joint Surg Am.* 1974;56(2):223-35.
66. Schultz RA, Miller DC, Kerr CS, Micheli L. Mechanoreceptors in human cruciate ligaments. A histological study. *J Bone Joint Surg Am.* 1984;66(7):1072-6.
67. Kummer B YH. Funktionelle Anatomie der Kreuzbaender. *Arthroskopie.* 1988.
68. Petersen W, Tillmann B. [Anatomy and function of the anterior cruciate ligament]. *Orthopade.* 2002;31(8):710-8.

69. Anderson AF, Dome DC, Gautam S, Awh MH, Rennirt GW. Correlation of anthropometric measurements, strength, anterior cruciate ligament size, and intercondylar notch characteristics to sex differences in anterior cruciate ligament tear rates. *Am J Sports Med.* 2001;29(1):58-66.
70. Amis AA, Dawkins GP. Functional anatomy of the anterior cruciate ligament. Fibre bundle actions related to ligament replacements and injuries. *J Bone Joint Surg Br.* 1991;73(2):260-7.
71. Georgoulis AD, Papadonikolakis A, Papageorgiou CD, Mitsou A, Stergiou N. Three-dimensional tibiofemoral kinematics of the anterior cruciate ligament-deficient and reconstructed knee during walking. *Am J Sports Med.* 2003;31(1):75-9.
72. Georgoulis AD, Ristanis S, Papadonikolakis A, Tsepis E, Moebius U, Moraiti C, et al. Electromechanical delay of the knee extensor muscles is not altered after harvesting the patellar tendon as a graft for ACL reconstruction: implications for sports performance. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2005;13(6):437-43.
73. Woo SL, Kanamori A, Zeminski J, Yagi M, Papageorgiou C, Fu FH. The effectiveness of reconstruction of the anterior cruciate ligament with hamstrings and patellar tendon . A cadaveric study comparing anterior tibial and rotational loads. *J Bone Joint Surg Am.* 2002;84-A(6):907-14.

74. Yagi M, Wong EK, Kanamori A, Debski RE, Fu FH, Woo SL. Biomechanical analysis of an anatomic anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 2002;30(5):660-6.
75. Zaffagnini S, Martelli S, Acquaroli F. Computer investigation of ACL orientation during passive range of motion. *Comput Biol Med.* 2004;34(2):153-63.
76. Freedman KB, D'Amato MJ, Nedeff DD, Kaz A, Bach BR, Jr. Arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction: a metaanalysis comparing patellar tendon and hamstring tendon autografts. *Am J Sports Med.* 2003;31(1):2-11.
77. Fu FH, Bennett CH, Lattermann C, Ma CB. Current trends in anterior cruciate ligament reconstruction. Part 1: Biology and biomechanics of reconstruction. *Am J Sports Med.* 1999;27(6):821-30.
78. Harner CD, Giffin JR, Duntzman RC, Annunziata CC, Friedman MJ. Evaluation and treatment of recurrent instability after anterior cruciate ligament reconstruction. *Instr Course Lect.* 2001;50:463-74.
79. Lohmander LS, Ostenberg A, Englund M, Roos H. High prevalence of knee osteoarthritis, pain, and functional limitations in female soccer players twelve years after anterior cruciate ligament injury. *Arthritis Rheum.* 2004;50(10):3145-52.

80. Hughston JC, Bowden JA, Andrews JR, Norwood LA. Acute tears of the posterior cruciate ligament. Results of operative treatment. *J Bone Joint Surg Am.* 1980;62(3):438-50.
81. Stoller DW, Stoller DW. *Magnetic resonance imaging in orthopaedics and sports medicine.* 3rd ed. Philadelphia: Wolters Kluwer/Lippincott Williams & Wilkins; 2007.
82. Stoller DW, Genant HK. Magnetic resonance imaging of the knee and hip. *Arthritis Rheum.* 1990;33(3):441-9.
83. Harner CD, Xerogeanes JW, Livesay GA, Carlin GJ, Smith BA, Kusayama T, et al. The human posterior cruciate ligament complex: an interdisciplinary study. Ligament morphology and biomechanical evaluation. *Am J Sports Med.* 1995;23(6):736-45.
84. Harrison RB, Wood MB, Keats TE. The grooves of the distal articular surface of the femur-a normal variant. *AJR Am J Roentgenol.* 1976;126(4):751-4.
85. Danzig LA, Newell JD, Guerra J, Jr., Resnick D. Osseous landmarks of the normal knee. *Clin Orthop Relat Res.* 1981(156):201-6.
86. Potter HG. Imaging of the multiple-ligament-injured knee. *Clin Sports Med.* 2000;19(3):425-41.

87. Vohra S, Arnold G, Doshi S, Marcantonio D. Normal MR imaging anatomy of the knee. *Magn Reson Imaging Clin N Am*. 2011;19(3):637-53, ix-x.
88. Kean DM, Worthington BS, Preston BJ, Roebuck EJ, McKim-Thomas H, Hawkes RC, et al. Nuclear magnetic resonance imaging of the knee: examples of normal anatomy and pathology. *Br J Radiol*. 1983;56(666):355-64.
89. Moon KL, Jr., Genant HK, Helms CA, Chafetz NI, Crooks LE, Kaufman L. Musculoskeletal applications of nuclear magnetic resonance. *Radiology*. 1983;147(1):161-71.
90. Li KC, Henkelman RM, Poon PY, Rubenstein J. MR imaging of the normal knee. *J Comput Assist Tomogr*. 1984;8(6):1147-54.
91. Reicher MA, Bassett LW, Gold RH. High-resolution magnetic resonance imaging of the knee joint: pathologic correlations. *AJR Am J Roentgenol*. 1985;145(5):903-9.
92. Reicher MA, Rauschnig W, Gold RH, Bassett LW, Lufkin RB, Glen W, Jr. High-resolution magnetic resonance imaging of the knee joint: normal anatomy. *AJR Am J Roentgenol*. 1985;145(5):895-902.
93. Manaster BJ. Magnetic resonance imaging of the knee. *Semin Ultrasound CT MR*. 1990;11(4):307-26.

94. Reeder JD, Matz SO, Becker L, Andelman SM. MR imaging of the knee in the sagittal projection: comparison of three-dimensional gradient-echo and spin-echo sequences. *AJR Am J Roentgenol.* 1989;153(3):537-40.
95. Solomon SL, Totty WG, Lee JK. MR imaging of the knee: comparison of three-dimensional FISP and two-dimensional spin-echo pulse sequences. *Radiology.* 1989;173(3):739-42.
96. Gay SB, Chen NC, Burch JJ, Gleason TR, Sagman AM. Multiplanar reconstruction in magnetic resonance evaluation of the knee. Comparison with film magnetic resonance interpretation. *Invest Radiol.* 1993;28(2):142-5.
97. Hajek PC, Sartoris DJ, Neumann CH, Resnick D. Potential contrast agents for MR arthrography: in vitro evaluation and practical observations. *AJR Am J Roentgenol.* 1987;149(1):97-104.
98. Harms SE, Flamig DP, Fisher CF, Fulmer JM. New method for fast MR imaging of the knee. *Radiology.* 1989;173(3):743-50.
99. Hajek PC, Baker LL, Sartoris DJ, Neumann CH, Resnick D. MR arthrography: anatomic-pathologic investigation. *Radiology.* 1987;163(1):141-7.
100. Mandelbaum BR, Finerman GA, Reicher MA, Hartzman S, Bassett LW, Gold RH, et al. Magnetic resonance imaging as a tool for evaluation of traumatic knee

injuries. Anatomical and pathoanatomical correlations. *Am J Sports Med.* 1986;14(5):361-70.

101. LaPrade RF, Burnett QM, 2nd, Veenstra MA, Hodgman CG. The prevalence of abnormal magnetic resonance imaging findings in asymptomatic knees. With correlation of magnetic resonance imaging to arthroscopic findings in symptomatic knees. *Am J Sports Med.* 1994;22(6):739-45.

102. Burk DL, Jr., Mitchell DG, Rifkin MD, Vinitzki S. Recent advances in magnetic resonance imaging of the knee. *Radiol Clin North Am.* 1990;28(2):379-93.

103. Kursunoglu-Brahme S, Resnick D. Magnetic resonance imaging of the knee. *Orthop Clin North Am.* 1990;21(3):561-72.

104. Mink JH, Deutsch AL. Magnetic resonance imaging of the knee. *Clin Orthop Relat Res.* 1989(244):29-47.

105. Ruwe PA, Wright J, Randall RL, Lynch JK, Jokl P, McCarthy S. Can MR imaging effectively replace diagnostic arthroscopy? *Radiology.* 1992;183(2):335-9.

106. Spiers AS, Meagher T, Ostlere SJ, Wilson DJ, Dodd CA. Can MRI of the knee affect arthroscopic practice? A prospective study of 58 patients. *J Bone Joint Surg Br.* 1993;75(1):49-52.

107. Noble J. Unnecessary arthroscopy. *J Bone Joint Surg Br.* 1992;74(6):797-8.
108. Mink JH, Levy T, Crues JV, 3rd. Tears of the anterior cruciate ligament and menisci of the knee: MR imaging evaluation. *Radiology.* 1988;167(3):769-74.
109. Vellet AD, Marks P, Fowler P, Munro T. Accuracy of nonorthogonal magnetic resonance imaging in acute disruption of the anterior cruciate ligament. *Arthroscopy.* 1989;5(4):287-93.
110. Duc SR, Pfirrmann CW, Koch PP, Zanetti M, Hodler J. Internal knee derangement assessed with 3-minute three-dimensional isovoxel true FISP MR sequence: preliminary study. *Radiology.* 2008;246(2):526-35.
111. Jung JY, Yoon YC, Kwon JW, Ahn JH, Choe BK. Diagnosis of internal derangement of the knee at 3.0-T MR imaging: 3D isotropic intermediate-weighted versus 2D sequences. *Radiology.* 2009;253(3):780-7.
112. Wieslander SB, Rappeport ED, Lausten GS, Thomsen HS. Multiplanar reconstruction in MR imaging of the knee. Comparison with standard sagittal and coronal images. *Acta Radiol.* 1998;39(2):116-9.
113. Barber FA. Snow skiing combined anterior cruciate ligament/medial collateral ligament disruptions. *Arthroscopy.* 1994;10(1):85-9.

114. Duncan JB, Hunter R, Purnell M, Freeman J. Meniscal injuries associated with acute anterior cruciate ligament tears in alpine skiers. *Am J Sports Med.* 1995;23(2):170-2.
115. Fischbach F, Bruhn H, Unterhauser F, Ricke J, Wieners G, Felix R, et al. Magnetic resonance imaging of hyaline cartilage defects at 1.5T and 3.0T: comparison of medium T2-weighted fast spin echo, T1-weighted two-dimensional and three-dimensional gradient echo pulse sequences. *Acta Radiol.* 2005;46(1):67-73.
116. Glynn N, Morrison WB, Parker L, Schweitzer ME, Carrino JA. Trends in utilization: has extremity MR imaging replaced diagnostic arthroscopy? *Skeletal Radiol.* 2004;33(5):272-6.
117. Eckstein F, Charles HC, Buck RJ, Kraus VB, Remmers AE, Hudelmaier M, et al. Accuracy and precision of quantitative assessment of cartilage morphology by magnetic resonance imaging at 3.0T. *Arthritis Rheum.* 2005;52(10):3132-6.
118. Oberlander MA, Shalvoy RM, Hughston JC. The accuracy of the clinical knee examination documented by arthroscopy. A prospective study. *Am J Sports Med.* 1993;21(6):773-8.
119. Crues JV, 3rd, Mink J, Levy TL, Lotysch M, Stoller DW. Meniscal tears of the knee: accuracy of MR imaging. *Radiology.* 1987;164(2):445-8.

120. Glashow JL, Katz R, Schneider M, Scott WN. Double-blind assessment of the value of magnetic resonance imaging in the diagnosis of anterior cruciate and meniscal lesions. *J Bone Joint Surg Am.* 1989;71(1):113-9.
121. Quinn SF, Brown TR, Szumowski J. Menisci of the knee: radial MR imaging correlated with arthroscopy in 259 patients. *Radiology.* 1992;185(2):577-80.
122. De Smet AA, Norris MA, Yandow DR, Graf BK, Keene JS. Diagnosis of meniscal tears of the knee with MR imaging: effect of observer variation and sample size on sensitivity and specificity. *AJR Am J Roentgenol.* 1993;160(3):555-9.
123. De Smet AA, Norris MA, Yandow DR, Quintana FA, Graf BK, Keene JS. MR diagnosis of meniscal tears of the knee: importance of high signal in the meniscus that extends to the surface. *AJR Am J Roentgenol.* 1993;161(1):101-7.
124. De Smet AA, Tuite MJ, Norris MA, Swan JS. MR diagnosis of meniscal tears: analysis of causes of errors. *AJR Am J Roentgenol.* 1994;163(6):1419-23.
125. Dufka FL, Lansdown DA, Zhang AL, Allen CR, Ma CB, Feeley BT. Accuracy of MRI evaluation of meniscus tears in the setting of ACL injuries. *The Knee.* 2016;23(3):460-4.

126. Brossmann J, Frank LR, Pauly JM, Boutin RD, Pedowitz RA, Haghghi P, et al. Short echo time projection reconstruction MR imaging of cartilage: comparison with fat-suppressed spoiled GRASS and magnetization transfer contrast MR imaging. *Radiology*. 1997;203(2):501-7.
127. Bullough P, Goodfellow J. The significance of the fine structure of articular cartilage. *J Bone Joint Surg Br*. 1968;50(4):852-7.
128. Goodwin DW, Wadghiri YZ, Zhu H, Vinton CJ, Smith ED, Dunn JF. Macroscopic structure of articular cartilage of the tibial plateau: influence of a characteristic matrix architecture on MRI appearance. *AJR Am J Roentgenol*. 2004;182(2):311-8.
129. Fetto JF, Marshall JL. Injury to the anterior cruciate ligament producing the pivot-shift sign. *J Bone Joint Surg Am*. 1979;61(5):710-4.
130. Hughston JC, Andrews JR, Cross MJ, Moschi A. Classification of knee ligament instabilities. Part I. The medial compartment and cruciate ligaments. *J Bone Joint Surg Am*. 1976;58(2):159-72.
131. Insall JN, Scott WN. *Surgery of the knee*. 3rd ed. New York ; Edinburgh: Churchill Livingstone; 2001.

132. Canale ST, Beaty JH, Campbell WC. Campbell's operative orthopaedics. 12th ed. Philadelphia, PA: Mosby/Elsevier; 2012.
133. Brooks S, Morgan M. Accuracy of clinical diagnosis in knee arthroscopy. *Ann R Coll Surg Engl.* 2002;84(4):265-8.
134. Terry GC, Tagert BE, Young MJ. Reliability of the clinical assessment in predicting the cause of internal derangements of the knee. *Arthroscopy.* 1995;11(5):568-76.
135. Ireland J, Trickey EL, Stoker DJ. Arthroscopy and arthrography of the knee: a critical review. *J Bone Joint Surg Br.* 1980;62-B(1):3-6.
136. Selesnick FH, Noble HB, Bachman DC, Steinberg FL. Internal derangement of the knee: diagnosis by arthrography, arthroscopy, and arthrotomy. *Clin Orthop Relat Res.* 1985(198):26-30.
137. Gagliardi JA, Chung EM, Chandnani VP, Kesling KL, Christensen KP, Null RN, et al. Detection and staging of chondromalacia patellae: relative efficacies of conventional MR imaging, MR arthrography, and CT arthrography. *AJR Am J Roentgenol.* 1994;163(3):629-36.

138. Jungius KP, Schmid MR, Zanetti M, Hodler J, Koch P, Pfirrmann CW. Cartilaginous defects of the femorotibial joint: accuracy of coronal short inversion time inversion-recovery MR sequence. *Radiology*. 2006;240(2):482-8.
139. Sonin AH, Pensy RA, Mulligan ME, Hatem S. Grading articular cartilage of the knee using fast spin-echo proton density-weighted MR imaging without fat suppression. *AJR Am J Roentgenol*. 2002;179(5):1159-66.
140. Crawford R, Walley G, Bridgman S, Maffulli N. Magnetic resonance imaging versus arthroscopy in the diagnosis of knee pathology, concentrating on meniscal lesions and ACL tears: a systematic review. *Br Med Bull*. 2007;84:5-23.
141. Kim SJ, Shin SJ, Koo TY. Arch type pathologic suprapatellar plica. *Arthroscopy*. 2001;17(5):536-8.
142. Oakley SP, Portek I, Szomor Z, Appleyard RC, Ghosh P, Kirkham BW, et al. Arthroscopy -- a potential "gold standard" for the diagnosis of the chondropathy of early osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage*. 2005;13(5):368-78.
143. Umans H, Wimpfheimer O, Haramati N, Applbaum YH, Adler M, Bosco J. Diagnosis of partial tears of the anterior cruciate ligament of the knee: value of MR imaging. *AJR Am J Roentgenol*. 1995;165(4):893-7.

144. Yao L, Gentili A, Petrus L, Lee JK. Partial ACL rupture: an MR diagnosis? *Skeletal Radiol.* 1995;24(4):247-51.
145. Chang CY, Wu HT, Huang TF, Ma HL, Hung SC. Imaging evaluation of meniscal injury of the knee joint: a comparative MR imaging and arthroscopic study. *Clin Imaging.* 2004;28(5):372-6.
146. Coumas JM, Palmer WE. Knee arthrography. Evolution and current status. *Radiol Clin North Am.* 1998;36(4):703-28.
147. Friemert B, Oberlander Y, Schwarz W, Haberle HJ, Bahren W, Gerngross H, et al. Diagnosis of chondral lesions of the knee joint: can MRI replace arthroscopy? A prospective study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2004;12(1):58-64.
148. Khan Z, Faruqui Z, Ogyunbiyi O, Rosset G, Iqbal J. Ultrasound assessment of internal derangement of the knee. *Acta Orthop Belg.* 2006;72(1):72-6.
149. Jung JY, Yoon YC, Kim HR, Choe BK, Wang JH, Jung JY. Knee derangements: comparison of isotropic 3D fast spin-echo, isotropic 3D balanced fast field-echo, and conventional 2D fast spin-echo MR imaging. *Radiology.* 2013;268(3):802-13.
150. Baskaran V, Pereles FS, Nemcek AA, Jr., Carr JC, Miller FH, Ly J, et al. Gadolinium-enhanced 3D MR angiography of renal artery stenosis: a pilot comparison

of maximum intensity projection, multiplanar reformatting, and 3D volume-rendering postprocessing algorithms. *Acad Radiol.* 2002;9(1):50-9.

151. Yamakawa K, Naganawa S, Maruyama K, Kato T, Fukatsu H, Ishigaki T. Clinical evaluation of three-dimensional MR-cholangiopancreatography using three-dimensional Fourier transform fast asymmetric spin echo method (3DFT-FASE): usefulness of observation by multi-planar reconstruction. *Radiat Med.* 1999;17(1):15-9.

152. Ai T, Zhang W, Priddy NK, Li X. Diagnostic performance of CUBE MRI sequences of the knee compared with conventional MRI. *Clin Radiol.* 2012;67(12):e58-63.

153. Chagas-Neto FA, Nogueira-Barbosa MH, Lorenzato MM, Salim R, Kfuri-Junior M, Crema MD. Diagnostic performance of 3D TSE MRI versus 2D TSE MRI of the knee at 1.5 T, with prompt arthroscopic correlation, in the detection of meniscal and cruciate ligament tears. *Radiologia brasileira.* 2016;49(2):69-74.

154. Lim D, Han Lee Y, Kim S, Song HT, Suh JS. Clinical value of fat-suppressed 3D volume isotropic spin-echo (VISTA) sequence compared to 2D sequence in evaluating internal structures of the knee. *Acta Radiol.* 2016;57(1):66-73.

155. Naranje S, Mittal R, Nag H, Sharma R. Arthroscopic and magnetic resonance imaging evaluation of meniscus lesions in the chronic anterior cruciate ligament-deficient knee. *Arthroscopy.* 2008;24(9):1045-51.

VIII PRILOZI

Prilog 1.

Institut za onkologiju Vojvodine,
Sremska Kamenica, Srbija
Centar za dijagnostički imidžing

INFORMACIJA ZA PACIJENTA

„Magnetno-rezonantna vizuelizacija zgloba kolena na aparatu od 3 Tesla u komparaciji sa artroskopijom“

Poštovani Gospodine / Gospođo,

obaveštavamo Vas da se u Centru za dijagnostički imidžing sprovodi istraživanje u okviru postdiplomskih studija.

Molimo Vas da se uključite u istraživački postupak.

Vaše učešće se sastoji u pristanku da se podaci o Vašem zdravstvenom stanju dobijeni iz Vaše istorije bolesti i obavljenog pregleda upotrebe u istraživanju.

Pre nego što pristupite kliničkom ispitivanju, imate pravo da zatražite dodatne informacije.

Na odnos Vašeg lekara prema Vama neće uticati odluka da ne pristupite istraživanju, kao ni odluka da u određenom trenutku više ne želite da učestvujete.

Vaši lični podaci i svi podaci o Vašem zdravstvenom stanju su poverljivi i anonimni.

Ako se odlučite da pristupite istraživanju molim Vas da potpišete priloženi formular.

S poštovanjem,

Dr Vesna Njagulj

Prilog 2.

Institut za onkologiju Vojvodine,
Sremska Kamenica, Srbija
Centar za dijagnostički imidžing

PRISTANAK ZA UČEŠĆE U ISTRAŽIVANJU

„Magnetno-rezonantna vizuelizacija zgloba kolena na aparatu od 3 Tesla u komparaciji sa artroskopijom“

- Upoznat sam da je ulazak u klinčko istraživanje isključivo dobrovoljnog karaktera
- Poznato mi je da učešće mogu prekinuti u svakom trenutku
- Pročitao/la sam da svi moji lični podaci, kao i podaci koji se tiču mog zdravstvenog stanja ostati poverljivi i anonimni
- Za učešće u ovom istraživanju ne očekujem nikakvu materijalnu nadoknadu

Pročitao/la sam i potpuno razumeo/la sve navedene informacije.
Svojim potpisom potvrđujem da sam u potpunosti saglasan/na da učestvujem u predloženom kliničkom istraživanju.

Datum

Potpis ispitanika