

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH VĚD

Ústav radiologických metod

Terezie Kužílková

Zobrazovací metody kolenního kloubu

Bakalářská práce

Vedoucí práce: MUDr. Radim Kovář

Olomouc 2020

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a použila jen uvedené bibliografické a elektronické zdroje.

Olomouc 20.5. 2020

podpis

Ráda bych zde poděkovala MUDr. Radimu Kovářovi za čas, který mi věnoval při tvorbě bakalářské práce. Dále za velmi cenné rady a věcné připomínky.

ANOTACE

Typ závěrečné práce: Bakalářská práce

Téma práce: Zobrazovací metody kolenního kloubu

Název práce: Zobrazovací metody kolenního kloubu

Název práce v AJ: Imaging of the knee joint

Datum zadání: 2019-11-22

Datum odevzdání: 2020-06-15

Vysoká škola, fakulta, ústav: Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta zdravotnických věd

Ústav radiologických metod

Autor práce: Kužílková Terezie

Vedoucí práce: MUDr. Radim Kovář

Oponent práce: MUDr. Jan Hrbek

Abstrakt v ČJ: Přehledová bakalářská práce pojednává o zobrazení kolenního kloubu za pomoci radiologických diagnostických metod. V bakalářské práci jsou postupně popsány vyšetření za pomoci rentgenové přístroje, ultrasonografie, výpočetní tomografie a magnetické rezonance. V kapitolách se nachází důležité úlohy radiologického asistenta při jednotlivých vyšetření. Dle dohledaných informací je nejuniverzálnější metodou magnetické rezonance.

Abstrakt v AJ: The bachelor thesis deals with depiction of the knee-joint by usage of diagnostic radiological methods. The thesis consists examination by X-ray, ultrasonography, computed tomography and magnetic resonance. Each chapter describes the importance of radiological assistant during different types of examination. According to the reliable information found, magnetic resonance imaging is the most versatile method in this field.

Klíčová slova v ČJ: kolenní kloub, zobrazovací metody, ultrasonografie, rentgenové vyšetření, magnetická rezonance, výpočetní tomografie

Klíčová slova v AJ: knee joint, imaging methods, ultrasonography, x-ray, magnetic resonance, computer tomography

Rozsah: 40 stran / 8 příloh

OBSAH

Úvod	6
Popis řešeršní strategie	7
1 Anatomie kolenního kloubu	8
2 Skiografie	9
2. 1 Rentgenové vyšetření kolenního kloubu	10
2. 2 Základní projekce kolenního kloubu	11
2. 3 Speciální projekce kolenního kloubu	11
2. 4 Projekce na patelu	13
3 Princip ultrasonografie	15
3. 1 Ultrasonografie kolenního kloubu	16
4 Výpočetní tomografie	20
4. 1 Provedení CT vyšetření kolenního kloubu	21
5 Magnetická rezonance	23
5. 1 Složení magnetického přístroje.....	24
5. 2 Protokol a postup MR vyšetření kolenního kloubu	25
5. 3 Zobrazení jednotlivých částí kolenního kloubu	26
5. 4 MR artrografie	30
5. 5 Kontrastní látky	30
5. 6 Kontraindikace a relativní kontraindikace	31
Závěr	32
Referenční seznam	33
Seznam zkratk	35
Seznam příloh	36

ÚVOD

Kolenní kloub je jedním z nejsložitějších a nejzatěžovanějších kloubů v našem těle. Signálací toho, že něco není v kloubu v pořádku je bolest. Klidová bolest je spojena s různými typy onemocnění. Řadíme sem osteoartrózu, zánět a kostní metastázy. Velmi častým onemocněním kolenního kloubu je taky revmatoidní artritida, tady lze bolest v průběhu dne zlepšovat pohybem. Při velmi těžkých bolestech, může dojít k septickému procesu nebo v případě hemofilie až ke krvácení do kloubu (Trnavský, Rybka a kol., 2006, s.21). Velmi často dochází k postižení kolenního kloubu v důsledku sportovních úrazů. Rizikovými sporty jsou především házená, lední hokej a fotbal. Nejčastěji dochází k postižení menisků nebo zkřížených vazů.

Otázky bakalářské práce:

1. Jak nejlépe zobrazit jednotlivé struktury kolenního kloubu?
2. Která radiologická metoda je nejčastěji v diagnostice využívána?

Hlavní cíle bakalářské práce:

1. Popsat nejčastěji využívané radiodiagnostické metody při vyšetření kolenního kloubu.
2. Najít nejvhodnější metodu pro zobrazení kostěných struktur a nejvhodnější metodu pro zobrazení měkkých tkání.

Vstupní literatura pro bakalářskou práci:

1. VOMÁČKA, Jaroslav a kol. Zobrazovací metody pro radiologické asistenty. 2.vydání. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2015. 157 stran. ISBN 978-80-2444508-3.
2. HEŘMAN, Miroslav. 2014. Základy radiologie. vyd. 1. Olomouc: Univerzita Palackého. 314 s. ISBN: 978-80-244-2901-4.
3. ČIHÁK, Radomír. Anatomie. 2. vydání. Praha: Grada Publishing, 2001. ISBN 807169-970-5.

POPIS REŠERŠNÍ STRATEGIE

Pro tvorbu bakalářské práce byla použita rešeršní strategie. Články a podklady pro tvorbu bakalářské práce byly vyhledávány za pomoci databází EBSCO, Medvik a Google scholar. Hledání probíhalo především v jazyce českém a anglickém. Byla použita následující klíčová slova: kolenní kloub, koleno, rentgen, magnetická rezonance, výpočetní tomografie, ultrasonografie a artrografie. Celkem bylo vyhledáno 114 článků, nicméně díky nedostačujícím informacím jich bylo použito 5. Rešerše byla doplněna o knihy z univerzitní Lékařské knihovny a knihovny FZV. Knihy jsou uvedeny níže v referenčním seznamu.

1 Anatomie kolenního kloubu

Kolenní kloub (*articulatio genus*) patří mezi složené klouby a je největším a nejsložitějším kloubem v lidském těle. Hlavice je tvořena kondyly kosti stehenní (femur), jamka kondyly kosti holenní (tibia). Mezi kondyly kostí jsou vloženy vazivově chrupavčité menisky. Jejich tloušťka se liší, neboť na vnějším obvodu jsou silnější než na vnitřním. Rozlišujeme dva typy, to je meniskus mediální a laterální. Meniscus lateralis má poloměsíčitý tvar a meniscus medialis je oválného tvaru. Oba menisky vybíhají v cípy, jež se upínají na kloubní plochy tibie, přesněji v *eminentia intercondylaris*. Obvod menisků je připojen ke kloubnímu pouzdru, které ohraničuje kloubní dutinu. Součástí kloubního pouzdra je tzv. synoviální výstelka chrupavčitého původu, zároveň tvořící synoviální tekutinu důležitou pro pohyb vzájemných kloubních ploch. Její další, neméně důležitou funkcí je snižování tření. Při pohybech kloubu se menisky posunují ze základní polohy dozadu a zpět, přičemž současně mění tvar. Větší rozsah pohybu při pohybech kolenního kloubu vykonává meniskus laterální (Čihák, 2011, s. 295).

Další důležitou součástí tohoto skloubení je česka, největší sezamská kost v lidském těle, složená z *apex patellae*, *basis patellae* a ze dvou styčných ploch. Zadní plochou je patella uložena do kloubu a přední plochou do šlachy čtyřhlavého stehenní svalu (*m. quadriceps femoris*). U pately je synoviální membrána navíc podložena tukovým polštářkem.

Nedílnou součástí kolenního kloubu jsou vazivové struktury zajišťující jeho stabilitu. Uvnitř se nachází dva zkřížené vazy, jež jsou spojením femuru s tibií. Přední zkřížený vaz (*ligamentum cruciatum anterior*) prochází od vnitřní plochy laterálního kondylu femuru do *area intercondylaris anterior* tibie a zadní zkřížený vaz (*ligamentum cruciatum posterior*) směřuje od zevní plochy kondylu femuru do *area intercondylaris posterior* tibie (Čihák, 2011, s. 301). Vzadu LCP kříží LCA. Po stranách se nachází *ligamentum collaterale laterale* a *ligamentum collaterale mediale*.

2 Skiografie

Rentgenové vyšetření patří mezi základní a nejjednodušší vyšetření muskuloskeletálního systému. Vyšetření za pomoci rentgenového přístroje je poměrně levná a velmi dostupná zobrazovací metoda. Relativní kontraindikací tohoto vyšetření je pouze gravidita. Radiologický asistent zde hraje významnou roli, má za úkol správně polohovat pacienta a zhotovit přesný snímek. Provádí většinou dvě na sebe kolmé projekce, díky sumací kostí, bychom nemuseli zobrazit veškeré patologie.

Při zhotovení snímku se využívá elektromagnetické vlnění, jehož vlnová délka se pohybuje v rozmezí 10^{-9} m až 10^{-11} m. Zdrojem tohoto záření je rentgenka. Ta se skládá ze záporné katody a kladné rotační anody z materiálu o vysokém protonovém čísle (wolfram, molybden). Anoda musí být rotační, protože při zabrzdění zrychlených elektronů vycházejících z katody vzniká 98 % tepla a pouze 2 % rentgenového záření. Součástí RTG přístroje jsou primární a sekundární clony. Primární mají za úkol vymezit primární svazek a chránit pacienta před zbytečným škodlivým zářením a také mají za úkol zamezit vzniku sekundárního záření, které má vliv na kvalitu výsledného obrazu. Sekundární clony nám tedy slouží k vychytávání sekundárního záření a používají se u objektů vyšších než 15 cm. Každá sekundární clona má určitý počet olovněných lamel. U každé sekundární clony se udává tzv. Buckyho (hloubkový) poměr, což znamená poměr mezi výškou lamel a šířkou štěrbiny (Vomáčka a kol., 2015, s. 15). Kromě rentgenky je nedílnou součástí vyšetřovací místnosti posuvný stůl, vertigraf a speciální pomůcky. Součástí ovládací místnosti je především počítač s monitorem a digitizér pro přenesení obrazu z kazety do systému PACS (Picture archiving and communication system). V českém překladě je PACS obrazový, archivační a komunikační systém.

Dříve záznamové medium tvořil fotografický film, nyní však většina modernějších zařízení využívá výpočetní radiografii (CR) nebo digitální radiografii (DR). Při CR se zažitým názvem nepřímá digitalizace je záznamovým médiem paměťová fólie s citlivou vrstvou, která obsahuje nejčastěji sloučeniny fosforu nebo chloru. Fólie je uložena v kazetě a po vložení do již zmíněného digitizéru, dochází k přenosu obrazu za pomoci laseru. Při DR se zažitým názvem přímá digitalizace se převádí přímo rentgenové záření na elektrické digitální signály, přitom se všechno děje uvnitř detektoru přístroje a obraz je během malé chvíle vyobrazen na monitor. Jak u CR, tak i u DR se předchází zdoluhavému vyvolávacímu procesu filmu ve vývojce a následně v ustalovači.

Dochází ke zlepšení kvality obrazu a možnost postprocessingové úpravě digitálního obrazu. Pro pacienty je prospěšné, že dochází ke snížení radiační dávky.

2. 1 Rentgenové vyšetření kolenního kloubu

Rentgenové vyšetření kolene se uplatňuje zejména při zobrazení strukturálních a morfologických změn, ale lze jej eventuálně použít i při zobrazování měkkých tkání. Při postižení měkkých tkání, se zobrazí edém, který je častým a nespecifickým nálezem u traumat, zánětů i tumorů. Na snímku se projeví jako snížená transparence a zneostření kontur měkkotkáňových struktur (Heřman, 2014, s.85). RTG vyšetření se mnohdy užívá k diagnostice difúzních změn, ke kterým patří například osteoporóza, jež je nejčastěji podmíněna stářím a hormonálními změnami. Tato choroba postihuje především ženy okolo 50 let. Na rentgenovém snímku ji poznáme jako úbytek kostní tkáně až o 50 %.

Nejčastější indikace k vyšetření jsou traumata. Jedná-li se o podezření, že by mohlo dojít k traumatu některé části kosti či kloubu, zhotovujeme prostý rentgenový snímek. Na snímku se fraktura zobrazí jako ostře ohraničená linie projasnění. Druhou nejčastější indikací jsou degenerativní změny-artrózy. Při gonartróze dochází ke změně kloubní chrupavky a následnému zúžení kloubní štěrbin. V dalších stádiích dochází k tvorbě osteofytů, k výraznému úbytku kloubní štěrbin až nakonec k jejímu zániku, což nakonec způsobí deformaci kloubu (Heřman, 2014, s.87). Dále je RTG vyšetření indikováno k posouzení zánětlivých procesů probíhajících v kolenním kloubu. Mezi nejčastější systémové zánětlivé onemocnění patří revmatoidní artritida (RA). K častým nálezům na snímcích při RA patří otok měkkých tkání kolem kloubu, bilaterálně symetrické nebo marginální eroze na epifýzách. U dětí mezi 3 až 15 lety se revmatoidní artritida označuje jako juvenilní idiopatická artritida, ta většinou začíná asymetricky na velkých kloubech, což je hlavním rozdílem RA probíhajících v dospělém věku (Trnavský, Rybka kol., 2006, s. 31).

Na prostých snímcích kolenního kloubu tedy sledujeme:

- a) Tvar, postavení kostí a kloubu-kde hledáme dysplazie, anomálie, variety
- b) Přítomnost periostální reakce-posuzujeme vzhled, rozsah, charakter
- c) Strukturu kostní tkáně-pátráme po zlomeninách, difúzních změnách
- d) Kloubní štěrbinu-zde hledáme zúžení, rozšíření nebo asymetrii
- e) Měkké tkáně-hledáme kalcifikace, hematomy, cizí tělesa (Heřman, 2014, s. 87)

2. 2 Základní projekce kolenního kloubu

Dělíme je na základní a speciální. K základním projekcím kolenního kloubu patří předozadní (příloha č. 1) a bočná projekce (příloha č. 2). Je nezbytně nutné vždy zhotovit jak předozadní, tak i bočnou projekci (Redlich, 2008, s. 7).

Předozadní (ventrodorzální) projekce

Spolu s bočnou projekcí jde o nejvíce indikovanou projekci kolenního kloubu. Nejčastěji je pacient posazený na posuvném stole, avšak snímek může být proveden i vleže. Beran doporučuje při poloze v leže, pro lehký dorzální sklon šterbiny podložit nohu tak, aby koleno svíralo úhel 170 stupňů (2006, s. 29). Během vyšetření je noha natažená a koleno pevně leží na stole, jen je mírně rotováno na vnitřní stranu, dokud se česka nenachází uprostřed. Centrální paprsek směřuje do středu kloubní šterbiny, zhruba 2 cm od hrotu česky. Na tomto snímku musí být zobrazena patela, distální část femuru a proximální část tibie. Mezi nejčastější chyby při snímkování patří právě neúplné zobrazení těchto částí (Redlich, 2008, s. 7).

Bočná (tibiofibulární) projekce

Pacient leží na boční straně, čímž je laterální strana kolene položena na vyšetřovacím stole či kazetě. Koleno je v mírné flexi od 30 do 40 stupňů. Centrální paprsek směřuje do kloubní šterbiny, zhruba 2 cm od hrotu česky a do středu kazety (Torsten, Reif, 2009, s. 177). Nevyšetřovaná končetina je přehozená přes druhou končetinu směrem dopředu, tím nám zároveň poslouží jako závaží zobrazované končetiny (Ort, Strnad, 1997, s. 62). Na snímku musí být zadní plocha pately zjevně vymezená, femorální kondyly superponované (Torsten, Reif, 2009, s. 176).

2. 3 Speciální projekce kolenního kloubu

K základním projekcím patří projekce speciální, které nám slouží k přesnému zobrazení určité částí kolenního kloubu.

Frickova (tunelová) projekce

Pacient je posazený nebo položený na posuvném stole. Vyšetřované koleno je položeno na trojúhelníkovém klínu a svírá úhel 45 stupňů. Koleno je opět mírně rotováno na vnitřní stranu.

Pokud záznamové médium tvoří kazeta, tak se umísťuje pod trojúhelníkový klín (Torsten, Reif, 2009, s. 177). Centrální paprsek je skloněný 30 stupňů proximálně a směřuje do středu kloubní štěrbiny. Na snímku musí být zobrazena fossa intercondylaris, distální část femuru, proximální části bérce. Patela nesmí být v superpozici s fossa intercondylaris (Franek, Třetinová, 2009, s. 214).

Holmbladova projekce

Pacienta se opírá koleno o vyšetřovací stůl a zároveň se přidržuje rukami. Úhel svírající stehno a vyšetřovací stůl je 70 stupňů (Ort, Strnad, 1997, s. 62). Centrální paprskem směřuje kolmo na zobrazovací systém a na střed kloubní štěrbiny. Na snímku musí být distální část femuru a proximální část bérce, fossa intercondylaris, eminentia intercondylaris tibiae (Franek, Třetinová, 2009, s. 214).

Beclérova projekce

Při této projekci je pacient uložený na vyšetřovací stůl. Vyšetřovaná končetina je pokrčená a to tak, že osa kosti stehenní svírá s prodlouženou osou bérce úhel 60 stupňů. Centrální paprsek směřuje kolmo na prodlouženou čáru holenní kosti při dolním okraji česky. Tato projekce je zhotovovaná kvůli přesnému zobrazení fossa intercondylaris (Ort, Strnad, 1997, s. 62).

Šikmá anteroposteriorní tibiofibulární projekce

Pacient je posazený nebo položený na vyšetřovací stůl. Při této projekci je celá noha zevně rotována a zároveň se dotýká svou zadní plochou o vyšetřovací stůl. Vnější část se nachází blíže k zobrazovacímu médiu. Vnitřní a vnější kotník zobrazované končetiny svírá s kazetou nebo vyšetřovacím stolem úhel 45 stupňů. Stejně tak i spojnice zevního a vnitřního kondylu femuru musí svírat se zobrazovacím systémem úhel 45 stupňů. Centrální paprskem směřuje do středu kloubní štěrbiny. Tato projekce je indikovaná k diagnostice zlomeniny vnitřního plata tibie a k rozprojikování vnitřní strany vyšetřovaného kolenního kloubu (Franek, Třetinová, 2009, s. 210).

Šikmá anteroposteriorní fibulotibiální projekce

Pacient je posazený nebo položený na vyšetřovací stůl. Při této projekci je celá noha vnitřně rotována a zároveň se dotýká svou zadní plochou o vyšetřovací stůl.

Vnější část se nachází dále od zobrazovacího média. Vnitřní a vnější kotník zobrazované končetiny svírá s kazetou nebo vyšetřovacím stolem úhel 45 stupňů. Stejně tak i spojnice zevního a vnitřního kondylu femuru musí svírat se zobrazovacím systémem úhel 45 stupňů. Centrální paprskem směřuje do středu kloubní štěrbiny. Tato projekce je indikovaná k diagnostice zlomeniny vnitřního plata tibie a k rozprojikování zevní strany vyšetřovaného kolenního kloubu (Franek, Třetinová, 2009, s. 208).

Zadopřední a boční kolenního projekce kolenního kloubu v zátěži

Pacient je postavený zády nebo bokem k vertigrafu. Centrální paprsek směřuje do kloubní štěrbiny asi 2 cm pod dolní okraj čěšky. Obě projekce jsou indikovány k zhodnocení mediálních a laterálních vazů (Torsen, Reif, 2009, s. 179).

2. 4 Projekce na patelu

Jak již bylo zmíněno, patela je největší sezamská kost v lidském těle. K jejímu zobrazení užíváme několika projekcí.

Zadopřední (dorzoventrální) projekce

Pacient leží na vyšetřovacím stole na břicho, kdy patela naléhá přímo na zobrazovací médium. Dolní končetina je natažená. Centrální paprsek míří přímo do středu zákolenní jamky. Snímek se provádí k zobrazení basis patellae, apex patellae (Franek, Třetinová, 2009, s. 216).

Boční (tibiofibulární) projekce

Pacient leží na vyšetřovacím stole tak, že se se svou vnitřní stranou kolene dotýká zobrazovacího média. Koleno je v mírné flexi, která činí 30 stupňů. Centrální paprsek směřuje na vnitřní okraj čěšky. Za pomoci boční projekce zobrazujeme basis, apex, facies anterior a facies posterior patellae (Franek, Třetinová, 2009, s. 218).

Axiální projekce

Při axiální projekci (příloha č. 3) je pacient opět položený na břišní stranu. Dolní končetina je pokrčená v kolenním kloubu a to tak, že je bérce co nejvíce přiblížen ke stehnu.

Pokud pacient nezvládne sám přitáhnou bérec ke stehnu, tak použijeme elastické obinadlo nebo skloníme centrální paprsek tak, aby respektoval osu čéšky. Centrální paprsek směřuje kolmo na dolní okraj čéšky (Ort, Strnad, 1997, s. 66).

Sériová projekce

Pacient je posazený na vyšetřovacím stole. Při této sérii provádíme tři projekce, a to ve flexi 30, 60 a 90 stupňů. Čéška je paralelně se stolem. Kazeta je uložena v držáku nebo jí drží sám pacient na stehnech kolmo ke stolu. Centrální paprsek směřuje přímo na dolní okraj čéšky. Kritérium je, aby zadní plocha čéšky byla zjevně viditelná (Torsen, Reif, 2009, s. 183).

3 Princip ultrasonografie

Ultrazvuková vyšetření patří mezi nejčastější prováděné vyšetření mezi zobrazovacími metodami, zejména proto, že se jedná o velmi dostupnou metodu a ultrazvukový přístroj najdeme na většině specializovaných pracovišť. Způsobuje minimální nežádoucí účinky a výhodou je i nízká cena diagnostického výkonu. Avšak v případě kolenního kloubu se nejedná o nejčastěji využívanou metodu. Ultrazvukový přístroj se skládá z monitoru, samostatné elektronické jednotky vlastního ultrasonografu a vyšetřovacích sond. Monitor musí být dostatečně velký a na úrovni očí. (Vomáčka a kol.,2015, s. 38). Rozlišujeme sondy konvexní, lineární a sektorové. Ty vysílají vlnění o různých frekvencích.

Princip ultrasonografie spočívá v zaznamenávání odrazů ultrazvuku od rozhraní tkání s různou akustickou impedancí. Využívá se zde mechanicko-elastické vlnění, jehož frekvence přesahuje hodnotu hranice slyšitelného zvuku (20kHz). V diagnostice však využíváme frekvence od 1MHz do 20MHz. K povrchově uloženým orgánům používáme sondy o frekvencích 7-15 MHz, u břicha a pánve používáme sondy o frekvencích 1-6 MHz. Ultrazvukové vlnění se odráží, rozptyluje, láme a absorbuje. Zdrojem ultrazvuku je piezoelektrický krystal, který se při stlačení deformuje a vzniká elektrický potenciál. Po přívodu elektrického potenciálu dochází k jeho deformaci a po odpojení dojde k rozkmitání krystalu. Při přiložení sondy k tělu proniká vlnění skrze krystal do tkání. V 99,5 % procentech je ultrazvukového vlnění přijímáno a pouze 0,5 % času je vlnění vysíláno do těla. (Vomáčka a kol.,2015, s. 38). Ultrazvuk používáme k zobrazování měkkých tkání a tekutin, jak již bylo zmíněno, ultrazvukové vlnění se odráží a přes plyn nebo kostěné struktury neprostupuje.

Nesmírně důležité je použití kontaktního gelu, který se nanáší na pokožku, tím pádem dochází k odstranění tenké vrstvičky vzduchu mezi kůží a vyšetřovací sondou. I tenká vrstva vzduchu by totiž bránila přechodu ultrazvukového vlnění k zobrazované tkáni. (Heřman, 2014, s. 17)

Rozlišujeme dvě základní techniky vyšetření, jedna z nich se nazývá konvekční ultrasonografie. Ta zahrnuje A-mode, kde se jedná o jednorozměrné zobrazení, při kterém jsou na stínítku patrné amplitudy odražených signálů. Tato metoda se využívala v echoencefalografii, nyní však tahle metoda ztrácí na významu a prakticky se již nevyužívá (Seidl a kol., 2012, s. 41). V dnešní době se nejvíce používá zobrazení v modu-B. Písmeno B značí jas, původně z anglického slova brightness.

Ultrazvukové linie vytváří dvojrozměrný obraz a každý bod má jas odpovídající amplitudě odraženého echa. Soustava odpovídá světlým a tmavým bodům na obrazovce. Dynamické zobrazení neboli real time, jsou po sobě jdoucí obrazy B z vyšetřovaného orgánu a díky tomuto jevu můžeme pozorovat dynamické děje zobrazované oblasti. Sledujeme tak pohyb plodu, pulzaci srdce, pulzující tepnu. Kvůli lepší diagnostice, lze ultrazvukový obraz zmrazit, tím dosáhneme větší možnosti jej studovat a měřit velikosti orgánů nebo patologických lézí. (Chmelová a kol., 2006, s. 17). Dále se můžeme setkat s M-modem, tato metoda se využívá v kardiologii, kdy se UZ vlny odráží od pohyblivých částí srdce.

Druhá technika se nazývá Dopplerovská ultrasonografie. Ta využívá Dopplerova jevu, který popisuje změnu frekvence a vlnové délky přijímaného oproti vysílanému signálu. Za pomoci této techniky lze rozpoznat proudění krve nebo informace o rychlostech pohybu tkání (Seidl a kol., 2012, s. 43). Teče-li krev k ozvučovací sondě, frekvence vlnění se zvyšuje a naopak. Červenou nebo žlutou barvou se značí směr toku krve k sondě a naopak směr toku krve od sondy se značí barvou modrou či zelenou. Rozlišujeme tři typy Dopplerovského záznamu a to barevný, spektrální a akustický. Barevný umožňuje určit směr toku a přibližný rozsah rychlostí běžně ve více cévách najednou. Spektrální nám umožňuje grafický záznam závislosti rychlosti toku krve na čase a akustický záznam převádí ultrazvukové frekvence, které jsou hodnotitelné sluchem. Pokud do modu-B zapojíme barevné mapování toku, tak tento jev nazýváme duplexní ultrasonografie. Přidáme-li ještě spektrální záznam, jedná se o triplexní ultrasonografii (Vomáčka a kol., 2015, s. 38-39).

3. 1 Ultrasonografie kolenního kloubu

Vyšetřovat koleno ultrazvukem se začalo zhruba před 35 lety, především k zjištění Bakerových cyst a naplněných burz. Vyšetřování kolene ultrazvukem dosáhlo největšího rozvoje díky třem německým autorům U. Harlanda, E. Rohra a C. Sohna a to v druhé polovině osmdesátých let. Nyní můžeme zobrazit veškeré kolenní struktury, ovšem nemůžeme zobrazit kost, protože se od něj ultrazvukové vlnění odráží a nepřináší nám žádnou diagnostickou odpověď (Trnavský, Rybka a kol., 2006, s. 51). Za pomoci ultrasonografie můžeme pozorovat tyto struktury kolenního kloubu.

Náplň kolenního kloubu

Ultrasonograficky detekujeme již zmnožení náplně od 5ml. Tekutinu se ultrazvukovém obraze jeví černě, obraz je tedy anechogenní. Tekutinu zachytíme nad patelou, a to mediálně nebo laterálně od ní (Trnavský, Rybka a kol., 2006, s. 52).

Popliteální cystu

Často nazývána jako Bakerova pseudocysta, je cysta u dospělých, která většinou komunikuje krčkem s kloubní dutinou a souvisí s nitrokloubním drážděním. Jsou to například léze menisků, revmatoidní artritida nebo gonantróza. Může nastat situace, že dojde k prasknutí cysty a na ultrazvuku se objeví obraz klinicky podobný hluboké žilní trombóze (Dungl, 2014, s. 864). Obsah cysty se jeví jako hypoechogenní až anechogenní. Cysty mohou mít různé tvary a vzhledem k tomu, že dochází ke stagnaci tekutiny, mohou se uvnitř vytvořit kalcifikace nebo volná tělíska (Trnavský, Rybka a kol., 2006, s. 52-53).

Menisky

Vyšetření menisků za pomoci ultrazvuku nepatří zrovna k nejčastějším vyšetřením. Vhodnější je použití magnetické rezonance, avšak u pacientů s kontraindikací MRI se používá právě ultrazvuková metoda. Výhodou oproti MRI je nižší cena výkonu, rychlejší provedení a lze získat dynamické snímky pohybem kolenního kloubu. Velkou výhodou je, že všichni pacienti trpící klaustrofobií mohou podstoupit ultrasonografické vyšetření. Ovšem limitujícími faktory jsou zkušenosti lékaře, také kvalita a rozlišovací schopnosti ultrasonografického přístroje.

Kolenní kloub se vyšetřuje v mnoha řezech. Jedním z nich je řez sagitální, na němž přední a zadní rohy menisků vypadají jako rovnoramenné trojúhelníky. Zadní roh jednoho z nich by se nikdy neměl zdát menší než přední roh. Dále to je řez koronární, největší diagnostickou výtěžnost získáme ve střední části kolenního kloubu, tam se nejlépe zobrazí celé menisky. Opět mají trojúhelníkový tvar a jsou mírně laterálně větší než mediálně. Náhlá změna v obrysu menisku je důležitým ukazatelem ke zjištění trhliny (Nada Sayed Mahdy, Hossam Mousa Sakr, Allam Elsayed Allam, 2018, s. 5490-5494).

Degenerativní změny se jeví jako obláčkovité zvýšení echogenity v nehomogenní struktuře. Trhliny v menisku se však jeví jako sytější čárkovité echo probíhající příčně meniskem. (Trnavský, Rybka a kol., 2006, s. 57-58).

Patelární vaz

Oproti meniskům je vhodné za pomoci ultrasonografie vyšetřovat tzv. skokanské koleno. Nejčastěji skokanským kolenem trpí sportovci (volejbal, skoky) a jedná se o postižení patelárního vazů v jeho úponu na dolním okraji čéšky. Tam dochází nejčastěji k lokalizaci bolesti (Dungl, 2014, s. 811).

Vyšetření patelárního vazů se provádí v leže ve třech řezech za použití lineární sondy. Normální rozměry vazů jsou v podélném řezu 3-6 mm a v příčném řezu jsou naměřené hodnoty od 17-25 mm. Rozlišujeme pět stupňů změn. Při první změně dochází k rozšíření echa s poklesem echogenity v oblasti úponu ligamentum patellae. U druhé změny nastává rozšíření celého vazů, taktéž při následující změně dochází k rozšíření celého vazů a k tomu se přidávají změny v echogenitě. Při další změně vzniká celkové rozšíření a ztrátě přesného vymezení vazů od prostředí. V poslední fázi dochází k ruptuře.

Za pomoci ultrasonografie jsme schopni zjistit i tendinitidu vazů, ta je popisována snížením echogenity a vřetenovitým rozšířením vazů (Trnavský, Rybka a kol., 2006, s. 59).

Kolenní vazy

Postranní vazy jsou velmi dobře dostupné k ultrasonografickému vyšetření. I při tomhle vyšetření se používá lineární sonda, avšak musí obsahovat vodní předsádku. Nejčastěji vyšetřujeme koleno v podélných řezech nad zkoumanými strukturami. Zjišťujeme hematomy v průběhu vazů nebo porušení spojitosti. Za pomoci Dopplerovského vyšetření určujeme prokrvení a rekonvalescenční procesy.

Naopak zkřížené vazy jsou velmi těžko detekovatelné za pomoci ultrasonografie, kvůli špatnému uložení vazů v kloubu. Přední zkřížený vaz se vyšetřuje ve flexi kolena parapatelárně. Opět používáme lineární sonda. Nastane-li přetržení vazů, nemusí se na ultrazvukovém obraze vůbec zobrazit nebo nastane jeho ochabnutí. Vyšetření zadního zkříženého vazů je o něco složitější, ale platí pro něj stejné zásady potřebné k zobrazení.

Chrupavčité a kostní kloubní povrchy

Chrupavka je další součástí kolenního kloubu, kterou můžeme vyšetřovat za pomoci ultrazvukového přístroje. Koleno musí být ve flexi, aby došlo k odkrytí chrupavky od zátěžových ploch kondylu.

Chrupavku na UZ obraze vidíme jako anechogenní čáru nad kostěnou strukturou. Základem je zjistit její výšku, ta by měla dosahovat velikosti přibližně 2,5 mm. Nesledujeme pouze chrupavku, ale i kostní povrch pod ní.

Na ultrazvuku můžeme vidět odloučený fragment, subchondrální frakturu, ložisko disekující osteochondrotidy nebo chondropatii při revmatoidní artritidě. Nevýhodou je, že nelze pozorovat kloubní chrupavku pately, kvůli špatné přístupnosti (Trnavský, Rybka a kol., 2006, s. 59-63).

Morbus Osgood-Schlatter

Osgoodova-Schlatterova choroba patří k velmi častým onemocněním. Jedná se o aseptickou nekrózu tuberosity tibie. Nejčastěji nemocí trpí mladiství chlapci ve věku 10-15 let (Dungl, 2014, s. 810). Poznáme ji tak, že na ultrazvukovém obraze je vyobrazena jako hypoechogenní zánětlivý lem v distálním průběhu patelárního vazy. Aseptickou nekrózu můžeme prokázat i za pomoci rentgenového vyšetření, avšak při použití ultrasonografie dochází ke snížení radiační zátěže vyšetřovaného pacienta. Další výhodou je, že lze pozorovat hojivé tendence a okolní měkké tkáně.

Burzy

Patří k velmi častým nálezům na ultrazvukovém obraze, mají typickou lokalizaci a pravidelný tvar. Nalézáme je na místech, kde se tkáně (svaly, šlachy) pohybují po kostních strukturách. Nejčastější vyskytovanou burzou je burza prepatelární. Důvodem jejího vzniku je infekce nebo přetížení, a to hlavně u osob, které při svém výkonu práce musí klečat. Jedná-li se o burzu vzniklou po úraze, může být naplněná krví nebo výpotkem. Burzy neprokazují echogenitu nebo je jen velmi nízká, pokud se však burza naplní tekutinou nebo krví, tak již dochází ke změně echogenity (Trnavský, Rybka a kol., 2006, s. 55-65).

4 Výpočetní tomografie (CT)

Jedná se o metodu, která využívá rentgenového záření. Hlavní rozdíl mezi RTG a CT přístrojem spočívá v jeho zobrazení. V případě klasického rentgenu dochází k zhotovení planárního zobrazení, tedy dvojrozměrného obrazu. V tomto případě může být řada abnormalit lehce přehlédnuta. V případě CT vyšetření je zobrazovaná oblast rozdělena do několika řezů, které jsou vytvořeny za pomoci posuvného stolu a současného rotování rentgenky a detektorů kolem pacienta. CT přístroje během let prošli řadou technických vymožeností. Rozlišujeme pět generací CT přístrojů. Pro nás je nejdůležitější generace třetí, která nám udává základ dnešních přístrojů. V současné době se nejčastěji užívá multidetektorová výpočetní tomografie (MDCT), v tomto případě dochází k získávání více jak jedné datové stopy. Princip spočívá v současném rotování rentgenky a řadou detektorů kolem pacienta, které jsou uloženy v gantry přístroje. Jedná se o 16-64 datových stop, ovšem existuje i 4-320 datových stop. Čím více detektorů, tím je přístroj dražší a vyšetření je provedeno rychleji. MDCT je často spojovaná s pozitronovou emisní tomografií (PET) a vytváří tak hybridní přístroj PET/CT nebo je spojováno s jednofotonovou emisní tomografií a utváří přístroj zvaný SPECT/CT (Vomáčka a kol., 2015, s. 43-44).

Rentgenové záření má schopnost se rozdílně absorbovat v různých tkáních. Různé tkáně, mají různou denzitu, ty se pak uvádí v Housfieldových jednotkách (HU). Housfieldova škála se pohybuje v rozmezích od -1000 až po 3096 HU. Vzduch a tuk nabývají záporných hodnot, destilovaná voda dosahuje nuly a největšího kladného čísla dosahují kosti a kov. Podle této škály jsou na obraze tkáně vyobrazeny v různých odstínech šedi. Platí zde pravidlo, že čím nižší číslo, tím tmavší stupeň šedi. Ovšem lidské oko dokáže rozpoznat pouze 16 stupňů šedi. Proto musíme použít modulaci jasu a kontrastu. Důležitou prací radiologického asistenta je nastavení správného rozmezí okénka, protože pokud zobrazujeme tkáně s velmi podobnou strukturou, jako jsou parenchymové orgány, musíme vybrat jen úzkou část denzit (Seidl a kol., 2012, s. 45-48).

4. 1 Provedení CT vyšetření kolenního kloubu

Průběh vyšetření probíhá tak, že je pacient uložený na vyšetřovací stůl, nohama směrem do gantry. Je důležité, aby během vyšetření nedošlo k pohybovým artefaktům, proto pacient musí zůstat nehybně ležet během celého vyšetření.

Samostatné vyšetření začíná zhotovením topogramů neboli plánovacích skenů. Při tomhle kroku nedochází k rotaci rentgenky ani detektorů. Radiologický asistent musí podle topogramů zvolit správně vyšetřovanou oblast, aby nedocházelo k zbytečnému ozáření pacienta a vše bylo správně vyobrazeno (Heřman a kol., 2014, s. 23). Při konečné úpravě je možné zvolit techniku volume rendering, kdy dochází k přenesení 2D obrazu do 3D obrazu (příloha č. 7 a č. 8) Tato metoda nám slouží k lepšímu zobrazení kostěných struktur.

Nativní vyšetření

Při nativním vyšetření, kde hodnotíme šlachy nebo chrupavku, zvolíme šířku vrstvy 5 mm. Při tomhle vyšetření volíme jak kostěné okno, tak i měkkotkáňové okno. Jedná-li se o okno kostní, provádíme rekonstrukci v rovině axiální, koronární a sagitální (příloha č. 6). V případě měkkotkáňového okna provádíme rekonstrukci v transverzální rovině. Střed kostního okna dosahuje hodnot 300 HU a šířka dosahuje 1500 HU. Měkkotkáňové má střed 50 HU a šířku 400 HU (Ferda, Mírka, Baxa, 2009, s. 200-201).

Muskuloskeletální nádory

Tento protokol je vhodný zejména pro diagnostiku nádorů. Dále pro hodnocení jejich cévního zásobení, standingu a volumetrie nádorů. Šíře vrstvy je 3 mm. Oproti nativnímu vyšetření podáváme 80-100 ml kontrastní látky, 3-4 ml/s. Parametry kostního okna jsou stejné jako při nativním vyšetření a u měkkotkáňového okna je šířka 350 HU a střed 50 HU (Ferda, Mírka, Baxa, 2009, s. 198-199).

CT artrografie

Jedná se o metodu, při níž je vpravena kontrastní látka přímo intraartikulárně. Zákrok je prováděn pod CT kontrolou a v lokální anestezii. Používá se jehla o velikosti 21 G a délky 50 mm (Neuwirth, Šprindrich, 2016, s. 17). Do kloubu se vpravuje 10-15 ml jodové kontrastní látky a vlastní vyšetření by mělo být zhotoveno do 20 minut po její aplikaci. Šíře vrstvy je 1,5 mm nebo 3 mm.

K indikacím patří poranění měkkých tkání kloubu, kloubního pouzdra a zhodnocení uvolněné kloubní náhrady (Ferda, Mírka, Baxa, 2009, s. 196). Lze i použít tzv. dvojkontrastní artrografii, kdy se nejdříve aplikuje malé množství kontrastní látky a následně dojde k aplikaci vzduchu. Tato metoda je především vhodná k diagnostice ruptury mediálního menisku (Neuwirth, Šprindrich, 2016, s. 126). Prakticky se již tato metoda nepoužívá, ale lze ji provést. Daleko výhodnější je zvolit vyšetření za pomoci MR.

5 Magnetická rezonance

Narozdíl od jiných radiologických metod (CT, rentgen), magnetická rezonance nevyužívá rentgenové paprsky pro zobrazení jednotlivých tkání. Pacient je při vyšetření vystaven velmi silnému magnetickému poli, následně dochází k vyslání radiofrekvenčního impulsu do těla. Po ukončení radiofrekvenčního impulsu dochází ke snímání signálu jader vodíku v lidském těle. Tyto signály se měří a jsou rekonstruovány (Nekuka, Chmelová, 2007, s. 7).

Její metoda spočívá ve využívání magnetického chování vodíkových jader. Díky tomu, že atomová jádra rotují kolem své dlouhé osy (spin), se utváří magnetické pole kolem lichých protonových jader. Jádro atomu se skládá z protonů a neutronů, protony nesoucí kladný náboj mají povahu malého magnetu a tím tedy tvoří zevní magnetické pole (magnetický moment). Nejvhodnější prvek je vodík, kvůli svému lichému protonovému číslu a velkému zastoupení vodíku (součást vody) v lidském organismu (Seidl, 2012, s. 51). Protony v tkáni jsou zcela neuspořádané. Pokud je však umístíme do statického magnetického pole (B_0) dojde k jejich uspořádání rovnoběžně se siločarami. Dochází k jejich rozpoložení do paralelního a antiparalelního postavení. O něco více jich najdeme v postavení paralelním. Intenzita statického magnetického pole B_0 je vyjádřena v jednotce Tesla (T). Přístroje využívané k diagnostice mají nejčastěji intenzitu 1,5 T, maximální používaná intenzita je 3 T (Vomáčka a kol., 2015, s. 47). Dalším nezbytným pojmem je tzv. precese. Protony nerotují jenom kolem své dlouhé osy, ale vytváří rotační pohyb v transverzální rovině. Tento pohyb nám připomíná, jako by protony obepisovaly tvar kužele. Ovšem tyto pohyby nejsou synchronní, nejsou ve stejné fázi. To znamená, že i když se pohybují po stejné dráze, dokonce i stejnou rychlostí, nenachází se ve stejném místě najednou (Nekula, Chmelová, 2007, s. 8). Další důležitý jev je rezonance. Dojde-li k použití radiofrekvenčního pulzu a frekvence dosahuje takových hodnot, že je shodná s frekvencí protonu precese, nastane vychýlení magnetického momentu a synchronizaci precese všech protonů. Po skončení radiofrekvenčního pulzu se vše vrací zpět do normálu. Doba, za kterou tohle nastane, označujeme jako relaxační čas. Relaxační čas T_1 je doba, za kterou dojde k návratu vychýleného magnetického momentu. Čas potřebný ke zrušení synchronizace protonů nazýváme relaxační čas T_2 . Tyto časy nelze přesně měřit, ale na jednotlivých sekvencích lze měřit jejich rozdíly.

Radiofrekvenční impulz má charakter elektromagnetického vlnění, ten lze zaznamenávat pomocí speciálních cívek. Sekvencí nazýváme sérii radiofrekvenčních pulzů potřebných k získání měřitelného signálu (Heřman, 2014, s.26).

5. 1 Složení magnetického přístroje

Vzhledem nám připomíná CT přístroj, ale jeho složení je naprosto rozdílné. Přístroj pro magnetickou rezonanci se skládá z různých součástek. Základem je stacionární magnetické pole B_0 s přídatným chladícím zařízením. Dalšími součástmi přístroje jsou gradientní cívky, vysokofrekvenční vysílač s vysílací cívkou, vysokofrekvenční přijímač, vysokofrekvenční a magnetické stínění pro ochranu signálu. Aby mohlo dojít ke zpracování signálu, rekonstrukci dat a k archivaci dokumentů, je zapotřebí počítačová soustava. Nedílnou součástí je posuvný vyšetřovací stůl. Součástí jsou i různé doplňky, jako je například synchronizace magnetické rezonance s EKG nebo monitorací dechu.

Podle magnetického pole B_0 dělíme přístroj na:

- 1, Na velmi nízké, ty mají hodnoty pouze do 0,2 T (ultra low field)
- 2, Na nízké, zde jsou hodnoty do 0,3 T (low field)
- 3, Na střední, ty jsou od 0,5 do 1,0 T (mind field)
- 4, A na vyšší, ty dosahují hodnot do 1,0 do 4,0 T (high field)

Jak již bylo zmíněno, nejčastěji používáme magnetické pole B_0 s hodnotou 1,5T. Existují i magnetické pole s hodnotou 9T a více, ale ty se používají především pro výzkumné účely (Nekula, 2007, s. 20-21). Aby vyšetření mohlo proběhnout, je za potřebí užití cívek. Ty dělíme na dvě skupiny. Na permanentně zabudované a na povrchové. Permanentně zabudované cívky jsou uloženy přímo v gantry, a proto je nemůžeme přímo pozorovat. Jsou především vysílací, slouží jako celotělová cívka. Jejich nevýhodou je, že se nachází daleko od zobrazované tkáně, tím vzniká velký šum ve výsledném obraze. Povrchové cívky se přikládají k povrchu těla pacienta. Jsou vyrobeny z drátěných závitů, hlavní prvky při výrobě jsou měď nebo stříbro. Uvnitř je zabudovaný převaděč signálů z cívky do počítače. Podle zobrazované oblasti používáme nejrůznější typy povrchových cívek.

Nejčastěji používané cívky jsou hlavové, páteřní, kolenní, ramenní a zápěstní. Existují i cívky, které lze volně tvarovat a jedná se o tzv. univerzální flexibilní cívky (Vomáčka a kol., 2015, s.53).

5. 2 Protokol a postup MR vyšetření kolenního kloubu

Protokoly vyšetřování se do značné míry mohou lišit. Záleží na pracovišti a na druhu vyšetřovacího přístroje. Standardně je pacient uložený na vyšetřovací stůl směrem nohama do gantry. Důležité je zkontrolovat, aby pacient neměl na sobě žádné kovové předměty. Nutností je, aby byl kolenní kloub uložený v povrchové kolenní cívce případně flexibilní cívce. Dolní končetina je volná a je v mírné flexi, ta dosahuje 10 až 15 stupňů.

Při vyšetření se využívají všechny tři roviny-sagitální, koronární a transverzální. Sagitální obrazy se sklání podle předního zkříženého vazů. Dále musí být při vyšetření zaznamenán celý kloub i s přilehlými měkkými tkáněmi. Všechny tyto parametry jsou závazné. Z anatomického hlediska je transverzální rovina bez úpravy. Jak již bylo zmíněno, je nutné dodržet sagitální rovinu rovnoběžně s průběhem předního zkříženého vazů. Ta odpovídá sklonu mediální plochy laterálního kondylu femuru na transverzálním obraze. Proto nejdříve zhotovujeme transverzální sekvenci. Koronární rovina se orientuje podle kondylů femurů. Rozsah odpovídá od česky až po popliteální jamku (Mechl, Tintěra, Žižka, 2014, str. 64).

Většinou provádíme čtyři základní sekvence, které nám poskytují dostatečnou informaci a lze tak snadno zhodnotit stav menisků, vazů, kostní dřeně a v jisté míře i stav chrupavky. Neposkytují-li nám tyto sekvence dostatečné informace, je nutné zhotovit další (Trnavský, Rybka a kol., 2006, s. 82).

Mezi čtyři základní sekvence patří:

1. T2 turbo-spin-echo sekvence orientovaná v transverzální rovině
2. PD turbo-spin-echo sekvence orientována v sagitální/koronární rovině
3. PD FS turbo-spin-echo sekvence orientována v transverzální/sagitální rovině
4. T1 turbo-spin-echo sekvence orientována v koronární rovině

Ovšem není nutnost využít všechny tyto sekvence, jedná se pouze o doporučení. Například ve Fakultní nemocnici Olomouc se neprovádí T1 sekvence, jen v případě

podání kontrastní látky intravenózně. Při nedostatečných informacích se dále používají například T2 gradient-echo sekvence s možnou saturací tuku nebo T2 gradient-echo 3D sekvence (Mechl, Tintěra, Žižka, 2014, str. 65).

5.3 Zobrazení jednotlivých částí kolenního kloubu

Přední zkřížený vaz

Nejčastější důvod, proč dochází k poranění předního zkříženého vazů (příloha č. 4), jsou sportovní úrazy. Jedná se zejména o kontaktní sporty jako je házená, hokej, fotbal nebo vliv silného pádu například při sjezdovém lyžování. Pro otok okolních měkkých tkání a velké bolestivosti v celém rozsahu kolenního kloubu je indikováno vyšetření právě za pomoci zmíněné magnetické rezonance. Při postižení tohoto vazů, dochází nejen k lézi tohoto vazů, ale často i k ruptuře menisků. Abychom mohli posoudit rozsah poškození, sledujeme přímé a nepřímé známky ruptury předního zkříženého vazů.

K přímým známkám můžeme přiřadit nenormální průběh vazů, narušení spojitosti fibrinových vláken, přetržení fibrinových vláken, hypersignalitu vazů a zvětšení Blumensaatova úhlu. Blumensaatův úhel svírá rovinu interkondylární fossy s ventrální linií LCA. Pokud je tento úhel otevřený dorzokraniálně a překračuje-li úhel 15 stupňů, je známkou traumatu předního zkříženého vazů.

Důležité parametry k hodnocení léze vazů jsou i znaky nepřímé. K těm nepřímým znakům přiřazujeme otok vazů a jeho okolí, poranění zejména zadního rohu laterálního menisku a kolaterálního vazů a v neposlední řadě prosáknutí Hoffova tukového tělesa.

Normální průběh předního zkříženého vazů můžeme pozorovat na sagitálních řezech, LCA musí být po celé své délce pravidelný a hyposignální s náznakem pruhů fibril tibiálního úponu. Důležité je, aby koleno bylo v úplné extenzi, protože i při mírné flexi dochází ke snížení intenzity signálu, což vede k nepřesné diagnostice (otok vazů). Zde i nacházíme odpověď na otázku, proč je lépe viditelný přední zkřížený vaz oproti zadnímu. Za normální průběh LCA můžeme považovat, je-li na sagitálním obrazu vaz shodný s Blumensaatovou linií (šikmá linie interkondylární fossy). Za patologie nelze považovat pruhovité fibril tibiální adheze LCA.

Nalézáme je spíše u mladších pacientů. U starších dochází ke ztrátě elasticity vazů a díky tomu jejich zahlazení na obraze (Pauček, Smékal, Holibka a kol., 2015, s. 67-74).

Náhradu vazů provádíme nejčastěji za pomoci autologního graftu. Jednou z významných rolí magnetické rezonance je rozeznání mezi úplnou nebo částečnou rupturou předního zkříženého vazů. Svou roli hraje i při posouzení pooperačního stavu. Hodnotí položení graftu, hojení vazů. Vyšetřením se snažíme předejít vzniku možných komplikací.

Menisky

Degenerativní změny a ruptury menisků (příloha č. 5) patří mezi nejčastější deformity. Na MR obraze pozorujeme různé abnormality a rozdělujeme je do tří kategorií. Do první skupiny patří degenerativní onemocnění prvního stupně, ty se na obraze projeví jako tečkovitý nárůst intenzity. Další skupinu tvoří degenerativní změny druhého stupně, zde se ještě nejedná o rupturu, ale pouze o předstupu ruptury. V obou případech se jedná o rozvláknění kolagenové struktury tkáně menisků, které se následně projevují bolestivostí. Význam MR zde spočívá v přesné diagnostice, jelikož při běžné artroskopii nelze tento předstupu ruptury rozpoznat, a to zejména kvůli absenci komunikace menisků s kloubní dutinou. Třetí skupinu tvoří ruptury, jež komunikují s kloubní dutinou a jsou hodnotitelné při artroskopii. Rozeznáváme několik druhů ruptur menisků. Jedná se o rupturu horizontální, vertikální, šikmou, komplexní a s dislokací fragmentů.

Mezi další onemocnění menisků patří macerace, v tomto případě dochází k jeho vstřebávání na podkladě patologického procesu v kloubu. Nejčastěji artrózou nebo zánětem. V laterálním menisku se nám mohou vytvořit parameniskální cysty nebo gangliony, které mají souvislost s rupturou menisku. V mediálním se téměř nevyskytují, díky jeho pevnější fixaci (Trnavský, Rybka a kol., 2006, s. 84-86). Vzácným nálezem je pak diskoidní meniskus, opět se jedná častěji o postižení laterálního menisku, avšak ve 20 % případů se vyskytuje oboustranně. Jeho tvar je proměnlivý (úplný disk, neúplný kruh) a oproti normálnímu menisku je ztlustělý. Ve svém středu je ztenčený až skoro průhledný, avšak může nastat i opačná situace, kdy po stranách je meniskus tlustší než ve středu (Dungl a kol., 2014, s. 809-810).

Chrupavka

Zobrazování chrupavky za pomoci magnetické rezonance v posledních letech stoupá, vliv má na to zejména vyšší průměr aktivního věku obyvatelstva a narůstající počet implantátů, kterými lze dané defekty vyřešit. Hlavní role chrupavky spočívá v tlumení nárazů a jejich rovnoměrnému rozložení (Šprláková-Puková, Vališ, Mechl, 2017, s. 291-295). Nejlépe lze zobrazit tvar chrupavky za pomoci kombinace 2D a 3D technik, ovšem změny můžeme rozpoznat i na běžných spin-echo sekvencích. Pro ještě lepší diagnostickou hodnotu můžeme použít sekvenci s potlačením tuků. (Trnavský, Rybka a kol., 2006, s. 91). Postižení chrupavky můžeme rozdělit do 4 stupňů.

Při prvním stupni dochází ke změně signálu, obrys je v normě. V případě druhého stupně již vzniká částečné postižení chrupavky, dochází k povrchovým změnám, nicméně poškození nepřevyšuje více než 50 %. U dalšího stupně poškození a patologické změny sahají až ke kostní tkáni. V posledním stádiu je již chrupavka postižená v celé své šířce, je odkrytá subchondrální kost a vznikají subchondrální transformace v kostní dřeni.

Pokud chceme zjistit nejenom množství tkáně, ale i její kvalitu, jež kryje kloubní plochu, jsou základní sekvence nedostačující. Při vyšetření se zde vychází z biochemických odrazů tkáně chrupavky (kolagenní síť, poměr proteoglykanů a GAG řetězců, počet makromolekul v chrupavce).

K pokročilému zobrazování chrupavky využíváme sekvence, které jsou běžně používané v praxi nebo pouze k výzkumným účelům.

1. T1 mapování-jedná se o metodu založenou na detekci zobrazení vody, využívá se 2D technika s dlouhým náběrovým časem měřením. Jedná se o metodu ověřenou, proto ji můžeme použít i při běžné klinické praxi. Nevýhodou je pak nutnost použití postprocesingu. Změny na chrupavce se zobrazí v odstínech šedi nebo různorodé barevné škále.

2. dGEMRIC (delayed gadolinium-enhanced MRI of cartilage)-je to metoda spočívající v aplikaci kontrastní látky (KL) intraartikulárně a jako kontrast se používá se GdDTPA 2-. Tato látka se vchytává v chrupavce, kde se nachází nedostatek glykosaminoglykanů (GAG). Tato metoda nám tedy slouží k detekci GAG v chrupavce. Nevýhodou této metody je opět použití postprocesingu, ale hlavně dlouhá vyšetřovací doba jednoho pacienta.

3. T1rho-tuto sekvenci lze přirovnat k T2 relaxaci, rozdíl spočívá ve sběru dat a přidání radiofrekvenčního pulzu. V tomto případě detekujeme kolagenní síť. Bohužel tato metoda není dostupná na běžných pracovištích, nachází se pouze ve výzkumných centrech.

4. MR zobrazení sodíku-detekujeme opět GAG. Výhodou oproti dGEMRIC je, že lze vyšetření provést bez aplikace kontrastní látky a předejít tak ke vzniku nežádoucích účinků KL. V praxi tato metoda není úplně běžná, jen na velmi specializovaných pracovištích. Nutné je použít speciální cívku. Lze detekovat i začínající degenerativní procesy chrupavky

5. Difuzně vážené zobrazení-tento princip je často užíván s 3D technikou a pracuje na zobrazení hybnosti molekul vody. Slouží nám zejména k posouzení struktury. Ovšem rozlišení je velmi nízké.

6. GagCEST (glycosaminoglycan chemical Exchange saturation transfer)-jde o moderní techniku MR zobrazování, kde se zaznamenávají jednotlivé části chrupavky. Zobrazování je opět založeno na detekci GAG. Jde pouze o experimentální metodu, která je zhotovitelná pouze na přístrojích o velikosti síly 7 T. Velká výhoda spočívá ve velmi rychlém náběru dat (Šprláková-Puková, Vališ, Mechl, 2017, s. 291-295).

Zánětlivá postižení kloubu-synovitidy

Při zobrazování synovitidy, je dostačujícím vyšetřením ultrasonografie, hlavně díky tomu, že ji lze léčit konzervativně a nevyžaduje žádný chirurgický zákrok. Nicméně je magnetická rezonance indikovaná pro případ možných komplikací. Jedná se zejména o poruchu hybnosti způsobenou hypertrofií Hoffova tukového tělesa. Ve výjimečných případech se může jednat i o destrukci chrupavky nebo skeletu.

Kloubní výpotek

Kloubní výpotek v kloubní dutině patří k velmi častým nálezům. Většinou se nevyskytuje samostatně, jen ve výjimečných případech. Kloubní výpotek nalézáme u degenerativních změn nebo při zánětech.

Nejčastěji jej najdeme v suprapatelární burze nebo v postranních recesech kloubní dutiny. Za pomoci magnetické rezonance může rozeznat, zda se jedná o výpotek hemoragický, čirý nebo na podkladě zánětu.

Čirý výpotek na T1 váženém obraze má homogenně nízkou intenzitu a v T2 obraze zase vysokou. Hemoragický výpotek má na T2 obraze nízkou intenzitu, kde se může vyskytnout hladina detritu hemoglobinu. Jde-li o výpotek na zánětlivém podkladě, bývá ohraničen ztlustělou výstelkou kloubu, ta má vysokou intenzitu na T2 obraze, ale výpotek má intenzitu nižší (Trnavský, Rybka a kol., 2006, s. 94-95).

5. 4 MR Artrografie

Při přímé artrografii dochází k aplikaci tekutiny přímo do kloubu. Jednak se může aplikovat fyziologický roztok, ovšem daleko výhodnější je aplikovat zředěnou paramagnetickou kontrastní látku. Tu ředíme v poměru 1:200, tedy k 0,1 ml KL přidáme 20 ml fyziologického roztoku. Oproti klasickému provedení magnetické rezonance, zde spočívá výhoda v tom, že dochází k distenzi kloubního pouzdra a díky tomu lze lépe rozlišit jednotlivé struktury kloubu (Šprláková-Puková, Mechl, Keřkovský, Uher, 2007, s. 54-62). Po aplikaci kontrastní látky je zapotřebí alespoň půl hodiny po aplikaci pohybovat kolenním kloubem, aby se kontrastní látka dostala až do výstelky kloubu. Následně se zhotoví T1 sekvence a zároveň je vhodné použít saturaci signálu z tukové tkáně (Trnavský, Rybka a kol., 2006, s. 83).

Při artrografii kolenního kloubu hodnotíme abnormality chrupavek, menisky, zkřížené vazy a případně Bakerovy cysty (Dungl a kol., 2014, s. 45).

5. 5 Kontrastní látky

Kontrastní látky pro magnetickou rezonanci si liší od běžných kontrastních látek, protože musí vykazovat paramagnetické vlastnosti. Výhoda spočívá ve zkrácování relaxačního času, a proto nejčastěji při vyšetření s KL používáme T1 sekvence a na následujících T1 obrazech se kontrastní látka jeví jako hypersignální (Ferda a kol., 2015, 29).

Nejčastěji užívanou látkou jsou cheláty gadolinia (Gadovist, Omniscan). Jedná se o velké makromolekuly, které nepronikají do buněk, pouze se nachází v krvi, ovšem jedná-li se pouze o intravenózní podání kontrastní látky. Farmakokinetika je velmi podobná jako u jodových KL, také zde dochází k vylučování látky ledvinami.

Nicméně zde hrozí vzniku nežádoucí reakce, ale ty se naštěstí vyskytují jen velmi vzácně. Najdeme i speciální KL pro magnetickou rezonanci, ty obsahují oxidy železa nebo mangan. Užívají se při diagnostice onemocnění jater, kostní dřeně, sleziny nebo lymfatických uzlin (Heřman, 2014, s. 36). V současné době je již podání kontrastních látek sporadické. Zjistilo se, že dochází k jejich následnému ukládání do organismu.

5. 6 Kontraindikace a relativní kontraindikace

Pacient je během vyšetření uložený do silného magnetického pole. Při interakci pole s cizími tělesy a kovovými implantáty může dojít k pohybu těles nebo ke změně jejich funkcí. Jedním z problému je voperovaný kardiostimulátor. Dojde-li k přerušení jeho funkce, může nastat až smrt pacienta nebo zmagnetizované kovové částice způsobí závažnou arytmií.

Nyní se však tyto kardiostimulátory a jeho elektrody začaly vyrábět tak, aby byly kompatibilní s MR. Při vyšetření dochází k jejich přepnutí do MR kompatibilního modu a po vyšetření zpět do běžného režimu. To platí i pro srdeční chlopně a nitrolební svorky, které se taktéž nyní vyrábí z kompatibilního materiálu. Radiologickým asistentům by na každém pracovišti měl sloužit seznam slitin, na kterém se dá určit, zda se jedná o látky diamagnetické nebo ne. Mezi další kontraindikace patří cizí těleso v oku, které je kovového rázu. Dále pak inzulinové pumpy a kochleární implantáty. Všechny tyto případy považujeme za absolutní kontraindikace.

Ženy během prvního trimestru těhotenství, by neměly absolvovat vyšetření magnetickou rezonancí, pouze jedná-li se o život ohrožující stav. Provádí se tedy pouze výjimečně, i když nebyly prokázány žádné vývojové změny na lidském embryu. Po první trimestru je již magnetické rezonance běžně indikovaná. Jedná se tedy pouze o relativní kontraindikaci.

Mezi další relativní kontraindikace patří vliv hluku, který přístroj vydává. Způsobuje ho posun gradientních cívek a hluk dosahuje až 65-95 dB. Aby se zamezilo nadměrnému hluku, používají se speciální sluchátka. Jelikož při vyšetření hlavy, by sluchátka narušovala vlastní vyšetření, používají se pouze ušní ucpávky. Pacienti trpící klaustrofobií mohou dostat analgosedace nebo mohou být vyšetřeni v celkové anestezii, ne vždy však na tohle přistoupí a vyšetření nemůžeme být provedeno (Vomáčka a kol., 2015, 56). Role radiologického asistent v tomto případě je uklidnit pacienta a vysvětlit mu průběh vyšetření.

ZÁVĚR

V bakalářské práci byly popsány jednotlivé zobrazovací metody kolenního kloubu. Každá diagnostická metoda byla rozpracovaná, byl popsán princip jejího fungování, složení přístroje a zaměření na určitou oblast kolenního kloubu. Dále zde byla uvedena práce radiologického asistenta při jednotlivých výkonech a případné kontraindikace nebo relativní kontraindikace.

Byly zvoleny dva cíle bakalářské práce a ty byly následně splněny. V popředí nejčastěji užívaných neinvazivních radiologických metod stojí rentgenové vyšetření kolenního kloubu. Jde o málo nákladné a velmi rychlé vyšetření. Ovšem limitující je, že lze zobrazit měkké tkáně jen v omezené míře. To platí i pro CT vyšetření. Výhody CT vyšetření oproti RTG spočívají v lepší detekci traumatu skeletu a přesnému zobrazení lomených linií. Mezi další výhody patří možná 3D rekonstrukci obrazu, avšak nevýhodou je vyšší radiační zátěž pro pacienta.

Nejpřesnější a nejuniverzálnější metou zůstává magnetická rezonance, přesto není nejčastěji využívána. Je vhodná jak k zobrazení měkkých tkání, tak i k hodnocení kostěných struktur. Díky ní, získáváme nejpřesnější anatomické zobrazení. Výhodou je, že tahle metoda nevyužívá ionizující záření, takže nezpůsobuje radiační zátěž pro pacienta. Nevýhodou je řada kontraindikací, vysoká cena a dlouhá čekací doba na vyšetření.

Měkké tkáně lze i dobře zobrazit za pomoci ultrasonografie. Nejčastěji se za pomoci ultrazvuku zobrazují ruptury šlach, ruptury svalů a kloubní výpotky. Velkou výhodou je opět to, že se nejedná o metodu, která využívá ionizující záření. Zároveň se jedná o velmi dostupné a rychlé vyšetření.

REFERNČNÍ SEZNAM

ČIHÁK, Radomír. Anatomie. Třetí, upravené a doplněné vydání. Praha: Grada, 2016. ISBN 978-80-247-3817-8.

VOMÁČKA, Jaroslav, NEKULA, Josef, KOZÁK, Jiří. Zobrazovací metody pro radiologické asistenty. Olomouc, 2015, 157 s. ISBN 978-80-244-4508-3.

TRNAVSKÝ, Karel a Vratislav RYBKA. Syndrom bolestivého kolena. Praha: Galén, 2006, 225 s. ISBN 80-7262-391-5.

ORT, Jaroslav, STRNAD, Sláva. Radiodiagnostika. II. část, Radiodiagnostika kostí - projekční část. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 1997, 124 s. ISBN 80-7013-240-X.

FRANEK, Martin, a TŘETINOVÁ, Daniela. Praktická skiografie I. 1. vyd. Ostrava:2009 239 s. ISBN 978-80-7368-667-3

MÖLLER, Torsten B. a Emil REIF. Pocket atlas of radiographic positioning: including positioning for conventional angiography, CT, and MRI. 2nd ed. New York: Thieme, c2009. ISBN 978-3-13-107442-3.

HEŘMAN, Miroslav. 2014. Základy radiologie. vyd. 1. Olomouc: Univerzita Palackého. 314 s. ISBN: 978-80-244-2901-4.

NEUWIRTH, Jiří, ŠPRINDRICH, Jan. Kompendium muskuloskeletálního zobrazování. Praha: NEUW, 2016, 485 s. ISBN 978-80-903322-9-4.

The Role of Ultrasound in Evaluation of Meniscal Injury. Egyptian Journal of Hospital Medicine [online]. 2018, 72(10), 5490-5494 [cit. 2020-01-19]. ISSN 16872002.

CHMELOVÁ, Jana, JONSZTA, Tomáš, GLACOVÁ, Hana, a CHMELA, Jiří. Základy ultrasonografie pro radiologické asistenty. 1. vyd. Ostrava: Ostravská Univerzita, 2006. 82s. ISBN: 80-7368-221-4.

NEKULA, Josef. *Klinická radiologie: skriptum*. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, 2014. ISBN 978-80-7464-564-8.

SEIDL, Zdeněk. *Radiologie pro studium i praxi*. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4108-6.

DUNGL, Pavel. *Ortopedie. 2., přeprac. a dopl. vyd.* Praha: Grada, 2014. ISBN 978-80-247-4357-8.

NEKULA, Josef a Jana CHMELOVÁ. *Základy zobrazování magnetickou rezonancí*. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, Zdravotně sociální fakulta, 2007. ISBN 978-80-7368-335-1.

PAUČEK, Boris, SMÉKAL, David, HOLIBKA, Radomír, ZAPLETALOVÁ, Jana. 2015. Význam magnetické rezonance pro diagnostiku přímých a nepřímých známek léze předního zkříženého vazů kolenního kloubu. *Česká radiologie*. Praha: Galén, 69(1), 67-74 s. ISSN: 1210-7883.

PAUČEK, Boris, SMÉKAL, David, a kol. 2015. Příčiny dysfunkce kolenního kloubu po plastice předního zkříženého vazů - diagnostika magnetickou rezonancí. *Česká radiologie*. Praha: Galén, 69(4), 278-284 s. ISSN: 1210-7883.

ŠPRLÁKOVÁ-PUKOVÁ, Andrea, VALIŠ, Petr, MECHL, Marek. 2017. Zobrazování hyalinní chrupavky pomocí magnetické rezonance. *Česká radiologie*. Praha: Galén. 71(4), s. 291-295. ISSN: 1210-7883.

ŠPRLÁKOVÁ-PUKOVÁ, Andrea, MECHL, Marek, KEŘKOVSKÝ, Miloš, UHER, Tomáš. 2007. Přímá MR artrografie. *Česká radiologie*. Praha: Galén. 61(1), s. 54-62. ISSN: 1210-7883.

FERDA, Jiří, Hynek MÍRKA, Jan BAXA a Alexander MALÁN. *Základy zobrazovacích metod*. Praha: Galén, [2015]. ISBN 978-80-7492-164-3.

MECHL, Marek, Jaroslav TINTĚRA a Jan ŽIŽKA. *Protokoly MR zobrazování*. Praha: Galén, c2014. ISBN 9788074921094.

SEZNAM ZKRATEK

CR-computed radiography

CT-výpočetní tomografie

DR-digital radiography

GAG-glykosaminoglykany

HU-Housfieldovi jednotky

LCA-ligamentum cruciatum anterior

LCP-ligamentum cruciatum posterior

MDCT-multidetektorová výpočetní tomografie

MR-magnetická rezonance

PACS-picture archiving and communication system

PET-pozitronová emisní tomografií

RA-revmatoidní artritida

RTG-rentgen

SE-Spin-echo sekvence

SPECT-jednofotonová emisní tomografie

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 – RTG snímek kolene, předožadní projekce

Příloha č. 2 – RTG snímek kolene, bočná projekce

Příloha č. 3 – RTG snímek kolene, axiální projekce na patelu

Příloha č. 4 – MR kolene, sagitální rovina, PDT2 sekvence (ruptura LCA)

Příloha č. 5 – MR kolene, sagitální rovina, PDT2 sekvence (ruptura menisku)

Příloha č. 6 – CT vyšetření kolene, sagitální rovina

Příloha č. 7 – CT vyšetření kolene, 3D rekonstrukce

Příloha č. 8 – CT vyšetření kolene, 3D rekonstrukce

Příloha č. 1 – RTG snímek kolene, předozadní projekce



Zdroj: Archiv FNOL

Příloha č. 2 – RTG snímek kolene, bočná projekce



Zdroj: Archiv FNOL

Příloha č. 3 – RTG snímek kolene, axiální projekce na patelu



Zdroj: Archiv FNOL

Příloha č. 4 – MR kolene, sagitální rovina, PDT2 sekvence (ruptura LCA)



Zdroj: Archiv FNOL

Příloha č. 5 – MR kolene, sagitální rovina, PDT2 sekvence (ruptura menisku)



Zdroj: Archiv FNOL

Příloha č. 6 – CT vyšetření kolene, sagitální rovina



Zdroj: Archiv FNOL

Příloha č. 7 – CT vyšetření kolene, 3D rekonstrukce



Zdroj: Archiv FNOL

Příloha č. 8 – CT vyšetření kolene, 3D rekonstrukce



Zdroj: Archiv FNOL