

Tjaša Kitanovski¹, Žiga Snoj²

Radiološka anatomija kolena

Radiological Knee Anatomy

IZVLEČEK

KLJUČNE BESEDE: anatomija, radiologija, koleno, MR, RTG

Radiološka diagnostika je temelj diagnostičnega procesa obravnave bolnikov. Zdravniki se ob svojem delu vedno bolj zanašajo na izvide slikovnih preiskav, z vsakoletnim porastom teh za več kot 10 %. V učnih načrtih po svetu medicinske fakultete postopoma nameenjajo več učnega časa učenju radiologije in radiološke anatomije, potrebne za pravilno interpretacijo slikovnih preiskav, da bi prihodnje generacije zdravnikov bolje pripravile na delo v klinični praksi. V prispevku obravnavamo radiološko anatomijo kolena, vidno na RTG in MR, saj je bolečina v kolenu eden najpogostejših vzrokov obiska zdravnika. Poznavanje normalne radiološke anatomije olajša prepoznavo patoloških stanj ter pripomore k hitrejši obravnavi in pravilnemu zdravljenju bolnikov z bolečinami v kolenu.

ABSTRACT

KEY WORDS: anatomy, radiology, knee, MRI, X-ray

Radiologic imaging is becoming the cornerstone of diagnostic processes in modern-day patient care. Physicians are becoming increasingly reliant on the findings of imaging examinations, ordering approximately 10% more scans each year. Worldwide, medical school curricula are gradually allocating more time to learning radiology and radiological anatomy, necessary for the accurate interpretation of imaging examinations, to better prepare future generations of doctors for clinical practice. One of the most common patient complaints in medical practice is knee pain, which is why this article focuses on the radiological anatomy of the knee, visible in X-ray and MRI examinations. Understanding the normal radiological anatomy facilitates the identification of pathological conditions and contributes to the management and proper treatment of patients experiencing knee pain.

¹ Tjaša Kitanovski, dr. med., Klinični inštitut za radiologijo, Univerzitetni klinični center Ljubljana, Zaloška cesta 7, 1000 Ljubljana; tjasa.kitanovski@gmail.com

² Doc. dr. Žiga Snoj, dr. med., Klinični inštitut za radiologijo, Univerzitetni klinični center Ljubljana, Zaloška cesta 7, 1000 Ljubljana; Katedra za radiologijo, Medicinska fakulteta, Univerza v Ljubljani, Vrazov trg 2, 1000 Ljubljana

UVOD

Slikovna diagnostika je temelj diagnostičnega procesa obravnave bolnikov. Zdravniki se ob svojem delu vedno bolj zanašajo na izvide slikovnih preiskav, kar se posledično kaže v porastu števila naročenih preiskav; po podatkih v Veliki Britaniji zdravniki vsako leto v primerjavi s prejšnjim naročijo kar 10 % slikovnih preiskav več (1). Z digitalizacijo v zdravstvu so postale slikovne preiskave dostopne vsem lečečim zdravnikom bolnika. Zdravniki po urgentnih centrih vsakodnevno pregledujejo radiološke slike in na podlagi njihove interpretacije sprejemajo odločitve o obravnavi bolnikov. Kirurgi med predoperativno pripravo interpretirajo slike za pregled anatomije in bolezenskega stanja bolnika ali pa z njihovo pomočjo načrtujejo mesto vstavitve kirurških materialov. Spet drugi specialisti radiološke slike pregledujejo zaradi lažjega razumevanja razširjenosti bolnikove bolezni (2).

Kljub splošni uporabi radiologije v medicini študentje s tem področjem med študijem le redko prihajajo v stik. Raziskave kažejo, da evropske medicinske fakultete radiologiji v učnem načrtu namenjajo povprečno le 18 ur. To bodoče zdravnike slabo pripravi na delo v kliničnem okolju, zato medicinske fakultete po svetu radiologijo vse pogostejše vključujejo v svoje učne programe in si prizadevajo povečati pomembnost predmeta v svojih učnih načrtih; najpogostejše jo združujejo z učnim procesom pri predmetu anatomije. Zdravniki se v klinični praksi najpogostejše srečujejo z anatomijo prav preko slikovne diagnostike, zato je smiselno, da bi anatomijo poleg klasičnega spoznavanja z anatomskega preparati obogatili tudi z radiološkimi slikami (1–3).

V prispevku obravnavamo radiološko anatomijo kolena. Koleno je eno izmed najbolj obremenjenih sklepov v telesu, podvrženo pogostim poškodbam in degenerativnim procesom, bolečina v kolenu pa

je eden najpogostejših vzrokov za obisk zdravnika. Zaradi pestrosti diferencialnih diagnoz zdravniki pogosto posegajo po slikovnih preiskavah za boljše razumevanje in lažjo opredelitev bolnikovih težav. Poznavanje normalne radiološke anatomije kolenskega sklepa tako olajša prepoznavo patoloških stanj, pripomore k njihovi obravnavi in pravilnemu zdravljenju (4).

RADIOLOŠKE PREISKAVE KOLENA

RTG je pogosto prva slikovna preiskava pri bolniku z bolečino v kolenu, saj omogoča hiter in cenovno ugoden pregled sklepa. Preiskava prikaže poškodbe kostnine, osteohondralne lezije, kostne spremembe, ožene sklepane špranje, kostno uravnanost in radiopacne tujke. Deloma lahko z RTG ocenimo tudi prisotnost izliva v kolenskem sklepu in patološke spremembe v okolnih mehkih tkivih, je pa občutljivost preiskave pri tem omejena (5).

RTG kolena izvajamo v različnih projekcijah, najpogostejši izmed njih sta anteroposteriorna (AP) in lateralna projekcija. AP-projekcija je standardni pogled za oceno kolenskega sklepa in okolnih struktur. Uporablja se predvsem za oceno goleničnega platoja in tibiofemoralne poravnave. Lateralna projekcija omogoča stranski pogled na kolenski sklep in pogačico. Uporablja se predvsem za oceno izliva v kolenskem sklepu in oceno položaja pogačice ter patelarnega ligamenta. Ostale projekcije se uporabljajo redkeje (kot npr. aksialna projekcija za pregled patelofemoralnega sklepa) (5, 6).

UZ je široko dostopna, neinvazivna in cenovno ugodna preiskava, ki jo pri pregledu kolena uporabljamo predvsem za pregled povrhnjih struktur in oceno sklepnega izliva. Z dinamično UZ-metodo lahko ocenjujemo delovanje ligamentov med gibanjem, prepoznamo poškodbe mišic in tetiv ter burzitis. Omogoča tudi natančnejše usmerjanje intervencijskih tehnik, kot so punkcije ali vbrizgavanje zdravil v sklep.

Meniska in križni vezi si z UZ težje prikazemo, natančneje jih lahko ocenjujemo z MR (7).

MR kolena je visokoločljivostna slikovna preiskava kolena, pomembna predvsem za pregled mehko tkivnih struktur v sklepu. Ima visoko negativno napovedno vrednost, zato je zelo zanesljiva za izključevanje bolezenskih sprememb kolena (8). MR je najpogosteje izbrana za oceno ligamentov, meniskov, ekstenzornega aparata, sklepne hrustanca, sinovije in tetiv. Uporablja se tudi za oceno mehko tkivnih sprememb, ki na RTG-preiskavi niso vidne. Preko posrednih znakov poškodbe lahko posumimo tudi na zlome kosti, a ima pri natančni oceni kostnine MR določene omejitve (9, 10).

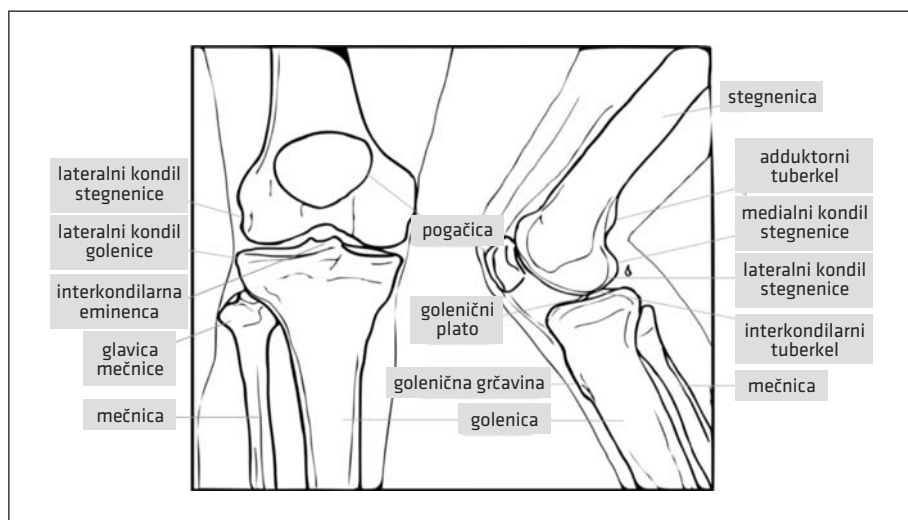
Za natančnejšo oceno zlomov ali neoplastičnih sprememb se uporablja CT (9). CT je prav tako visokoločljivostna preiskava, ki se uporablja predvsem za prikaz zlomov in sklepnih sprememb. V primeru kontraindikacij za MR-preiskavo se za pregled notranjih struktur kolena lahko uporabi CT-artrografija. V kliniki se CT kolena najpogosteje uporablja v ortopediji, za predoperativno oceno kosti in kostne gostote ter za

načrtovanje pravilne vstavitve osteosintetskih materialov (11).

RADIOLOŠKA ANATOMIJA KOLENA

Koleno je največji sinovijski sklep v telesu, ki povezuje tri kosti: stegnenico (lat. *femur*), golenico (lat. *tibia*) in pogačico (lat. *patella*). Sestavljen je iz tibiofemoralnega sklepa med kondiloma stegenice in golenice ter patelofemoralnega sklepa med posteriorno površino pogačice in anteriorno površino stegnjeničnih kondilov (4, 12). Po mehaniki je kombiniran tečajast in čepast sklep, ki primarno služi gibanju okoli sagitalne osi – fleksiji in ekstenziji – pri delno pokrčenem kolenu pa omogoča tudi rotacijo (13). Temeljna biomehanska lastnost kolena je, da deluje v območju ohlapanosti. Njegova stabilnost je pogojena z mehansko ostjo sklepa, kostnimi elementi ter znotrajsklepnimi in izvensklepnimi strukturami, ki ga ojačujejo (4).

Tibiofemoralni sklep je sklep med kondiloma stegenice in goleničnim platojem. Na RTG-preiskavi vidimo distalni del metafize stegenice, ki se v področju epifize razdeli v parna kostna izrastka s konveksnima



Slika 1. Shema anteroposteriorne in stranske slike kolenskega sklepa z označenimi strukturami, ki jih lahko vidimo na RTG kolena.

sklepnama površinama (medialni in lateralni kondil) (sliki 1 in 2). Medialni kondil je večji, ožji in v spodnjem delu bolj zaokrožen od lateralnega. Med njima se nahaja interkondilarna zareza, iz katere se proti golenici širita sprednja križna vez (lat. *ligamentum cruciatum anterius* oz. angl. *anterior cruciate ligament*, ACL) in zadnja križna vez (lat. *ligamentum cruciatum posterius* oz. angl. *posterior cruciate ligament*, PCL) (slika 3). Zgornji del interkondilarne zareze na lateralni RTG-preiskavi vidimo kot Blumensaatovo linijo. Neravni zunanji površini ob kondilih se imenujeta stegnenična epikondila, na katera se naraščata kolateralna ligamenta (slika 3) (5, 12).

Proksimalno epifizo golenice tvorita golenična kondila, ki imata rahlo konkavni superiorni površini, imenovani plato (na AP RTG-projekciji sta kondila pod kotom približno 10°). Razmejena sta s kostnim izrastkom, imenovanim interkondilarna eminenca (sliki 1 in 2). Medialna sklepna površina golenice je večja od lateralne in je bolj ovalne ter konkavne oblike, lateralna pa je manjša in bolj zaobljena. Lateralni golenični kondil ima tudi posteriorno sklepno površino, kjer artikulira z mečnico (5, 12). Sklepni površini stegenice in golenice sta neskladni, zato sta med njima vpeta meniska (12, 14).

Patelofemoralni sklep je sklep med anteriorno površino stegenice (trohlearnim žlebom) in posteriorno površino pogačice. Trohlearni žleb stegenice se posteriorno nadaljuje v interkondilarno kotanjo (15).

Pogačica je sezamoidna kost, vpeta v tetivo glave štiriglave stegenske mišice (lat. *m. quadriceps femoris*). Po obliki je širša na bazi (superiorno) in koničasta na apeksu (inferiorno) (sliki 1 in 2). Sklepna površina pogačice ima medialno in lateralno faseto, ki sta razmejeni z vertikalnim žlebom. Prekriva jo debela plast hialinega hrustanca, pri zdravih mladih odraslih debeline 4–6 mm (16, 17).

Distalno se tetiva štiriglave stegenske mišice nadaljuje v patelarni ligament, ki poteka od spodnjega roba pogačice do golenične grčavine (lat. *tuberositas tibiae*). Normalna dolžina pogačice je približno enaka dolžini patelarnega ligamenta, z odstopanjem do 20 % (16). Pogosto opažena anatomsko normalna različica je dvojna ali trojna pogačica (lat. *bipartita* ali *tripartita*), ki je ne smemo zamenjati za zlom. Prav tako ob sklepu pogosto najdemo pomožne kosti, kot je npr. fabela v lateralni glavi dvoglave mečne mišice (lat. *m. gastrocnemius*) (18, 19).

Kosti in hrustanec lahko ocenimo tudi na MR, kjer normalni kostni mozeg oddaja zvišan (svetlejši) signal na T1-obteženi



Slika 2. RTG kolena z označenimi kostnimi strukturami. Na levem delu slike je AP-projekcija desno pa stranska projekcija. AP – anteroposteriorna.

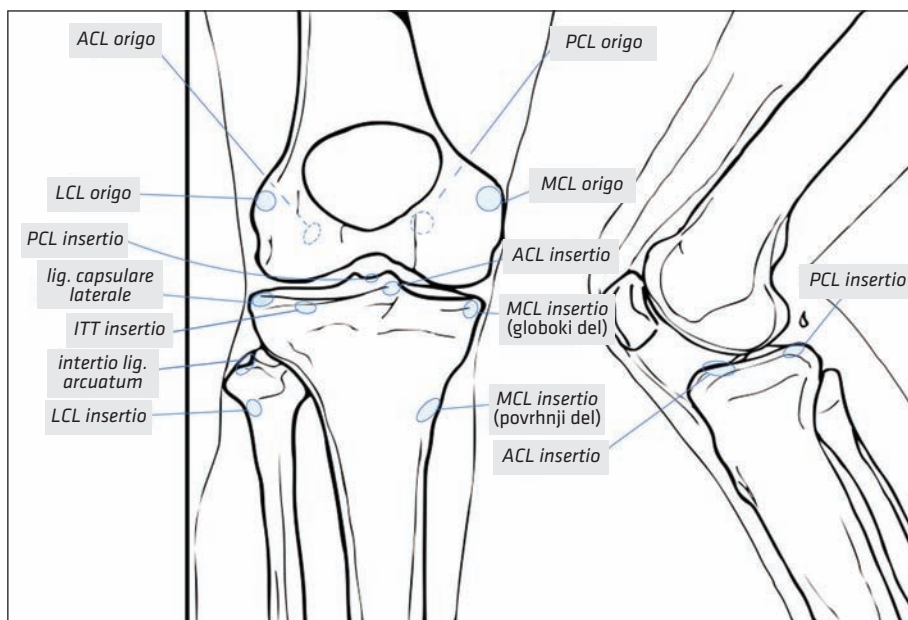
sliki v primerjavi z okolno mišičnino; na sliki protonske gostote z izničenjem signala maščevja (angl. *proton density fat saturation*, PD FS) pa je temen in oddaja znižan signal. Kost mora biti homogena, z nekaj linearnimi kontrastnimi signali, ki označujejo potek žilja. Edem kosti na T1-obteženi sliki je videti kot področje znižanega signala, medtem ko je zlom viden kot linija znižanega signala v poteku kosti (10).

Na PD FS ali na T2-obteženi sliki oddaja hrustanec pogačice homogeno zvišan signal. Debelina hrustanca je večja ob srednjem in spodnjem polu kosti in manjša ob zgornjem polu. Na opisanih sekvencah pre-

gledamo tudi okolico patelofemoralnega sklepa za znake zbiranja tekočine, kar se kaže kot zvišanje signala med sklepoma hrustancema obeh kosti (10).

Ligamenti in meniski

Ligamenti kolenskega sklepa se delijo na izvensklepne in znotrasklepne. Povezujejo stegnenico z golenico, ju držijo na mestu, povečujejo stabilnost in tako preprečujejo izpahe sklepa. Zunaj sklepne ovojnice lahko najdemo patelarni ligament, kolateralna ligamenta in arkuatni ter diagonalni poplitealni ligament. Z notranje strani sklep učvrščujeta križni vezi (tabela 1) (12, 17).



Slika 3. Shema narastišč (lat. *origo*) in prirastišč (lat. *insertio*) pomembnih ligamentov in mišic kolena, vidnih na RTG-preiskavi. Lateralno proti medialnem, superiorno proti inferiornem si sledijo: narastišče LCL na lateralnem stegneničnem kondilu, narastišče ACL na posterolateralnem delu interkondilarne zareze kondila stegenice, prirastišče lateralne kapsule na lateralni del golenice, prirastišče arkuatnega ligamenta na stiloidnem odrastku mečnice, prirastišče LCL in tetive mišice *biceps femoris* na glavico mečnice, prirastišče ITT na Gerdyjev tuberkel golenice, narastišče MCL na medialnem stegneničnem kondilu, narastišče PCL na anteriornem delu medialnega kondila, prirastišče globokega meniskofemoralnega dela MCL na medialni del golenice, prirastišče povrhnjih vlaken MCL anteromedialno na golenici (5 cm distalno od tibiofemoralnega sklepa), prirastišče ACL na medialni površini golenice. LCL – lateralni kolateralni ligament (lat. *ligamentum collaterale laterale*), ACL – sprednja križna vez (lat. *ligamentum cruciatum anterius* oz. angl. *anterior cruciate ligament*), ITT – iliotibialni trakt, MCL – medialna kolateralna vez (lat. *ligamentum collaterale mediale* oz. angl. *medial collateral ligament*), PCL – zadnja križna vez (lat. *ligamentum cruciatum posterius* oz. angl. *posterior cruciate ligament*).

Tabela 1. Anatomija in funkcija pomembnih kolenskih vezi in meniskov. ACL – sprednja križna vez (lat. *ligamentum cruciatum anterius* oz. angl. *anterior cruciate ligament*), PCL – zadnja križna vez (lat. *ligamentum cruciatum posterius* oz. angl. *anterior cruciate ligament*), MCL – medialna kolateralna vez (lat. *ligamentum collaterale mediale* oz. angl. *medial collateral ligament*), LCL – lateralna kolateralna vez (fibularna kolateralna vez; lat. *ligamentum collaterale laterale*), MPFL – medialni patelofibularni ligament (prirejeno po (14)).

Struktura	Anatomija	Funkcija
Križne vezi	ACL - Narastišče: anteriorna interkondilarna kotanja golenice. - Prirastišče: lateralni kondil stegenice.	- Preprečuje anteriorne premike golenice. - Omejuje hiperekstenzijo v kolenu.
	PCL - Narastišče: posteriorna interkondilarna kotanja golenice. - Prirastišče: medialni kondil stegenice.	- Preprečuje posterioorne premike golenice. - Omejuje hiperfleksijo v kolenu. - Je debelejši in se redkeje poškoduje kot ACL.
Kolateralne vezi	MCL - Narastišče: medialni epikondil stegenice. - Prirastišče: medialni kondil golenice.	- Preprečuje medialne premike stegenice in golenice (valgus). - Omejuje abdukcijo v kolenskem sklepu.
	LCL - Narastišče: lateralni epikondil stegenice. - Prirastišče: glavica mečnice.	- Preprečuje lateralne premike stegenice in golenice (varus). - Omejuje ekstenzijo in addukcijo v kolenskem sklepu.
Ostale pomembnejše strukture kolena	patelarni ligament - Nadaljevanje tetive štiriglave stegenske mišice. - Vrh pogačice pripenja na grčavino golenice.	- Biomehanska funkcija med hojo in tekom. - Drži pogačico na mestu.
	popliteofibularni ligament - Narastišče: tetiva mišice <i>popliteus</i>. - Prirastišče: glavica mečnice.	Stabilizira koleno posterolateralno.
	transverzalni ligament Povezuje sprednja kraka obeh meniskov.	- Zmanjšuje pritisk na meniska. - Preprečuje premike meniskov anteriorno.
	patelarna retinakla - Medialni retinakel je podaljšek mišice <i>vastus medialis</i>, ki povezuje medialni golenični kondil in medialni stegnenični epikondil kot medialni patelofibularni ligament. - Lateralni retinakel je podaljšek mišice <i>vastus lateralis</i>, povezuje lateralna kondila stegenice in golenice.	- Stabilizirata koleno. - Ojačujeta sklepno ovojnico od spredaj. - Medialni patelofibularni ligament preprečuje lateralne premike pogačice.
Meniska	medialni menisk - Vezivno-hrstančni obroček oblike črke C, ki leži na medialni kondilarni površini golenice. - Spredaj priraščen na sprednji rob golenice. - Zadaj priraščen na zadnji rob golenice. - Medialno je zraščen z MCL. - Z lateralnim meniskom je povezan s transversalnim ligamentom.	- Povečujeta sklepno površino in stabilizirata kolenski sklep. - Zmanjšujeta trenje med kostnimi površinami. - Periferno sta bolj prekrvljena kot v notranjosti (pomembno za celjenje poškodb).
	lateralni menisk - Krožni vezivno-hrstančni obroček na lateralni kondilarni površini golenice. - Spredaj se narašča tik pred, zadaj pa tik za interkondilarno eminenco. - Bolj mobilni od medialnega. - Od LCL je zamejen s tetivo mišice <i>popliteus</i>.	

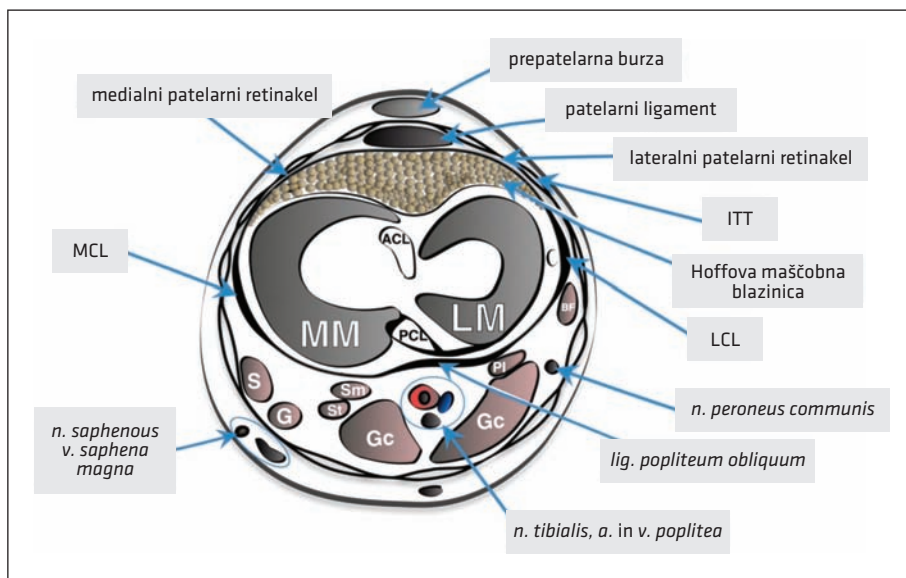
Meniska sta polmesečasta obročka iz vezivno-hrstančnega tkiva. Na vseh MR-sekvencah oddajata znižan signal. Vpeta sta med sklepni površini stegenice in golenice. Povečujeta in izravnava neskladni sklepni površini, omogočata enakomerno razporeditev prenosa sile iz stegenice na golenico ter ščitita sklepni hrstanec pred obrabo. Pri odraslih sta relativno slabo ožiljena, prekrvljene je le 10–30 % periferije meniska. Pri mlajših je prekrvljene do 50 % periferije, kar lahko na MR vidimo kot zvišanje signala na periferiji meniska (10).

Ločimo medialni in lateralni menisk, ki se anatomsko delita na anteriorni in posteriorni rog ter vmesno telo (sliki 4 in 6). Medialni menisk je večji od lateralnega in posteriorno širši, po obliki je podoben črki C. Prekriva okoli 60 % medialnega platoja golenice. Anteriorni rog je pritrjen na ante-

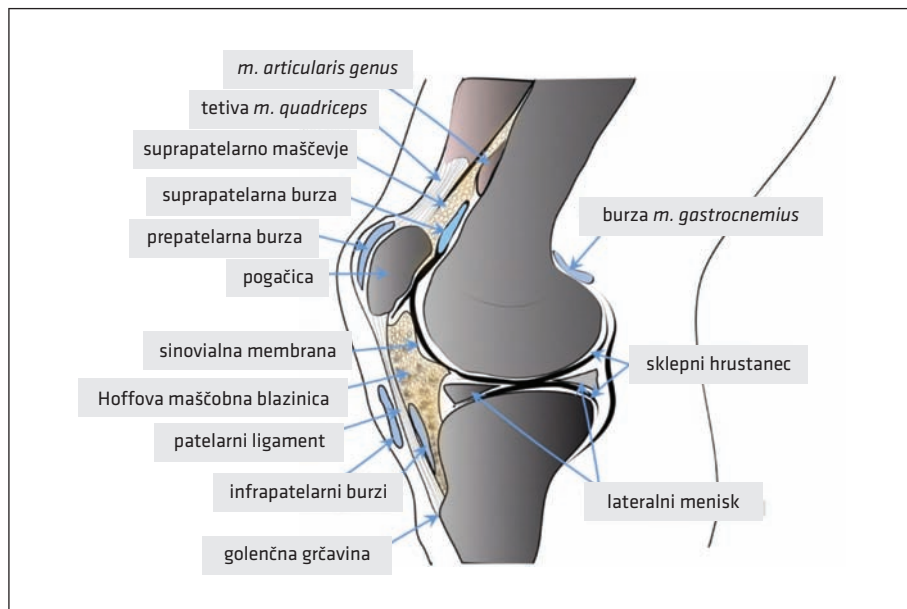
riorni predel golenice, blizu interkondiarne kotanje. Z lateralnim meniskom je povezan preko transverzalnega ligamenta. Posteriorni rog je pritrjen v posteriorni interkondilarni kotanji golenice, med lateralnim meniskom in PCL (10, 12).

Lateralni menisk prekriva okoli 80 % lateralne plošče golenice. Po obliki je skoraj krožen, enake širine po celotni dolžini. Anteriorni rog je pritrjen anteriorno od interkondilarne eminence, poleg poteka ACL, posteriorni rog pa je pritrjen posteriorno od lateralne eminence golenice. Meniska na pravilni položaj učvrščuje več ligamentov, med njimi so transverzalni ligament, meniskofemoralni ligament in meniskotibialni ligament (10, 12).

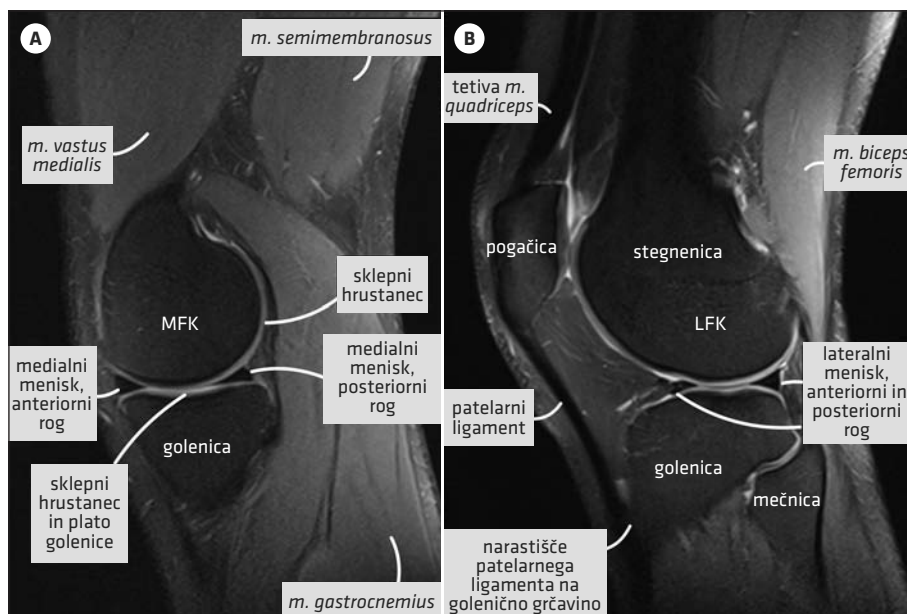
Na koronarnem prerezu MR (sliki 8 in 10) sta meniska trikotne oblike, z daljšima superiornima in inferiornima sklep-nima površinama od periferije meniska.



Slika 4. Aksialni prerez skozi kolenski sklep z označenimi vidnimi strukturami na MR. MM – medialni menisk, LM – lateralni menisk, ACL – sprednja križna vez (lat. *ligamentum cruciatum anterius* oz. angl. *anterior cruciate ligament*), PCL – zadnja križna vez (lat. *ligamentum cruciatum posterius* oz. angl. *posterior cruciate ligament*), BF – mišica *biceps femoris*, S – mišica *sartorius*, G – mišica *gracilis*, Sm – mišica *semimembranosus*, St – mišica *semitendinosus*, Gc – mišica *gastrocnemius*, PI – mišica *plantaris*, ITT – iliotibialni trakt, MCL – medialna kolateralna vez (lat. *ligamentum collaterale mediale* oz. angl. *medial collateral ligament*), LCL – lateralni kolateralni ligament (lat. *ligamentum collaterale laterale*).



Slika 5. Sagitalni prerez skozi koleno z označenimi strukturami, vidnimi na MR kolena.



Slika 6. MR-slika kolena v PD FS-sekvenci v sagitalni ravnini preko medialnega in lateralnega kompartementa. Vidna sta anteriorni in posteriorni rog medialnega (slika A) in lateralnega (slika B) meniska, vložena med sklepni površini stegnenice in golenice. PD FS – sekvenca protonske gostote z izničenjem signala maščevja (angl. proton density fat saturation), MFK – medialni stegnennični kondil, LFK – lateralni stegnennični kondil.

V dolžini povprečno merita 11–12 mm. Na MR sta v sagitalni ravnini meniska videti kot pentlja – dva trikotnika (anteriorni in posteriorni rog) z vmesno povezavo (telo) (sliki 5 in 6), aksialno pa sta kot črni polkrožni strukturi pod medialnim in lateralnim kondilom stegenice (slika 4) (10, 17).

Križni vezi sta par znotrajsklepnih ligamentov, ki povezujeta stegnenico z golenico. S svojo križno formacijo znotraj sklepa omogočata stabilnost kolena, predvsem med dinamičnim gibanjem. Preprečujeta prevelike premike stegeničnih kondilov, hiperekstenzijo in hiperfleksijo v kolenu, zaradi česar sta pogosto podvrženi poškodbam (12, 17).

ACL izvira iz medialnega dela lateralnega kondila stegenice v interkondilarni zarezi. Poteka anteriorno in se ob svojem

prirastišču na golenično eminenco razširi. Sestavljata jo dva snopa, anteriomedialni in posterolateralni snop, ki služita omejevanju anteriornih premikov golenice med gibanjem in zavirata prekomerne obsege njene rotacije (18). Na MR je ACL vidna kot kontinuiran traček znižanega signala z linearnimi linijami višjega signala blizu narastišča na golenico. Na sagitalnem prerezu poteka vodoravno z vrhom interkondilarne zareze (slika 7). Na aksialnem prerezu poteka ACL skozi interkondilarno zarezo od lateralnega kondila stegenice, kjer je videti kot temen trak debeline 1,5 cm (v AP), vse do medialnega kondila (slika 4) (10, 17).

PCL izvira iz lateralnega dela medialnega kondila stegenice v interkondilarni zarezi (sliki 8 in 10). Poteka diagonalno za ACL in se prirašča v posteriorni del



Slika 7. MR-slika kolena v PD FS-sekvenci v sagitalni ravnini skozi interkondilarno zarezo, prikazuje potek ACL od lateralnega kondila stegenice do pripenjalnišča na golenico. Vidna je njena fascikularna ureditev. PD FS – sekvencia protonske gostote z izničenjem signala maščevja (angl. *proton density fat saturation*), ACL – sprednja križna vez (lat. *ligamentum cruciatum anterius* oz. angl. *anterior cruciate ligament*).

interkondilarne kotanje golenice, poleg pri-rastišča medialnega meniska. V kolenu preprečuje prekomerne posteriorne pre-mike in zunanjo rotacijo golenice med gibanjem (17, 18). Na MR je vidna kot zaobljena homogena struktura znižane jako-sti. Razdeljena je v proksimalni (vodora-ven) segment in distalni (navpičen) segment ter vmesno koleno. Na aksialnem prerezu je dobro vidna na prerezu skozi sklepni hrustanec golenice, kjer poteka od posteriorne strani interkondilarnega predela kot črn, ovalen signal, vse do pri-rastišča na medialni kondil stegenice (10, 18).

PCL je na sagitalnem prerezu široka do 6 mm. Anteriorno ali posteriorno od PCL je na sagitalnem prerezu MR pogosto vidna zaobljena struktura znižanega signala, to je meniskofemoralni ligament. Poteka od

medialnega kondila stegenice do poste-riornega roga lateralnega meniska (slika 8). Če poteka pred PCL, se imenuje Humphryjev ligament, če poteka za PCL, pa Wrisbergov ligament. Prisoten je pri 72 % populacije. Prirastišče ligamenta lahko zamenjamo za poškodbo meniska (10, 17).

Medialne podporne strukture

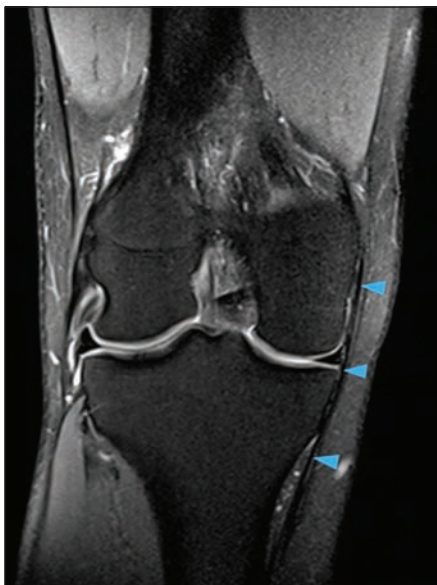
MCL je statični stabilizator kolena v poste-romedialni smeri. Nasprotuje valgus defor-maciji kolena in varuje pred prekomerno notranjo rotacijo golenice (4). Je del medial-nega kapsulo-ligamentnega kompleksa kole-na. Na MR-preiskavi oddaja v vseh sekven-cah znižan signal. Najbolje je viden v aksialni in koronarni ravnini (sliki 9 in 10) (17).

Sestavljen je iz globokih in povrhnjih vlaken. Povrhnji del MCL izhaja iz poste-riosuperiornega dela medialnega epikondila



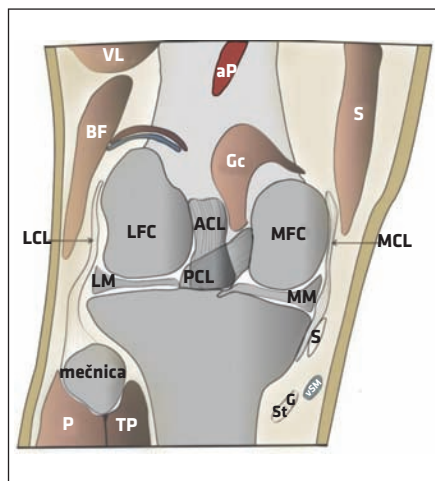
Slika 8. MR-slika kolena v PD FS-sekvenci v sagitalni ravnini skozi interkondilarno zarezo v nivoju PCL (slika A) in koronarni ravnini v prerezu skozi kondile stegenice (slika B). Slika A prikazuje PCL, v njenem poteku od medialnega kondila stegenice do pripenjališča na golenico. Slika B prikazuje PCL od spredaj v poteku skozi interkondilarno zarezo. PD FS – sekvenca protonske gostote z izničenjem signala maščevja (angl. proton density fat saturation), PCL – zadnja križna vez (lat. *ligamentum cruciatum posterius* oz. angl. *anterior cruciate ligament*), LFK – lateralni kondil stegenice, MFK – medialni kondil stegenice, LCL – lateralni kolateralni ligament (lat. *ligamentum collaterale laterale*).

stegenice, v poteku se prirašča na medialni menisk, distalno pa se narašča na tetivo mišice *semimembranosus* in na posteromedialni greben golenice (na periost, za narastiščem *pes anserinus*) (18). Globoki del MCL predstavlja zadebelitev medialnega dela sklepne kapsule. Je tanjši od povrhnjega, prirašča medialni menisk na medialni golenični plato. Oba dela ligamenta se imenujeta meniskofemoralni in meniskotibialni ligament. Na MR je povrhnji del MCL videti kot kontinuiran, enakomerno širok traček znižanega signala, globokega dela pa navadno ne vidimo (slika 9) (10, 17). Na aksialnem prerezu skozi interkondilarno zarezo najdemo narastišče MCL, ki je kot kratek traček znižanega signala blizu medialne strani stegnenečnega kondila, ki poteka navzdol do svojega prirastišča na golenico (slika 4) (17).



Slika 9. MR-slika kolena v PD FS-sekvenci protonske gostote z izničenjem signala maščevja v koronalni ravnini. Modre oznake označujejo MCL. PD FS – sekvenca protonske gostote z izničenjem signala maščevja (angl. *proton density fat saturation*), MCL – medialna kolateralna vez (lat. *ligamentum collaterale mediale* oz. angl. *medial collateral ligament*).

Izrednega pomena za dinamično stabilnost kolenskega sklepa na medialni strani je tudi mišično tetivni aparat, ki ga sestavljajo tetive mišic, ki tvorijo *pes anserinus* (mišice *sartorius*, *gracilis* ter *semitendinosus*), v posteromedialnem kotu tetiva mišice *semimembranosus*, poševni poplitealni ligament, posteriorni poplitealni ligament, posteriomedialna sklepna kapsula kolena in posteriorni rog medialnega meniska. Na MR-preiskavi je tetiva mišice *semimembranosus* lahko opazna, ostale strukture pa si težje prikažemo, saj so normalno zelo tanke, potekajo blizu kosti in periferije medialnega meniska (17, 18).



Slika 10. Shema koronarnega prereza kolena z označenimi strukturami, vidnimi na MR kolena. LFK – lateralni kondil stegenice, MFK – medialni kondil stegenice, ACL – sprednja križna vez (lat. *ligamentum cruciatum anterius* oz. angl. *anterior cruciate ligament*), PCL – zadnja križna vez (lat. *ligamentum cruciatum posterius* oz. angl. *anterior cruciate ligament*), LM – lateralni menisk, MM – medialni menisk, LCL – lateralni kolateralni ligament (lat. *ligamentum collaterale laterale*), MCL – medialna kolateralna vez (lat. *ligamentum collaterale mediale* oz. angl. *medial collateral ligament*), VL – mišica *vastus lateralis*, BF – mišica *biceps femoris*, S – mišica *sartorius*, Gc – mišica *gastrocnemius*, G – tetiva mišice *gracilis*, St – tetiva mišice *semitendinosus*, VSM – velika safenska vena (lat. *v. safena magna*), aP – poplitealna arterija, P – mišica *peroneus*, TP – mišica *tibialis posterior*.

Lateralne podporne strukture

Koleno iz lateralne strani podpirajo ligamentne strukture, razdeljene v tri sloje. Prvi sloj je sestavljen iz lateralne fascije, iliotibialnega trakta (ITT) in tetiv mišice *biceps femoris*. Drugi sloj sestavljata patelarni retinakulum in patelofemoralni ligament. Tretji sloj sestavljajo strukture posterolateralnega kota, ki vsebuje tetivo mišice *popliteus*, LCL, popliteofibularni ligament in posterolateralno sklepno kapsulo, ki jo ojačuje ta tudi arkuatni in, če je prisoten, fabelofibularni ligament (10, 17). Najpomembnejše izmed lateralnih podpornih struktur so ITT in strukture posterolateralnega kota (17). Na MR oddajajo znižan signal, so linearni in kontinuirani v poteku med svojimi narastišči (10).

ITT je distalno nadaljevanje globokega dela stegenske fascije v stegnu, ki se prirašča na Gerdyjev tuberkel (lateralni tuberkel golenice) anterolateralnega dela prok-



Slika 11. MR-slika kolena v PD FS-sekvenci v koronalni ravnini, prerez skozi anteriorni del femorotibialnega sklepa prikazuje iliotibialni trakt (ITT; bele puščice). PD FS – sekvenca protonske gostote z izničenjem signala maščevja (angl. *proton density fat saturation*).

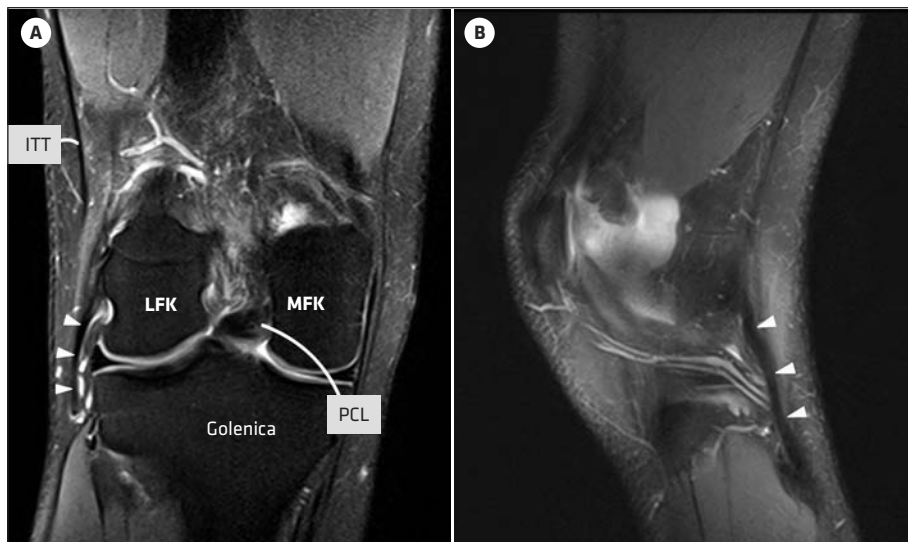
simalnega dela golenice. Stabilizira koleno v lateralni smeri in omejuje varus deformacijo. Na MR je ITT viden kot širok trak znižanega signala, ki poteka od anterolateralnega stegna do prirastišča na golenici (slika 11) (10).

LCL, poznan tudi kot fibularni kolateralni ligament, je del posterolateralnega kota. Koleno varuje pred varus deformacijo. Poteka od lateralnega epikondila stegenice do lateralne površine glavice mečnice, kjer ob prirastišču cepi mišico *biceps femoris* v dva dela. Na MR je LCL najbolj viden na koronalnem prerezu T2-utežene slike ali na PD FS-sekvenci, kjer je viden kot homogena vrstica znižanega signala ob lateralni strani sklepne kapsule, dolžine okoli 50 mm (slika 12) (10, 17). Na aksialnem prerezu skozi interkondilarno zarezo je vidno narastišče LCL kot ovalno znižan signal blizu posteriornega dela kondila stegenice (slika 13) (10). V nasprotju z MCL se ne prirašča na menisk ali sklepno kapsulo, zaradi česar je lateralni menisk bolj ohlapen in podvržen poškodbam (18).

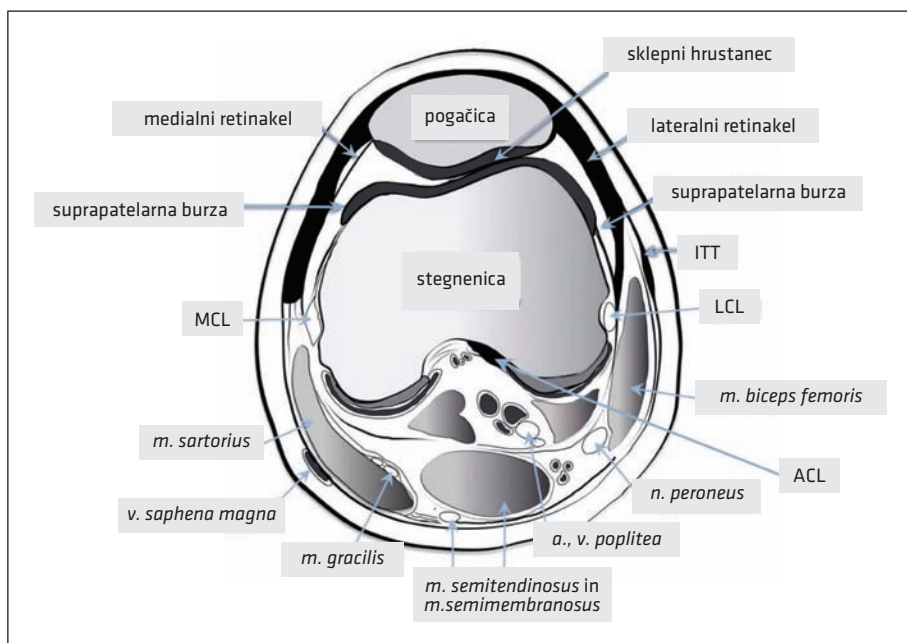
Anteriorne podporne strukture kolena

Ekstenzorni aparat ojačuje koleno z anteriorne strani. Omogoča dinamično ekstenzijo v kolenu in patelofemoralno stabilizacijo med gibanjem. Sestavljen je iz tetive štiriglave stegenske mišice, pogačice, patelarnega ligamenta in patelarnih retinaklov (10). Ob ekstenzornem aparatu se nahajajo tudi Hoffovo maščevje, infrapatelarne burze in parapatelarne plike, ki so pogosti vzroki za bolečino v opisanem področju (8).

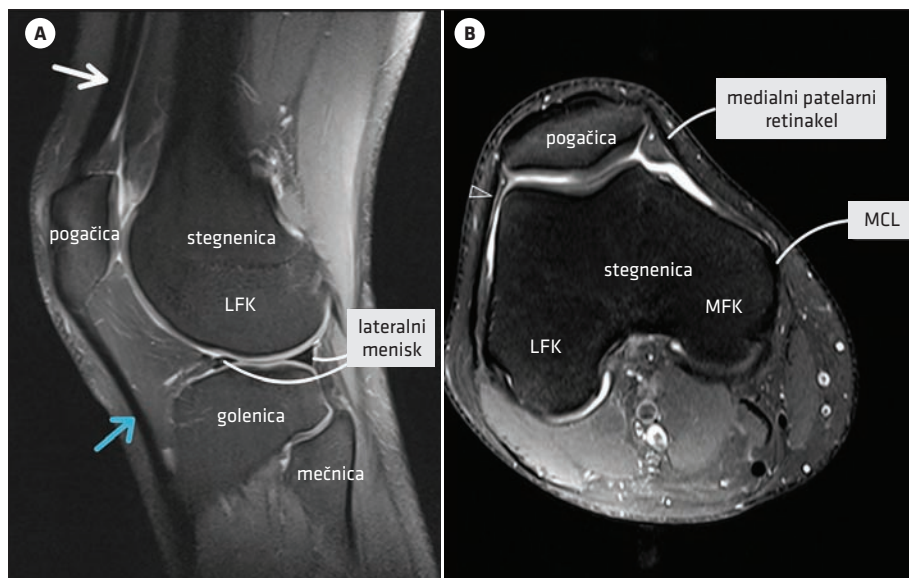
Tetiva štiriglave stegenske mišice je sestavljena iz podaljškov mišice *rectus femoris* (povrhnji del), *vastus lateralis* in *vastus medialis* (sredinski del) in *vastus intermedius* (globoki del), ki se združijo v skupno tetivo nekje 5 cm nad pogačico. Na MR je videti laminirano, saj je sestavljena iz več delov, med katerimi je vmesno maščevje. Najbolje



Slika 12. MR-slika kolena v PD FS-sekvenci v koronarni ravnini na nivoju interkondilarne zareze (slika A) in sagitalni ravnini na nivoju glavnice mečnice (slika B). Slika B prikazuje LCL (bele oznake). LCL poteka od lateralnega kondila stegenice do golenice in koleno ojačuje s posterolateralne strani. PD FS – sekvenca protonske gostote z izničenjem signala maščevja (angl. *proton density fat saturation*), LCL – (lat. *ligamentum collaterale laterale*), ITT – iliotibialni trakt, LFK – lateralni kondil stegenice, MFK – medialni kondil stegenice, PCL – zadnja križna vez (lat. *ligamentum cruciatum posterius* oz. angl. *anterior cruciate ligament*).



Slika 13. Aksialni prerez kolena z označenimi strukturami, vidnimi na MR kolena. MCL – medialna kolateralna vez (lat. *ligamentum collaterale mediale* oz. angl. *medial collateral ligament*), LCL – lateralni kolateralni ligament (lat. *ligamentum collaterale laterale*), ITT – iliotibialni trakt, ACL – sprednja križna vez (lat. *ligamentum cruciatum anterius* oz. angl. *anterior cruciate ligament*).



Slika 14. MR-slika kolena v PD FS-sekenci v sagitalni ravnini na nivoju lateralnega meniska (slika A) in aksialni ravnini na nivoju patelofemoralnega sklepa (slika B). Slika A in B prikazujeta ekstenzorni aparat kolena. Slika A prikazuje pogačico, omejeno s tetivo štiriglave stegenske mišice (bela puščica) in patelarnim ligamentom (modra puščica). Slika B prikazuje medialni patelarni retinakel (del katerega je tudi medialni patelofemoralni ligament), ki pasivno omejuje premike pogačice v medialni smeri. Vidna sta tudi lateralni retinakel (bel trikotnik na sliki B) in MCL. LFK – lateralni kondil stegenice, MFK – medialni kondil stegenice. PD FS – sekvenca protonske gostote z izničenjem signala maščevja (angl. *proton density fat saturation*), MCL – medialna kolateralna vez (lat. *ligamentum collaterale mediale* oz. angl. *medial collateral ligament*).

je vidna v sagitalni ravnini, kjer je kot trak znižanega signala, sestavljen iz 3–4 snopov, z vmesnimi zvišanimi signali (slika 14) (10). Povrhnja vlakna mišice *rectus femoris* potekajo preko anteriorne površine pogačice in se nadaljujejo v patelarni ligament (18).

Patelarni ligament poteka od spodnje roba pogačice in se narašča na grčavi no golenice (slika 14). Na aksialnem prerezu skozi golenični plato ga vidimo kot temen, homogen trak znižanega signala, ki anteriorno pokriva pogačico (10). Normalno je debeline 5–6 mm. Na MR lahko vidimo fokalno višji signal infrapatelarno pri normalnem ligamentu (t.i. »magic angle effect«) (8). Ob ekstenziji kolena, ko je štiriglava stegenska mišica sproščena, se tetiva lahko naguba, in je na MR vidna kot več transverzno orientiranih tračkov srednje jakosti signala na mestu gube (10).

Patelarna retinakuluma stabilizirata pogačico z medialne in lateralne strani. Na MR sta vidna kot linearna, fibrozna tračka znižanega signala, ki se razširjata medialno in lateralno od pogačice proti stegniničinim kondilom (slika 14) (17). Medialni je sestavljen iz več plasti, izmed katerih je najbolj kranialni in najpomembnejši medialni patelofemoralni ligament (MPFL). MPFL se prirašča na stegnenico med medialnim epikondilom in adduktornim tuberkulum ter poteka ob superomedialnem delu pogačice. Medialni patelofemoralni ligament velja za pomembnega pasivnega zaviralca prekomerne lateralne translacije pogačice (20).

Ostale strukture kolena

Pod pogačico je za patelarnim ligamentom infrapatelarno oz. Hoffovo maščevje. Na svoj položaj je pritrjeno s tanko sinovialno gubo

(lat. *ligamentum mucosae*), ki se narašča na interkondilarno zarezo. Je največja maščobna blazinica kolena. Poleg nje sta pogosto vidni tudi prefemoralna in maščobna blazinica štiriglave stegenske mišice (10).

Sinovialne plike so ostanki embrionalnega tkiva, različno prisotni pri posameznikih. Medialna patelarna plika je tanek fibrozni trak, ki poteka od medialne sklepne ovojnice proti medialni površini pogačice. Prisotna je pri približno polovici populacije. Zadebeljena je videti podobno kot raztrgan menisk, zato je njena prepoznavna na MR pomembna (10, 17).

Kolenska kapsula tvori več s tekočino napolnjenih vrečk, imenovanih burze, ki zmanjšujejo trenje v sklepu, večinoma se nahajajo okoli narastišč tetiv. Pomembnejše so suprapatelarna burza nad pogačico, med stegenico in tetivo štiriglave stegenske mišice, prepatelarna burza med pogačico in kožo in povrhnja (pred goleničnim tuberklom) ter globoka (med golenico in distalnim delom patelarnega ligamenta) infrapatelarna burza (12). Manjša količina tekočine v globoki infrapatelarni burzi (< 3 mm) je normalna najdba na MR-preiskavi (10).

ZAKLJUČEK

Pomembnost slikovnih preiskav v medicinski diagnostiki je nedvomno velika, saj vpliva na različne vidike obravnave bolnikov. Vključevanje radiologije v medicinsko izobraževanje postaja izrednega pomena, saj se skupaj s porastom števila slikovnih preiskav tudi specialisti, ki niso radiologi, aktivno vključujejo v interpretacijo radioloških slik. Zato je zelo pomembno, da se

študentje medicine že zgodaj v učnem procesu spoznajo z radiološkimi preiskavami in se naučijo njihove osnovne interpretacije. Poleg interpretacije je pomembno tudi pravilno napotovanje na slikovne preiskave, saj lahko napačna napotitev povzroči nepotrebna tveganja za zdravje bolnikov in potrat njihovega časa ter odvečen strošek za bolnišnico. Da bodo bodoči zdravniki sposobni sprejemati varne in pravilne odločitve, bi tako radiološki učni načrt moral vsebovati znanje o indikacijah, kontraindikacijah in tveganjih, povezanih z različnimi slikovnimi preiskavami. Evropsko radiološko združenje (European society of radiology, ESR) je v tem kontekstu razvilo priporočen učni načrt za študente medicine, ki vključuje osnovno znanje radiologije. Ta pobuda je namenjena zapolnitvi vrzeli v medicinskem znanju in omogočanju boljše priprave bodočih zdravnikov na sodobne izzive v klinični praksi. Harmonizacija pouka radiologije na evropski ravni, kot jo predlaga ESR, prinaša standardizirane smernice, ki bodo omogočile enotnejše in celovitejše izobraževanje študentov medicine glede radiologije in kasneje izboljšale delo zdravnikov v kliničnem okolju.

V prispevku smo prikazali radiološko anatomijo kolena, sklepa, izpostavljenega pogostim poškodbam in degenerativnim procesom, ki je eden najpogostejših vzrokov za obisk zdravnika. Poznavanje normalne radiološke anatomije kolenskega sklepa zdravnikom omogoča razlikovanje med različnimi patološkimi stanji, kar doprinese k boljši obravnavi bolnikov in pravilnim odločitvam o zdravljenju v klinični praksi.

LITERATURA

1. Heptonstall NB, Ali T, Mankad K. Integrating radiology and anatomy teaching in medical education in the UK—the evidence, current trends, and future scope. *Acad Radiol*. 2016; 23 (4): 521–6. doi: 10.1016/j.acra.2015.12.010.
2. Zwaan L, Kok EM, van der Gijp A. Radiology education: a radiology curriculum for all medical students? *Diagnosis (Berl)*. 2017; 4 (3): 185–9. doi: 10.1515/dx-2017-0009.
3. Farmakis SG, Chertoff JD, Straus CM, et al. Perspective: mandatory radiology education for medical students. *Acad Radiol*. 2023; 30 (7): 1500–10. doi: 10.1016/j.acra.2022.10.023.
4. 14. Mariborsko ortopedsko srečanje: Koleno v ortopediji; 2018 Nov 9; Maribor; Maribor: Univerzitetni klinični center; 2018; 13–22.
5. Gottsegen CJ, Eyer BA, White EA, et al. Avulsion fractures of the knee: imaging findings and clinical significance. *Radiographics*. 2008; 28 (6): 1755–70. doi: 10.1148/rg.286085503.
6. Murphy A, Hartley L. Knee radiograph (an approach). *Radiopaedia.org* [internet]. 2014 [citirano 2023 Sep 12]. Dosegljivo na: <https://radiopaedia.org/articles/knee-radiograph-an-approach>
7. Martinoli C. Musculoskeletal ultrasound: technical guidelines. *Insights Imaging*. 2010; 1 (3): 99–141. doi: 10.1007/s13244-010-0032-9.
8. 14. Mariborsko ortopedsko srečanje: Koleno v ortopediji; 2018 Nov 9; Maribor; Maribor: Univerzitetni klinični center; 2018; 53–58.
9. Broder J. *Diagnostic Imaging for the Emergency Physician*. Elsevier, 2011.
10. Chien A, Weaver JS, Kinne E, et al. Magnetic resonance imaging of the knee. *Pol J Radiol*. 2020; 85 (1): e509–31. doi: 10.5114/pjr.2020.99415.
11. Sodhi N, Jacofsky DJ, Chee A, et al. Benefits of CT scanning for the management of knee arthritis and arthroplasty. *J Knee Surg*. 2021; 34 (12): 1296–303. doi: 10.1055/s-0040-1708041.
12. Dekleva A, Lenart I, Širca A, et al. *Anatomija*. Ljubljana: Rangus; 1986.
13. Lopes C, Vilaca A, Rocha C, et al. Knee positioning systems for X-ray environment: a literature review. *Phys Eng Sci Med*. 2023; 46 (1): 45–55. doi: 10.1007/s13246-023-01221-y.
14. Gray H. *Gray's anatomy*. 41 ed. London: Arcturus Publishing; 2013.
15. Hash TW. Magnetic resonance imaging of the knee. *Sports Health*. 2013; 5 (1): 78–107. doi: 10.1177/1941738112468416.
16. Chhabra A, Subhawong TK, Carrino JA. A systematised MRI approach to evaluating the patellofemoral joint. *Skeletal Radiol*. 2011; 40 (4): 375–87. doi: 10.1007/s00256-010-0909-1.
17. Gimber LH, Hardy JC, Melville DM, et al. Normal magnetic resonance imaging anatomy of the capsular ligamentous supporting structures of the knee. *Can Assoc Radiol J*. 2016; 67 (4): 356–67. doi: 10.1016/j.carj.2015.11.004.
18. Crim J, Manaster BJ, Rosenberg Z. *Imaging Anatomy: knee, ankle, foot*. 2 ed. Elsevier; 2017.
19. Gottsegen CJ, Eyer BA, White EA, et al. Avulsion Fractures of the Knee: Imaging Findings and Clinical Significance. *RadioGraphics*. 2008; 28 (6): 1755–1770. doi: 10.1148/rg.286085503.
20. Goslar T, Veselko M. Vloga medialnega patelofemoralnega ligamenta pri stabilizaciji pogačice v patelofemoralnem sklepu in načini rekonstrukcije patelofemoralnega ligamenta. *Med Razgl*. 2007; 46 (4): 321–8.