

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH VĚD

Ústav radiologických metod

Eliška Buchtová

Zobrazovací metody kolenního kloubu

Bakalářská práce

Vedoucí práce: MUDr. Vojtěch Prášil

Olomouc 2017

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

Olomouc 30. dubna 2017

podpis

Mé poděkování patří MUDr. Vojtěchu Prášilovi za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích této práce.

ANOTACE

Typ závěrečné práce: Bakalářská práce

Téma práce: Zobrazování muskuloskeletálního systému

Název práce: Zobrazovací metody kolenního kloubu

Název práce v AJ: Imaging of the knee joint

Datum zadání: 2017 - 01 - 31

Datum odevzdání: 2017 - 04 - 30

Vysoká škola, fakulta, ústav: Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta zdravotnických věd

Ústav radiologických metod

Autor práce: Buchtová Eliška

Vedoucí práce: MUDr. Vojtěch Prášil

Oponent práce: MUDr. Jan Hrbek

Abstrakt v ČJ: Bakalářská práce je zaměřena na přehled neinvazivních zobrazovacích metod kolenního kloubu. Práce obsahuje přehled zobrazování pomocí rentgenu, počítačové tomografie, ultrasonografie a magnetické rezonance. Cílem bylo předložit aktuální informace o zobrazování kolene pomocí ionizujícího záření, ultrasonografie a magnetické rezonance. Z dohledaných informací vyplývá, že v popředí stojí stále zobrazování kolene pomocí rentgenu. Největší limitací zobrazování pomocí ionizujícího záření je neschopnost zobrazit měkkotkáňový systém. Nejvšestrannější zobrazovací metodou je magnetická rezonance, která umožňuje zobrazení jak měkkých tkání kolene, tak jeho kostěné struktury.

Abstrakt v AJ: The focus of this thesis is to provide an overview of non - invasive methods of imaging of the knee joint. The methods addressed in this work include X-ray imaging, computed tomography, ultrasonography, and MRI/magnetic resonance imaging. The aim was to use these methods to present current information concerning knee joint imaging. Considering the accessed information, it can be assumed that the X-ray method continues to be the most prevalent. Furthermore, the biggest limitation while using ionizing radiation proved to be the lack of visual access to soft tissue. The information also indicates that MRI can be considered the most versatile imaging method, since it offers overview of both soft and skeletal tissue.

Klíčová slova v ČJ: kolenní kloub, zobrazovací metody, rentgen, CT, ultrasonografie, MR

Klíčová slova v AJ: knee joint, imaging methods, x – ray, CT, ultrasonography, MRI

Rozsah: 42 stran / 12 příloh

Obsah

Úvod	7
Popis rešeršní strategie	9
1 Rentgenové vyšetření kolenního kloubu	10
1. 1 Projekce kolene a česky	12
1. 2 Arthrografie kolene	15
2 Výpočetní tomografie (CT) kolenního kloubu	17
3 Ultrasonografie kolenního kloubu.....	19
3. 1 Ultrasonografické vyšetření měkkotkáňových struktur a chrupavky ..	21
4 Magnetická rezonance kolenního kloubu	24
4. 1 MR arthrografie a schéma MR vyšetření kolene.....	25
4. 2 MR vyšetření menisků, chrupavky a subchondrální dřene	26
4. 3 MR vyšetření kolenních vazů.....	29
Závěr.....	32
Referenční seznam.....	33
Seznam zkratk	35
Seznam příloh.....	36

Úvod

Koleno je nejkomplikovanějším kloubem v lidském těle a je tvořeno artikulujícími kostmi, menisky, kloubním pouzdem, svaly a vazy. Kloub umožňuje šest pohybů – tři rotační a tři translační (Dungl a kol., 2005, s. 953). Kolenní kloub je zároveň také největším kloubem a je při pohybu vystaven velkému zatížení, a proto je tu riziko traumatu nebo postupného opotřebování. Koleno také často bývá vystaveno systémovým kloubním onemocněním, ale i jeho izolovaná postižení patří k jedněm z největších problémů diferenciální diagnostiky ortopedie a revmatologie (Trnavský, Rybka a kol., 2006, s. 13).

V souvislosti s tímto je možné položit si otázku: „Jaké jsou nejnovější poznatky o zobrazovacích metodách použitelných pro zobrazení jak kostních, tak měkkých tkání kolenního kloubu?“

Cílem bakalářské práce bylo sumarizovat aktuální publikované informace týkající se problematiky zobrazování kolenního kloubu. Cíl práce byl specifikován do dílčích cílů:

Cíl 1: Předložit aktuální poznatky o zobrazení kolenního kloubu pomocí ionizujícího záření.

Cíl 2: Předložit aktuální poznatky o zobrazení kolenního kloubu pomocí ultrasonografie a magnetické rezonance.

K sepsání bakalářské práce byla použita tato vstupní literatura:

VOMÁČKA, Jaroslav a kol. 2015. *Zobrazovací metody pro radiologické asistenty*. vyd. 2. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 157 s. ISBN 978-80-244-4508-3.

ŽIŽKA, Jan — VÁLEK, Vlastimil. 1996. *Moderní diagnostické metody. III. díl, Magnetická rezonance*. vyd. 1. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví. 43 s. ISBN 80-7013-225-6.

ROZKYDAL, Zbyněk — CHALOUPKA, Richard. 2012 *Vyšetřovací metody v ortopedii*. vyd. 2. Brno: Masarykova univerzita. 70 s. ISBN 978-80-210-5902-3.

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

ČIHÁK, Radomír. 2011 – 2016. *Anatomie*. vyd. 3.. Praha: Grada. 5 svazků.
ISBN 978-80-247-3817-8.

Popis rešeršní strategie

V rámci rešeršní činnosti byly podklady pro tvorbu bakalářské práce vyhledávány v databázi Medvik. Byla zadána klíčová slova: dolní končetina a rentgenové vyšetření (dva články), kolenní kloub a magnetická rezonance (tři články), koleno (padesát jedna článků). Tyto výsledky byly vygenerovány pod omezením filtrů: zaměření - lidé, rok vydání 2012 – 2017, typ dokumentu - recenzované články, jazyk - čeština. Rešerše byla doplněna o hledání v katalozích Vědecké knihovny, Knihovny Lékařské fakulty UP a v archivu časopisu Česká radiologie. Pro přehled publikovaných poznatků bylo použito pět odborných článků, jeden národní radiologický standard a devět monografií.

1 Rentgenové vyšetření kolenního kloubu

Vyšetření skeletu pomocí rentgenu je standardním zobrazovacím a diagnostickým postupem (Vyhnánek a kol., 1998, s. 15). Prosté snímky jsou ve většině případů prvním vyšetřením, které je levné a široce dostupné. Vyšetření umožňuje diagnostikovat degenerativní, zánětlivé a traumatické muskuloskeletální změny. Nevýhodou této metody je sumační charakter snímků a u degenerativních či zánětlivých změn zpoždění RTG nálezu za klinickými projevy.

Rentgenové vlnění je definováno jako elektromagnetické vlnění o velmi krátké vlnové délce, v radiodiagnostice se jedná o vlnové délky 10^{-9} - 10^{-11} m. Zdrojem rentgenového záření v radiologii je rentgenka. Toto záření vzniká důsledkem prudkého zbrzdění elektronů letících vysokou rychlostí v hmotě o vysokém protonovém čísle – např. wolfram. Při zhotovování snímků prochází rentgenové záření vyšetřovanou oblastí, kde se rozptyluje a absorbuje. Míra rozptylu závisí na složení vyšetřované tkáně.

Pro zhotovení digitálních snímků mohou být uplatněny dva principy: výpočetní radiografie a přímá digitální radiografie (Heřman a kol., 2014, s. 11, 14, 82).

Základem výpočetní radiografie je paměťová folie, která má rozměr běžné rentgenové kazety (Vomáčka, Nekula, Kozák, 2012, s. 33). Rentgenové záření, které prošlo ozářeným objektem je zachyceno na fólii, na kterou byla nanесena citlivá vrstva sloučeniny fosforu. Míra stimulace této vrstvy je ovlivněna množstvím dopadajícího záření. Skenováním fólie laserem v tzv. digitizéru je získána obrazová informace, která je převedena do digitální podoby. Doba celého procesu, od expozice po první zobrazení snímku, se pohybuje v rozmezí 0,5 až 2 minut.

Digitální radiografie využívá principu převodu dopadajícího rentgenového záření na digitální elektrický signál (Heřman a kol., 2014, s. 14). Převod rentgenového záření na elektrický signál umožňují fotodiody (Vomáčka, Nakula, Kozák, 2012, s. 34). K převodu na elektrický proud dochází přímo v detektoru. Získávání obrazové informace tímto principem znamená úsporu času – zobrazení snímku trvá několik vteřin (Heřman a kol., 2014, s. 14).

Digitální skiografie je pro vyšetření skeletu vhodná z pohledu šíře expozice. Značná expoziční šíře dovoluje snížit zátěž diagnostickým zářením bez absence důležitých informací. Umožňuje měnit stupnice šedi, denzity a kontrastu (Vyhnánek a kol., 1998, s. 16).

Efektivní dávka při snímkování končetin a kloubů (vyjma kyčelního kloubu) nepřesahuje hodnotu 0,01 mSv. Pro porovnání se uvádí, že člověk průměrně získá z přírodního pozadí efektivní dávku 2,2 mSv za rok (Vomáčka, Nekula, Kozák, 2012, s. 14).

Napětí na rentgence se při snímkování kolenního kloubu a pately pohybuje v rozmezí 45 – 65 kV (Chudáček, 1993, s. 207).

Změny struktur kostí:

1. Osteoskleróza (hypertrofická přeměna kostní tkáně) se současně sníženou kostní transparentí s převahou kostní novotvorby. (Dungl a kol., 2005, s. 67)
Projev: celkové zastínění kosti.
2. Osteopenie difúzní – kvantitativní úbytek kostní tkáně (převaha odbourávání nad novotvorbou kosti) (Heřman a kol., 2014, s. 83).
 - a) Osteoporóza (atrofie kosti) je úbytek fyziologicky mineralizované kostní tkáně (Dungl a kol., 2005, s. 67). Na snímku je tato patologie rozpoznatelná až při úbytku o 40 – 50 % kostní tkáně (Heřman a kol., 2014, s. 83).
 - b) Osteomalacie se projevuje nedostatečným mineralizováním kostí se zvýšenou tvorbou kostní dřene (Dungl a kol., 2005, s. 67). Na snímku nález setřelé kostní struktury vzhledu mléčného skla s neostrými kostními trámci (Heřman a kol., 2014, s. 84).
Projev: celkové projasnění skeletu.

Změny tvaru kostí:

1. Změny vzniklé vývojovou poruchou. Řadí se sem dysplazie (disproporční vývojové poruchy chrupavek a kostí), dysostózy (jen některé kosti či jejich části – ageneze, hypo a hyperplasie, aplasie), variety (bez klinických potíží), anomálie (působí potíže).
2. Změny zapříčiněné chorobou (Dungl a kol., 2005, s. 67)

Náhlym překročením prahu tolerance mechanické odolnosti vzniká fraktura kosti či luxace kloubu. Opakované a zároveň podprahové násilí vede v některých případech k tzv. únavové zlomenině.

Při posuzování patologie kosti či kloubu vyhodnocujeme:

- a) Anatomickou lokalizaci
- b) Délku, tvar a šíři kostí

- c) Strukturu kostní tkáně – fyziologicky má být kontura kosti ostrá, hladká, pravidelná, bez přerušení kontinuity. Hledáme osteolýzu a osteoplazii kosti (difuzní, ložiskovou) a fraktury.
 - d) Nález periostální reakce – v případě nálezu posuzujeme rozsah, vzhled a charakter
 - e) Kloubní štěrbinu – fyziologicky by měly být kloubní plochy hladké, posuzujeme zúžení nebo rozšíření štěrbiny.
 - f) Měkké tkáně – posuzujeme přítomnost otoku, cizího tělesa či kalcifikace.
- (Heřman a kol., 2014, s. 87)

Základním předpokladem pro správnou diagnostiku patologie vyšetřované oblasti je její jasné, strukturální a přesné zobrazení ve dvou rovinách, které jsou na sebe kolmé (Dungl a kol., 2005, s. 67). Rentgenovým vyšetřením lze jasně rozpoznat a určit stupeň degenerativní artrózy. Dále je možné diagnostikovat osteochondrální defekty a další skeletální poranění. Na snímcích prováděných na dlouhou kazetu dokazujeme změnu kloubní osy. Drženými snímky lze diagnostikovat traumata vazů. Speciálními projekcemi zaměřenými na patelu ověřujeme její tvar a pozici (Trč, 2008, s. 920).

1. 1 Projekce kolene a čéšky

Základní projekce kolene

Nativní RTG snímek kolene je základním vyšetřením femorotibiálního skloubení. Snímek se provádí s využitím kolmého paprsku ve dvou na sebe kolmých projekcích (Trnavský, Rybka a kol., 2006, s. 29).

Předozadní (ventrodorzální) projekce

Pacient je usazen na vyšetřovací stůl a opírá se o horní končetiny, vyšetřovaná končetina je natažena na stole. Pod vyšetřovanou končetinu umístíme na výšku kazetu o rozměrech 18 x 24 cm. Centrální paprsek směřuje asi 2 cm pod hrot pately a stranu vyšetřované končetiny označíme normálně uloženým písmenem (Chudáček, 1993, s. 207).

Projekci je možné provést i vleže na zádech, kdy je vhodné pro mírný dorzální sklon štěrbiny kloubu podložit končetinu pod kolenem tak, aby úhel ohnutí byl asi 170° (Trnavský, Rybka a kol., 2006, s. 29).

Na standardně provedeném předozadním snímku (příloha č. 1) lze diagnostikovat subluxace česky, femorotibiální odchylky, zlomeniny a přítomnost volných kostních úlomků. Dále hodnotíme tvar a strukturu česky, u srovnávacích snímků (stejná poloha pacienta, paprsek směřuje mezi dolní okraje patel, na snímku zachycená obě kolena) porovnáváme tvar kondylů kosti stehenní (Jasná, Kozák, 2015, s. 25).

Bočná (tibiofibulární) projekce

Pacient je uložen na bok na fibulární stranu vyšetřované končetiny. Končetina leží na stole ve flexi v kyčli a koleni (Chudáček, 1993, s. 208). Nevyšetřovaná končetina je přehozená přes vyšetřovanou končetinu směrem dopředu, dojde tak k zatížení snímkové končetiny (Jasná, Kozák, 2015, s. 25). Pod koleno umístíme kazetu o velikosti 18 x 24 cm. Centrální paprsek směřuje do středu kloubu asi 2 cm pod hrot pately. Stranu vyšetřované končetiny označíme zrcadlově uloženým písmenem.

Na standardně zhotoveném snímku (příloha č. 2) je patrná patela, fibula, kondylus femuru a tibie (Chudáček, 1993, s. 208). Z bočního snímku lze rozpoznat subchondrální sklerózu, artrotické změny a kalcifikace v čtyřhlavém svalu, burzách a českových šlachách (Jasná, Kozák, 2015, s. 25).

Speciální projekce kolene

Předozadní (ventrodorzální) projekce v zátěži

Pacient je postaven zády k vertigrafu. Horizontálním paprskem směřujeme pod dolní okraj pately. Snímek v zátěži (příloha č. 3) slouží k lepšímu posouzení mediálních a laterálních kloubních prostor, které se při onemocnění chrupavky zužují (zúžení se projeví lépe vestoje v zátěži, než vleže). Další výhodou je snazší posouzení valgozity a varozity kolene (Jasná, Kozák, 2015, s. 25).

Dlouhé snímky na mechanickou osu dolní končetiny

Pacient stojí na schodku zády ke dlouhé kazetě či stojanu, který je zcentrován s vertigrafem. Ohnisková vzdálenost je 2 m (na snímek musí být zachyceny jak trochantery, tak hlezno). Dlouhé snímky (příloha č. 4) slouží k posouzení změny zakřivení osy kolene a dysplazie epifýz a diafýz. Dále slouží jako kontrola po endoprotézách a korekčních osteotomiích (Jasná, Kozák, 2015, s. 27).

Předozadní (ventrodorzální) projekce v semiflexi

Poloha pacienta je vleže na zádech s mírně flektovaným vyšetřovaným kolenem, pod které vložíme podkolenní klín. Vyšetřovaná dolní končetina je mírně rotována tak, že pata směřuje ven a palec nohy do středu. Rozměry kazety jsou 18 x 24 cm, kdy se střed kazety nachází při dolním okraji pately. Centrální paprsek centrujeme na dolní okraj pately, popřípadě centrální paprsek skloníme mírně proximálně (úhel asi 70°).

Na standardně provedeném snímku se nesmí překrývat kloubní plochy tibie a femuru. Na snímku provedeném v této projekci hodnotíme fossu intercondylaris a eminentiu intercondylaris tibie (Svoboda, 1976, s. 267 - 268).

Držené snímky v abdukci a addukci

Pacient leží na zádech nebo sedí s nataženými dolními končetinami. Distální bérec vyšetřované končetiny je fibulárně a tibiálně tažen fixačním pásem (tažení provádí traumatolog nebo ortoped). Centrálním paprskem směřujeme kolmo na dolní okraj česky. Dochází k rozšíření tibiální a poté fibulární kloubní štěrbiny.

Tyto snímky jsou zhotovovány nejčastěji při traumatech s podezřením na rupturu vazů nebo kloubního pouzdra (Jasná, Kozák, 2015, s. 26).

Zadopřední (dorzoventrální) srovnávací projekce

Pacient je uložen na břicho s nataženými dolními končetinami. Použijeme kazetu s rozměrem 24 x 30 cm, kterou vložíme pod obě kolena. Centrální paprsek směřujeme mezi dolní okraje česek a stranové označení umístíme zrcadlově.

Na snímku musí být zachyceny symetrické kloubní štěrbiny, dolní konce stehenních kostí a proximální části tibie a fibuly. Projekce je cílená na posouzení fossy intercondylaris femoris (Svoboda, 1976, s. 269 - 270).

Projekce česky

Bočná projekce

Pacient leží ve stejné poloze, jako u bočné tibiofibulární projekce. Střed kazety je ale pod patelou a rozměr kazety je 13 x 18 cm. Patela by měla směřovat kolmo na kazetu a centrální paprsek centrujeme na vnitřní okraj česky. Stranové označení pokládáme na kazetu zrcadlově (Chudáček, 1993, s. 209).

Zadopřední projekce

Pacienta uložíme na břicho tak, aby vyšetřovaná končetina byla v mírné flexi (ke zlepšení stability vsuneme pod kotník klín). Centrujeme kolmo pod dolní okraj

pately. Snímek lze provést i jako srovnávací. V tom případě centrujeme mezi dolní okraje patel.

Na standardně provedeném snímku vidíme kloubní štěrbinu, distální konec kosti stehenní a proximální konec bérce (Jasná, Kozák, 2015, s. 27).

Axiální projekce

Pacienta uložíme na vyšetřovací stůl na břicho a vyšetřovanou končetinu co nejvíce ohneme v koleni. K lepšímu ohnutí si pacient pomáhá přidržováním bérce rukou či popruhem. Pokud pacient nedokáže dostatečně přitáhnout bérce, skloníme paprsek tak, aby byl v ose česky (Jasná, Kozák, 2015, s. 27). Patela by měla při ideálním ohnutí končetiny probíhat kolmo na střed kazety. Rozměry kazety jsou stejné jako u předchozích projekcí česky. Centrálním paprskem směřujeme na plochu kloubu pately a stranové označení pokládáme na kazetu zrcadlově.

Na snímku (příloha č. 5) musí být patrná patela, condylus lateralis a medialis femoris a hlavně kloubní štěrbina (Chudáček, 1993, s. 210 - 211). Kloubní plocha česky musí být dostatečně oddálena od stehenní kosti (Svoboda, 1976, s. 274).

Axiální projekce – distoproximální, proximodistální

U distoproximální projekce leží pacient na zádech, vyšetřovanou končetinu skrčenou do maximální flexe. Pacient přidržuje kazetu o rozměru 13 x 18 cm na dolní polovině stehna tak, aby byla plocha filmu ve vertikální poloze. Centraci provádíme kolmo na střed kazety na dolní okraj pately.

U proximodistální projekce je poloha pacienta vleže na patách (tím dosáhneme co nejlepší flexe). Kazetu umístíme pod vyšetřované koleno a centrujeme v ose pately (asi 50° od vertikální osy). Na snímku standardně provedené proximodistální projekce vidíme: patelu, basis patelae, apex patelae, femur, condylus tibialis femoris a caput fibulae (Svoboda, 1993, s. 274 - 276).

1. 2 Artrografie kolene

Artrografie je skiagrafickou metodou zobrazující kloub, do jehož kloubní štěrbiny byla vpravena jodová kontrastní látka (Heřman a kol., 2014, s. 83). Indikací k této zobrazovací metodě je podezření na nádorové změny a poškození měkkých tkání či menisků traumatického původu (Vyhnánek a kol., 1998, s. 17).

U artrografie kolenního kloubu posuzujeme vzhled menisků, postranních a zkřížených vazů. Eventuálně hodnotíme přítomnost Bakerovy pseudocysty. Únik

kontrastní látky do oblasti vazů či menisku znamená lézi. Únik kontrastní látky do okolí kloubu svědčí pro rupturu kloubního pouzdra (Dungl a kol., 2005, s. 80).

Pomůcky nutné k provedení artrografie kolene: stolek pro instrumentárium pokrytý sterilní rouškou, jehly, stříkačky, buničina. Dále nesterilně: dezinfekce, anestetikum, kontrastní látka a obinadlo.

Kloub punktuje lékař za asistence laboranta, který také vyšetřovanou oblast centruje a exponuje. Lékař do kloubu aplikuje 6 – 10 ml jodové kontrastní látky a 10 – 15 ml vzduchu (Chudáček, 1993, s. 366 - 367). Nejčastěji používané kontrastní látky jsou nízkoosmolární iohexol a iopamidol (Neuwirth, Šprindrich, 2016, s. 17). Poté se obinadlem stlačí oblast nad patelou a méně silně zbývající část kolene, čímž zabráníme úniku kontrastní látky do suprapatelární oblasti. Vyšetřovanou končetinou ohýbáme tak, aby došlo k rozptýlení kontrastní látky a vzduchu po povrchu kloubu. Vyšetřovaný kloub snímujeme v PA projekci (poloha na břicho), v boční projekci, v zevní a vnitřní rotaci, méně často v abdukci a addukci bérce (Chudáček, 1993, s. 367).

Rentgenová artrografie je dnes již nahrazována MR a CT artrografií. Kontrastní látka je aplikována do kloubní štěrbiny a kolenní kloub je následně vyšetřen magnetickou rezonancí nebo pomocí výpočetní tomografie (Heřman a kol., 2014, s. 83). Artrografie je na ústupu kvůli tomu, že je výtěžnost vyšetření nízká (zachycení poškození menisku nebo chrupavky) a zároveň je i malá reprodukovatelnost, přičemž invazivita tohoto vyšetření je téměř stejná jako při artroskopii (Trč, 2008, s. 920).

2 Výpočetní tomografie (CT) kolenního kloubu

Výpočetní tomografie je zobrazovací metoda využívající rentgenového záření. Princip metody zobrazování spočívá v zeslabování svazku RTG záření v závislosti na hustotě vyšetřovaného objektu. Průchod RTG záření je digitálně zpracováván ve více průmětech vyšetřované vrstvy. Šířka vrstev neboli skenů, se pohybuje v rozmezí 0,5 – 5 mm (Heřman a kol., 2014, s. 21).

CT přístroj je obvykle vybaven detektory, které jsou uspořádány v řadě, a rentgenkou. Nejrozšířenější je přístroj s 16 – 64 datovými stopami, méně často se můžeme setkat s přístroji o 4 – 320 detektorech (Vomáčka, Nekula, Kozák, 2012, s. 43). Rentgenka a detektory jsou zabudovány v gantry. V otvoru v gantry je uložen pacient. Při expozici dochází k rotaci rentgenky kolem vyšetřovaného objektu. Odlišně absorbované záření, které prošlo objektem, dopadá na detektory. Tato data jsou převedena do digitální podoby a matematicky zpracována a převedena do viditelného obrazu (Dungl a kol., 2005, s. 68). Obraz je složen z matice pixelů v počtu 512 x 512. Vypočítaná míra oslabení záření v jednotlivých oblastech snímané vrstvy se nazývá denzita. Jednotkou denzity je Hounsfieldova jednotka (HU). Stupnice denzity má šíři 4096 HU v rozmezí -1000 až +3096 HU, kdy 0 HU odpovídá denzitě destilované vody, -1000 HU pro vzduch a >90 HU pro kosti a kalcifikace. Ve vzniklých obrazech určitá hodnota denzity odpovídá určitému stupni šedi. Protože je lidské oko schopno rozlišit maximálně 60 odstínů šedé, je prohlížení obrazů v různých oknech, ve kterých si zvolíme jen určitou škálu denzity (Heřman a kol., 2014, s. 22).

Vyšetření kolenního kloubu provádíme nativně u traumatologických a ortopedických indikací, nebo s podáním kontrastní látky intraartikulárně (Věstník Ministerstva zdravotnictví České republiky, 2016, s. 29). CT vyšetření je vhodné pro diagnostiku patologií v kostech, zvláště k určení jejich lokalizace. Jedná se o intraartikulární fraktury a změny, které se nachází v intraoseálním prostoru. Tímto vyšetřením lze také dobře kontrolovat postavení implantátů (Trč, 2008, s. 920).

Výpočetní tomografie se užívá jako nadstavbová metoda v zobrazování muskuloskeletálního systému. V předoperační diagnostice se využívá postprocessingových možností 3D zobrazování (příloha č. 9) právě pro oblasti kolenního kloubu (Vomáčka, Nekula, Kozák, 2012, s. 80).

Nativní CT

Pacienta uložíme na vyšetřovací stůl na záda. Instruuje pacienta, aby se nehýbal (Ministerstvo zdravotnictví, 2016, s. 29). Nejprve zhotovíme snímek vyšetřované oblasti – topogram, při kterém detektory ani rentgenka nerotují a pacient pouze projede otvorem gantry. Na získaném topogramu naplánujeme přesný rozsah vyšetření (Heřman a kol., 2014, s. 23). Topogram zhotovujeme předozadní, v některých případech i boční.

Napětí na rentgence je 100 – 120 kV. Tloušťka rekonstruovaných vrstev je v kostním okně 0,75 – 1 mm, u měkkotkáňového okna 3 mm. Rekonstrukce v kostním okně provádíme ve třech rovinách – koronální (příloha č. 6), sagitální (příloha č. 7), transverzální (příloha č. 8). Měkkotkáňové okno rekonstruujeme alespoň v transverzální rovině (Ministerstvo zdravotnictví, 2016, s. 29).

CT artrografie

Při CT artrografii podáváme 20 – 30 ml kontrastní látky intraartikulárně, velikost jehly je 21 G a délka jehly 50 mm. U dvojkontrastního vyšetření podáváme 4 ml jodové KL a 40 ml vzduchu. Podávaná kontrastní látka je ředěný roztok 100 – 150 mg jodu na 100 ml vody (Neuwirth, Šprindrich, 2016, s. 17).

Rychlost aplikace kontrastní látky je pomalá a aplikuje se manuálně pod ultrazvukovou nebo skiaskopickou kontrolou. Samotné CT vyšetření musí proběhnout do dvaceti minut od aplikace kontrastní látky.

Protože je aplikována kontrastní látka, je doporučováno, aby byl pacient nalačno. V případě pozitivní alergologické anamnézy by měl být pacient premedikován.

Rekonstrukce provádíme ve stejných rovinách jako u nativního vyšetření. U CT artrografie jsou navíc rekonstruovány vrstvy o tloušťce 1 mm (Ministerstvo zdravotnictví, 2016, s. 29).

Při CT artrografii hodnotíme v axiální rovině femoropatelní kloubní oddíl, v sagitální a koronální rovině chrupavčitou plochu česky a oba kondyly kosti stehenní. Při užití metody dvojkontrastní artrografie je možné v sagitální rovině posuzovat zviditelnění trhliny laterálního nebo mediálního retikula česky. Tato ruptura může být často doprovázena umístěním česky subluxačně (Neuwirth, Šprindrich, 2016, s. 126).

3 Ultrasonografie kolenního kloubu

Ultrasonografie je vyšetřením první volby v případě, kdy je potřeba zobrazit měkké tkáně. Využití tato metoda nachází v traumatologii, kde se jedná o ruptury šlach a svalů, ale i u hmatných rezistencí netraumatologického původu. Pomocí ultrasonografie dokážeme také velmi dobře zobrazit hematomy, cysty a ganglia (Heřman a kol., 2014, s. 82).

Ultrasonografie je metoda, která zobrazuje vyšetřované místo pomocí odrazů ultrazvukových vln od rozhraní tkání, které mají rozdílný akustický odpor. Při průchodu tkání se mechanické vlnění o frekvenci 2 – 20 MHz odráží, ale také absorbuje a rozptyluje se. Platí pravidlo, že čím větší je rozdíl v hustotě prostředí, tím větší je intenzita odrazu (Heřman a kol., 2014, s. 17).

Zdrojem podélných mechanicko – elastických kmitů je piezoelektrický krystal (bariumtitanát, niobát olova), na jehož povrchu při jeho stlačení vznikne elektrický potenciál. Při vzniku elektrického potenciálu se povrch krystalu deformuje a po ukončení působení elektrického proudu se rozkmitá. Cca 0,5% času jsou kmity vysílány do vyšetřované části a asi 99 % času jsou zaznamenávány ultrazvukové odrazy. Existují dva ultrazvukové vyšetřovací postupy – dopplerovská ultrasonografie a zobrazování v reálném čase (Vomáčka, Kozák, Nekula, 2012, s. 38).

Nejčastějším mode pro ultrazvukové zobrazování je tzv. B – mode (brightness mode). Principem zobrazení je přiřazení určitého stupně šedi k dané intenzitě odrazu. Při vysoké intenzitě odrazu (hyperechogenitě) se tkáň zobrazuje světlejšími odstíny – např. játra se steatózou, cirhózou nebo fibrózou, hematom. Při nízké intenzitě odrazu nazýváme tkáň hypoechogenní (tmavší šedá) – parenchym ledvin, uzliny, obsah abscesu. Tekutiny (krev, moč, žluč apod.) se vyznačují anechogenitou, což znamená, že se zobrazí výrazně tmavou barvou. Naopak kost či kalcifikace mají výrazně silnou echogenitu a způsobují na obraze akustický stín (Heřman a kol., 2014, s. 18 - 19).

Samotný ultrasonografický přístroj se skládá ze samostatné elektronické jednotky, monitoru a vyšetřovacích sond. Sondy, které obsahují piezokrystaly, mohou být sektorové, konvexní nebo lineární (Vomáčka, Nekula, Kozák, 2012, s. 39).

V případě vyšetření kolenního kloubu máme omezené možnosti, zvláště v místech ultrazvukového zastínění kostní tkáně. Ultrazvukem je možné zachytit zvýšenou kloubní náplň, burzy, ganglia či naplněné cysty (zobrazí se černě). Dále zobrazíme povrchy kostí (na obraze jako bílé linie, které vytvářejí ultrazvukový stín) –

osteofyty, stav chrupavky a kosti pod chrupavkou, fraktury. Také měkké tkáně kolene různé echogenity jako jsou: menisky, vazivový aparát a přilehlé svaly.

Při vyšetření používáme jak lineární, tak sektorové sondy. Lineární sondu s frekvencí vyšší než 7,5 MHz vyšetřujeme povrchové struktury, v případě potřeby proniknout do kloubu volíme sektorovou sondu, jejíž úzký svazek proniká štěrbinou kloubu, diverguje a tím zobrazí vyšetřovanou oblast lépe než sonda lineární. Při nutnosti odlišit jemné změny na menisku je třeba volit vyšší frekvence (tím i vyšší rozlišovací schopnost) – nad 10 MHz. K vyšetření prokrvení užíváme dopplerovské techniky, která poskytuje informace o rychlosti a směru proudění krevních elementů. Současným trendem je 3D ultrasonografické zobrazování, které pracuje se zachycováním objemové informace (Trnavský, Rybka a kol., 2006, s. 51 - 52).

3D prostorové multiplanární zobrazení využívá k rekonstrukci obrazu tzv. volume rendering metodu. Jedná se o rozšíření rekonstrukčních metod používaných pro jednu rovinu o zvláštní imageprocessingové postupy. Tyto postupy jsou využity v ROI (region of interest) - oblasti užšího zájmu zároveň s načtenými 3D objemovými daty. Tato data získáváme buď speciální 3D sondou, která objemová data přímo načítá, nebo klasickými sondami, které musí být doplněny o zařízení, které snímá směr jednotlivých řezů ve vyšetřované oblasti. Při použití 3D sondy můžeme ve 3D pracovat v reálném čase (dochází k okamžitému načtení prostorových dat). V tomto případě je čas čtvrtou dimenzí, proto takové vyšetření nazýváme 4D (Trnavský, Rybka a kol., 2006, s. 69 - 73).

V postprocessingu je možné využít modu povrchového nebo transparentního. Povrchový modus zesiluje akustické rozhraní a tím usnadňuje ohraničení vyšetřovaných vrstev. To napomáhá modelaci a prostorovým rekonstrukcím vyšetřovaných oblastí. Transparentní modus je vhodný pro zobrazování tkání, které nemají příliš rozdílné akustické rozhraní (měkké tkáně).

V případě doplnění 3D zobrazení dopplerovskou metodou je možné přesnější posouzení vztahu patologie struktury a jejího prokrvení.

Kloub kolene vyšetřujeme vleže na zádech v řezech bočních, předních podélných infra- a suprapatelárních. Tyto řezy mohou být doplněny o transverzální řezy, dynamickým vyšetřením pasivních pohybů a vyšetřením kloubní štěrbiny. V případě vyšetření popliteální jámy ukládáme pacienta na břicho.

3. 1 Ultrasonografické vyšetření měkkotkáňových struktur a chrupavky

Náplň kolenního kloubu

Lze prokázat už od objemu 5 ml nejen suprapatelárně, ale i laterálně či mediálně od česky. Na dorzální straně kolene lze prokázat náplň při nálezů odtlačené popliteální tepny od kosti tibie.

Bakerova pseudocysta

Bakerova pseudocysta se projevuje nefyziologickou komunikací mezi kloubem a jeho vedlejšími prostory (v popliteální jámě - nejčastěji se semimembranózní burzou). Tím může dojít ventilovým mechanismem k naplnění paraartikulárních prostor kloubní tekutinou. Tyto útvary jsou označovány jako Bakerova pseudocysta. Z důvodu stagnace tekutiny v burze dochází k její kondenzaci, ke kalcifikacím a případně ke tvorbě volných tělísek. Pomocí ultrazvukového vyšetření jsou pseudocysty dobře vizualizovatelné díky své nízké echogenitě, jelikož obsah pseudocysty dobře kontrastuje s okolním prostředím. Nevýhodou mohou být artefakty vzniklé odrazem ech od stěn (Trnavský, Rybka a kol., 2006, s. 52 - 53).

Burzy

Burzy jsou synoviální váčky, které produkují synoviální tekutinu. Nachází se v místech setkání kůže, šlachy a svalu s prominentní kostní plochou. Tekutina chrání tyto tkáně před tlakem. Nejčastější postižení nalézáme u burzy prepatelární a infrapatelární (Dunl, 2005, s. 997). Poúrazově bývá nejčastěji poškozena prepatelární burza, která obsahuje krev a poté i výpotek. V případě přítomnosti palpačně pevného útvaru lze díky ultrazvuku posoudit, zda se jedná o vychlípeninu cysty nebo o vápenaté volné tělísko. Burzy mají nepravidelný tvar a mají nízkou echogenitu, v případě krevní náplně se však echogenita zvyšuje (Trnavský, Rybka a kol., 2006, s. 55).

Menisky

K vyšetření menisků užíváme frekvence vyšší než 7,5 MHz vysílané sektorovou sondou. Vyšetření zahajujeme s polohou pacienta vleže na zádech s pokrčeným kolenem do pravého úhlu, kdy nejlépe zobrazíme přední roh menisku. Pro vyšetření pars intermedia uložíme pacienta na bok s pokrčeným kolenem v úhlu asi 25°.

Pro posouzení zadního rohu je nutné uložit pacienta na břicho. Sonda by měla být vedena paralelně s osou končetiny.

Na fyziologickém obrazu menisků je patrný homogenně šedý trojúhelník, který je proximálně orámován chrupavkou kosti stehenní, pod kterou vidíme kostěné echo kloubního konce femuru. Distálně pak meniskus naléhá na echogenní okraj tibiálního platu.

Patologie degenerativního směru menisků se na obraze projeví v nehomogenní struktuře jako obláčkovitě zvýšená echogenita. Ruptura menisku je na rozdíl od degenerativních změn jasně ohraničená od okolí a na obraze je viditelná jako syté čárkovité echo, které prochází napříč meniskem.

Ultrasonografické vyšetření menisků se považuje za výhradně pomocné a doplňující vyšetření. Důvodem je četnost falešně pozitivních nálezů, které vznikly v důsledku četných artefaktů, a také množství falešně negativních nálezů vzniklých nezobrazitelnými drobnými rupturami v hůře ultrasonograficky přístupných částech menisku (Trnavský, Rybka a kol., 2006, s. 56 - 58).

Vazivový aparát

Patelární vaz je vhodný pro ultrazvukové vyšetření díky dobré přístupnosti. Pacienta uložíme na záda a k vyšetření použijeme lineární sondu, kterou pokládáme tak, aby echa směřovala souběžně s osou končetiny, infrapatelárně a transversálně. Na obraze jsou patrné kostěné útvary s vysokou echogenitou, Hoffovo tukové těleso se střední echogenitou a samotné ligamentum je v kolmém zobrazení hyperechogenní a v šikmém řezu hypoechogenní.

Patologické změny ligamenta patelae můžeme hodnotit podle pěti stupňů:

1. Rozšíření echa a nižší echogenita v úponu šlachy na vrchol česky, ostatní části ligamenta jsou netknuté
2. Rozepnutí celého ligamenta, změny echogenity žádné
3. Rozepnutí celého ligamenta, změny echogenity patrné
4. Rozepnutí celého ligamenta, změny echogenity patrné, ligamentum není ohraničeno od okolní tkáně
5. Přetržení vazů

Indikace k vyšetření: diagnostika tzv. skokanského kolene, akutní trauma s hematomem, burzitida, degenerativní změny po starších traumatech.

Postranní vazy jsou také vhodně uloženy pro ultrazvukové vyšetření. K jejich zobrazení upřednostňujeme lineární sondu s vodní předsádkou, díky které lze diagnostikovat porušení souvislosti vazů a hematom v jeho průběhu. Dopplerovskou metodou lze hodnotit úroveň prokrvení a tím i průběh hojení.

Zobrazování a posuzování patologií zkřížených vazů je problematické z důvodu hlubokého uložení těchto vazů v kloubu, a zároveň z důvodu vzniku akustických stínů okolních kostních tkání. Přední zkřížený vaz vyšetřujeme lineární sondou v krajní flexi kolene. Nepoškozený vaz vidíme jako hypoechogenní napnutou diagonálně se upínající strukturu. V případě ruptury předního zkříženého vazů se vaz zobrazí jako oblouk s nízkou echogenitou, nebo jej nelze vůbec indentifikovat. Pro pozitivní nález ruptury zadního zkříženého vazů (naléhá na tibiální plateau, vyšetřuje se v zadním řezu) svědčí roztažení průřezu echa (Trnavský, Rybka a kol., 2006, s. 59 - 62).

Chrupavka

Ultrazvukem lze vyšetřit chrupavku, která je viditelná při krajní flexi kolene suprapatelárně. Flexe kolene je nutná k tomu, aby došlo k co největšímu odhalení chrupavky, která leží na zátěžových plochách kondylu. Chrupavka se zobrazí jako linie (sledujeme její průběh a výšku) bez echogenity nad vysoce echogenní kostní tkání (posouzení kontinuity subchondrální kosti). Výška neporušené chrupavky je v rozmezí 1 – 4 mm. Nevýhodou vyšetření je nemožnost ultrazvukové sondy zachytit chrupavku česky. Dalším problémem je nemožnost zobrazit chrupavku při velkém kloubním výpotku a hemartrozu (Trnavský, Rybka a kol., 2006, s. 63 - 64).

4 Magnetická rezonance kolenního kloubu

Podstatou zobrazování tkání pomocí magnetické rezonance je sledování změn magnetického momentu v jádrech prvků s lichým protonovým číslem, která jsou vystavena působení silného statického magnetického pole. Kolem těchto jader, která rotují kolem své osy (spin), se vytváří magnetické pole (Heřman a kol., 2014, s. 25). Protože je vodík obsažen ve 2/3 lidského těla a má v jádru jediný proton, jsou jeho vlastnosti využitelné k tvorbě MR obrazu.

V lidském těle se magnetická pole (magnetické momenty) navzájem ruší a magnetický moment je nulový, protože osy vodíkových protonů jsou uspořádány nahodile. Když ale vystavíme atomy vodíku působení silného statického magnetického pole (B_0), uspořádají se souběžně se siločarami. Intenzita působícího magnetického pole má jednotku T (Tesla). Diagnostické přístroje používají intenzity pole 1,5 T a 3 T. Větší část protonů se přemístí do paralelního postavení, méně jich je pak v tzv. antiparalelní poloze (Vomáčka, Nekula, Kozák, 2012, s. 47). Kromě spinu se protony pohybují za působení magnetického pole po pomyslném plášti kužele, tento pohyb se nazývá precese. Ve chvíli, kdy je uplatněn radiofrekvenční pulz o frekvenci stejné, jako je precese kladně nabitě částice, dochází k rezonanci, která způsobí vychýlení magnetického momentu a zároveň i synchronizaci precese všech kladně nabitých částic. Když dojde k přerušení pulzu, sledujeme dva relaxační časy – T1 a T2. T1 relaxační čas značí čas nezbytný k návratu vychýleného magnetického pole, T2 relaxační čas udává čas, za který se zruší synchronizace precese protonu. Časy jsou závislé na složení tkáně a neměří se přímo, ale porovnáváme jejich rozdíly v jednotlivých sekvencích. Signál, který sledujeme, je zachycován po aplikaci radiofrekvenčních pulzů přijímacími cívkami a lze tak i měřit jeho velikost. K detekci signálů je třeba série radiofrekvenčních pulzů. Tuto sérii nazýváme sekvence. K získání co nejkvalitnějšího obrazu je nutné, aby byly cívky uloženy co nejblíže vyšetřované tkáni.

Při vyšetření používáme ke zhotovení obrazu různé typy sekvencí – T1 a T2 vážené sekvence, sekvenci zdůrazňující denzitu kladně nabitých částic (PD sekvence), sekvence potlačující vodu nebo tuk atd. Délka vyšetření se pohybuje kolem dvaceti minut v závislosti na rychlosti přístroje a množství prováděných sekvencí (Heřman a kol., 2014, s. 25 - 27). Při popisu struktur na MR obrazu označujeme tkáně podle intenzity signálu dané sekvence – hypersignální (tkáň zobrazena světle – bílá

barva), izosignální, hyposignální (tkáň zobrazena tmavě) a asignální (tkáň vyobrazena černě) (Dungl a kol., 2006, s. 69). Důležité je uvádět i sekvenci, ve které byl obraz zhotoven, protože v různých sekvencích je různá signalita vyšetřované tkáně. Například v T1 vážené sekvenci je tekutina (moč, likvor, žluč) hyposignální a v T2 vážené sekvenci je hypersignální. Tuk je ve většině sekvencí hypersignální a kostní kompakta a plíce jsou asignální (díky nízkému obsahu vody). Spongiozní kost má vyšší signalitu díky kostní dřeni, která obsahuje tuk a vodu (Heřman a kol., 2014, s. 27 - 28).

Indikace a výhody MR

V diagnostice patologií muskuloskeletálního systému je výhodné MR vyšetření z důvodu zobrazení jak měkkotkáňových struktur (vazy, svaly, šlachy, chrupavky), tak i kostí a menisků (Heřman a kol., 2014, s. 29). Nejvyšetřovanějším kloubem magnetickou rezonancí je právě koleno (Heřman a kol., 2014, s. 92). Indikace k vyšetření kolenního kloubu jsou chorobná, zánětlivá a degenerativní onemocnění kolene a přilehlých měkkých tkání (Vomáčka, Nakula, Kozák, 2012, s. 81). Další výhodou je absence ionizujícího záření. Nevýhodou je absolutní kontraindikace v případě přítomnosti kovového materiálu v těle – defibrilátory, kardiostimulátory, inzulinové pumpy, kochleární implantáty atd. Výjimku tvoří MR – kompatibilní implantáty. Další kontraindikací je klaustrofobie pacienta. Přestože nebyly prokázány nežádoucí účinky radiofrekvenčních pulzů a magnetického pole využívaného v diagnostickém rozmezí, nedoporučuje se provádět MR vyšetření těhotným ženám (to neplatí v případě diagnostiky vrozených vad apod.) (Heřman a kol., 2014, s. 29).

4. 1 MR artrografie a schéma MR vyšetření kolene

Artrografie

Za přímé zobrazení kloubu (artrografii) se rozumí vpravení kontrastní látky do cavitas articularis. Při vyšetření magnetickou rezonancí se do kloubu vpraví voda (vhodná pro T2 zobrazení) nebo naředěné paramagnetické látky kontrastního charakteru, které mají vliv na zobrazení kloubu i v obrazu T1 (Trnavský, Rybka a kol., 2006, s. 83). Tato metoda je vhodná pro posouzení disekující osteochondronekrózy (Mechl, Tintěra, Žížka a kol., 2014, s. 64). Tento způsob se ale neosvědčil jako dostatečně výtečný (s ohledem na invazivitu výkonu) a proto se téměř neprovádí.

Nepřímá artrografie spočívá v aplikaci paramagnetické kontrastní látky (např. Magnevist) intravenózně v dávkování 0,2 ml/kg hmotnosti vyšetřovaného. Poté

pacient po dobu třiceti minut pohybuje kloubem z důvodu dostatečného průniku kontrastní látky do výstelky kloubu. Pak provedeme samotné vyšetření s použitím T1 sekvence (Trnavský, Rybka a kol., 2006, s. 83). Vyšetření se provádí vleže na zádech v co největším bezbolestném natažení. Tato metoda se využívá k zobrazení kloubní tekutiny a chrupavky, synoviální výstelky a fragmentů chondronekrózy (Neuwirth, Šprindrich, 2016, s. 126).

Schéma MR kolenního kloubu

Pacienta uložíme na záda na pohyblivý stůl vyšetřovanou končetinou směrem do gantry (Trnavský, Rybka a kol., 2006, s. 82). Dolní končetina je položena volně, může být lehce rotována směrem ven s mírným pokrčením 10 – 15°. Použijeme vícekanálovou kolenní cívku, popřípadě cívku flexibilní.

Vyšetření zahájíme lokalizací kolene – jak kloubu, tak přilehlých měkkých tkání. Využíváme všech tří rovin – koronální (příloha č. 10), sagitální (příloha č. 11) a transversální (příloha č. 12), přičemž v sagitální obrazy skláníme dle průběhu LCA.

Základní protokol provádíme v TSE sekvencích, v transversálním zobrazení typem T2, u koronálního a sagitálního zobrazení typ PD, v transversálním a sagitálním zobrazení typ PD FS a koronálním zobrazení typ T1. Tloušťka vrstev je 3 mm.

Doplňující protokol se provádí v sagitální rovině v T2 zobrazení 3D SSFP sekvence s možným potlačením tuku. Tloušťka vrstvy je 0,6 mm. Alternativním protokolem může být sekvence TSE 3D res v PD zobrazení v sagitální rovině s tloušťkou vrstvy 0,6 – 0,8 mm (Mechl, Tintěra, Žížka a kol., 2014, s. 64 - 65).

4. 2 MR vyšetření menisků, chrupavky a subchondrální dřeně

Menisky

Nejčastější patologií nalezenou na menisku jsou degenerativní onemocnění nebo ruptury (Trnavský, Rybka a kol., 2006, s. 84). Z ruptur je čtyřikrát hojnější ruptura menisku mediálního než laterálního, který je mobilnější a menší. Nález a změny MR signálu dělíme do několika stupňů:

0. stupeň – jednolitý hyposignální meniskus
1. stupeň – vyšší PD a T2 signál tvaru oválu, změny při stárnutí, klinicky bezvýznamné
2. stupeň - vyšší PD a T2 signál lineárního tvaru, u dětí drobná vaskularizace, u dospělých rozpad kolagenních vláken a degenerace menisku

3. stupeň – vyšší PD a T2 signál lineárního či pruhovitého tvaru, s kontaktem s dolním, horním nebo mediálním okrajem menisku, s věkem stoupá pravděpodobnost přirozené degenerace, část menisku oddělena nebo je jeho tvar deformován.

(Neuwirth, Šprindrich, 2016, s. 129 - 130)

MUDr. Mechl uvádí jiné dělení poškození menisků podle MR nálezu:

1. stupeň – tečkovitá vyšší intenzita signálu v T1 a PD sekvencích
2. stupeň – pruhovitý tvar zvýšené intenzity, stav před rupturou

V těchto dvou stupních mají menisky rozvlákněnou kolagenní strukturu. To se projevuje především bolestí. Protože u tohoto typu poškození nedochází ke komunikaci s kloubní dutinou, nelze tyto patologie diagnostikovat pomocí artroskopie.

3. stupeň – ruptura komunikující s cavum articulare

Pro terapii ruptur menisků pomocí endoskopie je důležité co nejpřesnější vyhodnocení MR obrazu – typ ruptury a její poloha (Trnavský, Rybka a kol., 2006, s. 84).

Ruptury menisků můžeme rozdělovat podle tvaru trhliny na:

- a) horizontální
- b) vertikální – vznik v mladším věku, dobrá prognóza pro úplné zhojení
- c) bucket handle (ruptura tvaru ucha košíku) – menisky s šikmou či podélnou trhlinou, která se neodtrhla od zadního rohu a těla, nejčastěji u dislokovaných menisků

Dále dělíme ruptury, podle jejich polohy:

- a) vnitřní meniskus – nejvíce ruptur v zadním rohu menisku (53%)
- b) zevní meniskus – častá ruptura zadního rohu (60%), obecně méně ruptur než na vnitřním menisku
- c) v návaznosti na kloubní pouzdro (meniskokapsulární separace) – separace pouzdra nejčastěji od zadního rohu vnitřního menisku

(Neuwirth, Šprindrich, 2016, s. 130 - 131)

Ruptury menisku (hlavně horizontální) mohou být předstupněm vzniku parameniskální cysty a ganglionu. Tyto patologie se projevují nefyziologickým městnáním tekutiny s vysokou hustotou. Tyto komplikace častěji vznikají v laterální části kloubu. Důvodem je to, že mediální meniskus je lépe fixován. Další patologií

detekovatelnou na MR obraze je macerace menisku. Jde o postupné vstřebávání tkáně nejčastěji zapříčiněné artrózou, nebo zánětem.

V rámci vrozených vývojových vad je možné pomocí magnetické rezonance diagnostikovat tzv. diskoidní meniskus. Tuto vadu sledujeme zvláště u dětských pacientů (Trnavský, Rybka a kol., 2006, s. 85 - 86). Častěji je degenerován laterální meniskus a asi u jedné pětiny pacientů se vyskytuje toto postižení oboustranně (Dungl a kol., 2005, s. 956). Protože je stavba diskoidního menisku křehčí, je větší pravděpodobnost jeho poranění při traumatu.

Dalším mechanismem vedoucím k poškození menisků jsou pooperační stavy. Při operaci, kdy došlo k částečnému snesení menisku, mohou zbylé části menisku prasknout (Trnavský, Rybka a kol., 2006, s. 85 - 86). Pokud dojde k prasknutí vertikálním směrem v zevní třetině menisku a je tato část vaskularizovaná, je možné opakované sešití. V případě, že se jedná o rupturu delší než 1 cm nebo je nestabilní, provádí se snesení poškozené části (Neuwirth, Šprindrich, 2016, s. 131). Resekce se provádí i v případě ruptury vzniklé ve vnitřní třetině menisku. V případě odstranění celého menisku dochází k přetěžování povrchu chrupavky, které může vést k tzv. osteochondronekróze (Trnavský, Rybka a kol., 2006, s. 86).

Přínos MR v diagnostice poškození menisků

MUDr. Čellár a Sokol s kolektivem provedli retrospektivní hodnocení zdravotnické dokumentace dvaadevadesát pacientů. Z tohoto souboru bylo nejčastěji hodnocenou patologií poškození mediálního menisku. Autoři studie porovnávali shodu mezi diagnostikou pomocí MR a artroskopie. V případě diagnostiky lézí mediálního menisku byla shoda MR a artroskopie v 73 %. U diagnostiky poškození laterálního menisku byla shoda 79 % (Čellár, Sokol a kol., 2012, s. 250 - 251).

Dungl uvádí, že pro diagnostiku a případné ošetření menisků je nejspolehlivější artroskopie. Jako výhodu uvádí přímou kontrolu zrakem a palpaci háčkem, díky čemuž je možné přesné určení polohy, typu, velikosti a stability ruptury (Dungl a kol., 2005, s. 976).

MR chrupavky a subchondrální dřeň

Protože je chrupavka vyživována prostřednictvím kostní dřeně, lze předpokládat, že patologické stavy kostní dřeně úzce souvisí s postiženími chrupavky. Existuje ale i onemocnění, které postihuje pouze chrupavku – chondromalacie.

Chondromalacie se nejčastěji projeví na patele a vzniká jako důsledek přetěžování, nebo vnitrokloubních zánětlivých změn.

Další časté onemocnění vyplývající z propojení dřev – chrupavka, se nazývá osteochondronekróza. Onemocnění pochází z kostní dřev, která byla vystavená traumatu nebo degenerativním změnám. Osteochondrózu lze rozdělit do pěti stupňů postižení. První stupeň je klasifikován jako otok kostní dřev při normálním stavu chrupavky. Posledním pátým stupněm je nález uvolněného osteochondrálního fragmentu s úplným vymizením chrupavky. Všechna stádia jsou dobře diagnostikovatelná pomocí MR při užití spin – echo sekvencí. Pro označení fragmentu skeletu, které slouží k posouzení jeho uvolňování, se využívá metoda nepřímé artrografie.

Izolovaně může být také poškozena pouze kostní dřev. Jedná se o nekrózu vzniklou při traumatickém poškození kloubu. Tento stav je však vhodné sledovat a všimnout si stavu subchondrální dřev, jejíž postižení by mohlo zapříčinit poškození chrupavky (Trnavský, Rybka a kol., 2006, s. 91 – 93, 95).

Pro zobrazení chrupavky používáme IR sekvenci nebo PD sekvenci s potlačením tuku v transverzální rovině, přičemž nejdetailnější zobrazení nabízí 3 T přístroj. Zobrazení v T1 váženém obraze s potlačením tuku užíváme po aplikaci kontrastní látky (Neuwirth, Šprindrich, 2016, s. 131).

4. 3 MR vyšetření kolenních vazů

Poranění vazů můžeme rozdělit do tří stupňů:

1. stupeň – nález edému uvnitř ligamenta, vaz bez známek prodloužení
 2. stupeň – větší otok uvnitř vazů a v Hoffově tělese, nižší tonizace, prodloužení je patrné, může se vyskytnout parciální ruptura
 3. stupeň – přerušení průběhu vláken – kompletní ruptura, otok, hydrops
- (Neuwirth, Šprindrich, 2016, s. 133)

Poranění předního zkříženého vazů

Ruptury menisků jsou často doprovodným poraněním pro postižení předního zkříženého vazů. Předně zkřížený vaz (LCA) je nejčastěji postiženým vazem v koleni (Trnavský, Rybka a kol., 2006, s. 87).

K natržení vazů dochází nejčastěji v jeho střední třetině (Neuwirth, Šprindrich, 2016, s. 132). Přetržení vazů doprovází otok kostní dřev v zadní části tibiálního plateau, posun holenní kosti směrem dopředu a zvlněný průběh ligamentum cruciatum

posterius (Trnavský, Rybka a kol., 2006, s. 87). Pacienti často popisují tzv. pop fenomén (prasknutí) a v 75 % bývá přítomen časný hemartros (Dungl a kol., 2005, s. 966). Toto poranění je nejčastěji diagnostikováno u sportovců a existují tři mechanismy jeho vzniku. Je to vnější rotace s abdukovanou končetinou v hyperextenzi, vystavení holenní kosti přímé síle (a dochází k vychýlení její polohy) a vnitřní rotace při plně propnutém koleni (Pauček, Smékal, Holibka a kol., 2015, s. 68).

Podle studie, ve které bylo hodnoceno sto devadesát devět pacientů s podezřením na poškození předního zkříženého vazy, vyplývá, že pro lézi vazy jasně svědčí zvýšení signality LCA, přerušení průběhu vazy (s nálezem přetržení vláken), změna jeho lokalizace a rozevření Blumensaatova úhlu (úhel mezi interkondylární fossou a přední linií LCA). Pro patologii svědčí dorzokraniální otevření úhlu o víc jak 15°. Za nepřímé známky poškození pak lze považovat kostní zhmoždění s otokem, otok v Hoffově tělese a větší objem intraartikulární tekutiny. Dále se neprokázal většinový vztah k lézi vnitřního menisku, zadního rohu vnějšího menisku a mediálního kolaterálního ligamenta.

Na obraze s nepoškozeným LCA můžeme vidět hyposignální a pravidelnou strukturu proužkovitého charakteru (fibrily tibiálního úponu – detekovatelné hlavně u mladých pacientů). Čím víc přechází poloha kolene z extenze do flexe, tím víc se snižuje signalita vazy. To vysvětluje, proč má vyšší signalitu než zadní zkřížený vaz (v extenzi kolene). Tato rozdílnost v signalitách obou struktur může vést k chybné diagnostice edému ligamenta. (Pauček, Smékal, Holibka a kol., 2015, s. 71 - 73).

Ve studii srovnávající přínos MR byla v případě diagnostiky lézí LCA zjištěná 79% shoda MR a artroskopie (Čellár, Sokol a kol., 2012, s. 251).

Další skupinu indikující vyšetření LCA pomocí magnetické rezonance tvoří pooperační stavy. Hlavním cílem vyšetření je zhodnocení kontinuity náhrady vazy, které má dopady na další terapeutickou rozvahu. Vyšetření je komplikovanější, protože náhrada ligamenta má složitý průběh. Proto je třeba zhotovit 3D sekvence v tenkých řezech, které se následně rekonstruuji (Trnavský, Rybka a kol., 2006, s. 87 - 88). Vyšetření se provádí v extenzi kolene. Od 4. – 12. měsíce od operace má štěp nízkou signalitu ve všech sekvencích a probíhá Blumensaatovou linií (Neuwirth, Šprindrich, 2016, s. 134). Mezi nejrozšířenější příčiny dysfunkčního kolene po prodělané plastice LCA patří poranění menisků, LCP a vnějšího kolaterálního vazy, zvýšená tvorba intraartikulární tekutiny, kostní otok, prosáknutí Hoffova tělesa a naplnění Bakerovy pseudocysty (Pauček, Smékal a kol., 2015, s. 279).

Poranění zadního zkříženého vazů

Léze zadně zkříženého vazů je vzácná a její diagnostika je snadnější díky tomu, že na MR obraze je tento vaz dobře ohraničen. Léze vzniká při hyperextenzi kolene (Trnavský, Rybka a kol., 2006, s. 88). Artroskopicky však může být poranění vazů přehlédnuto z toho důvodu, že i po výraznější ruptuře zachovává ligamentum svůj tvar. Často dochází ke krvácení do šlachy, naopak úplné smrštění vazů je vzácné. Při chronickém přetížení natažením vazů mohou být patrné malé změny cystického charakteru v kosti nad úpony vazů (Neuwirth, Šprindrich, 2016, s. 133).

Kolaterální vazy

Kolaterální vazy jsou dva – vnitřní a vnější. Vnější kolaterální vaz je drobný a na podpurné funkci se podílí jen malou mírou, proto je jeho postižení vzácné. Vnitřní kolaterální kloub bývá poraněn častěji, ale diagnostika poškození se opírá hlavně o klinické a ultrasonografické vyšetření (Trnavský, Rybka a kol., 2006, s. 89, 91). Často dochází k přidruženému poranění zadně zkříženého vazů a periferie mediálního menisku. V případě vyšetření magnetickou rezonancí rozlišujeme tři stupně poškození kolaterálních vazů:

1. vaz s kontinuálním průběhem, kolem něho v koronální rovině T2 zobrazení tekutina
2. v T1 sekvenční, koronální rovina - natržení ligamenta
3. v T1 sekvenční, koronální rovina - přetržený vaz

Za tzv. nešťastnou triádu se považuje poškození mediálního menisku, vnitřního kolaterálního ligamenta a LCA. Triáda je typická pro lyžaře se špatně seřízeným bezpečnostním vázáním (Neuwirth, Šprindrich, 2016, s. 133).

Poranění patelárních vazů

Poškození vazů upínajících česku je vzácnější (důvodem je jejich pevnost) a bývá sdružené s rozsáhlým poškozením kloubu. Stejně tak je to u tuhého vazivového pruhu, který slouží jako boční podpora pately. V případě MR vyšetření se zhotovují transverzální řezy (Trnavský, Rybka a kol., 2006, s. 89).

Závěr

V bakalářské práci byly popsány všechny hlavní neinvazivní zobrazovací metody anatomie kolenního kloubu. U jednotlivých zobrazovacích metod byl stručně shrnut princip jejich fungování a přehled výhod a nevýhod. Dále bylo také poukázáno na možné indikace a kontraindikace. Práce obsahuje popsané způsoby použití těchto zobrazovacích metod v případě kolenního kloubu, včetně potřebných nastavení, okolností a podmínek jejich užití. V neposlední řadě bylo také zmíněno posouzení snímků a projekcí s nejčastěji diagnostikovanými patologiemi a anomáliemi kolene.

Byly splněny oba cíle, které byly stanoveny v úvodu této bakalářské práce - předložit aktuální poznatky o zobrazení kolenního kloubu pomocí ionizujícího záření a předložit aktuální poznatky o zobrazení kolenního kloubu pomocí ultrasonografie a magnetické rezonance.

Je nutno říci, že v popředí stále stojí zobrazování kolene pomocí rentgenu. RTG vyšetření je zde metodou první volby. Posouzením RTG snímků hodnotíme především degenerativní změny kostní tkáně. Limitujícím faktorem je u RTG i CT vyšetření nemožnost zobrazení měkkotkáňových struktur, při jejichž poškození je nutné použití jiných zobrazovacích metod.

Výpočetní tomografie poskytuje oproti RTG přesnější zobrazení všech kostních tkání a struktur. Zejména postprocessingová 3D zobrazování se využívají v předoperační diagnostice právě kolenního kloubu.

Naopak v případě potřeby zobrazení měkkých tkání je nejčastěji užívanou metodou ultrasonografie. Touto metodou lze dobře zobrazit traumata měkkých tkání, kde se nejčastěji jedná o ruptury šlach a svalů, dále hmatné rezistence netraumatologického původu, ale i intraartikulární měkké struktury. Omezením je však ultrazvukové zastínění diagnostikovaných míst kostní tkání.

Magnetická rezonance je bezpochyby nejvšestrannější metodou zobrazování kolenního kloubu z důvodu citlivosti jak na měkkotkáňové, tak na kostěné struktury. Další výhodou společnou pro ultrasonografii i magnetickou rezonanci je absence ionizujícího záření, kterému je pacient vystavován při RTG či CT vyšetření. Zásadní nevýhodou je zde však kontraindikace v případě přítomnosti kovové struktury v těle pacienta.

Referenční seznam

ČELLÁR, Róbert — SOKOL, D. — LACKO, Marek, et al. 2012. Prínos MRI v diagnostice intraartikulárných lézií kolenného kĺbu. *Acta chirurgiae orthopaedicae et traumatologiae čechoslovaca*. Praha, 79(3), 249-254 s. ISSN: 0001-5415.

DUNGL, Pavel. 2005. *Ortopedie*. vyd. 1. Praha: Grada. 1273 s. ISBN: 80-247-0550-8.

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

CHUDÁČEK, Zdeněk. 1993. *Radiodiagnostika*. vyd. 1. Martin: Osveta. 439 s. ISBN: 80-217-0571-X.

JASNÁ, Andrea — KOZÁK, Jiří. 2015. Rentgenové vyšetření kloubů dolní končetiny. *Praktická radiologie*. České Budějovice: Společnost radiologických asistentů ČR, 20(1), 24-32 s. ISSN: 1211-5053.

MECHL, Marek — TINTĚRA, Jaroslav — ŽIŽKA, Jan. 2014. *Protokoly MR zobrazování*. vyd. 1. Praha: Galén. 103 s. ISBN: 978-80-7492-109-4.

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

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

PAUČEK, Boris — SMÉKAL, David — OPAVSKÝ, Jaroslav, et al. 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.

MINISTERSTVO ZDRAVOTNICTVÍ. 2016. Standardy zdravotní péče - Národní radiologické standardy - výpočetní tomografie. *Věstník Ministerstva zdravotnictví České republiky*. Soubor doporučení a návod pro tvorbu místních radiologických standardů na pracovištích tomografie v České republice. Praha: Ministerstvo zdravotnictví České republiky, 2016(2), 2-61 s. ISSN: 1211-0868.

SVOBODA, Milan. 1976. *Základy techniky vyšetřování rentgenem: učebnice pro střední zdravotnické školy*. vyd. 2. Praha: Avicenum. 605 s.

TRČ, Tomáš. 2008. Diferenciální diagnostika bolestí kolenního kloubu. *Postgraduální medicína*, Praha: Mladá fronta, 10(8), 918-920 s. ISSN: 1212-4184.

TRNAVSKÝ, Karel — RYBKA, Vratislav. 2006. *Syndrom bolestivého kolena*. vyd. 1. Praha: Galén. 225 s. ISBN: 80-7262-391-5.

VOMÁČKA, Jaroslav — NEKULA, Josef — KOZÁK, Jiří. 2012. *Zobrazovací metody pro radiologické asistenty*. vyd. 1. Olomouc: Univerzita Palackého. 153 s. ISBN: 978-80-244-3126-0.

VYHNÁNEK, Luboš. *Radiodiagnostika: kapitoly z klinické praxe*. 1998. Praha: Grada. 473 s. ISBN: 80-7169-240-9.

Seznam zkratek

CT – počítačová tomografie

FS – fat saturation

IR – inversion recovery

LCA – ligamentum cruciatum anterior

LCP - ligamentum cruciatum posterior

MR – magnetická rezonance

PA – postero anterior

PD – proton density

RTG – rentgen

SSFP – steady-state free precession

TSE – turbo spin echo

Seznam příloh

Příloha č. 1 – RTG snímek, AP projekce kolene

Příloha č. 2 – RTG snímek, bočná projekce kolene

Příloha č. 3 – RTG snímek v zátěži, AP a bočná projekce

Příloha č. 4 – RTG dlouhý snímek na mechanickou osu končetiny

Příloha č. 5 – RTG snímek, axiální projekce na patelu

Příloha č. 6 – CT vyšetření kolene, koronální rovina

Příloha č. 7 – CT vyšetření kolene, sagitální rovina

Příloha č. 8 – CT vyšetření kolene, transverzální rovina

Příloha č. 9 – CT vyšetření, 3D rekonstrukce kolene

Příloha č. 10 – MR vyšetření kolene, koronální rovina

Příloha č. 11 - MR vyšetření kolene, sagitální rovina

Příloha č. 12 - MR vyšetření kolene, transverzální rovina

Příloha č. 1



RTG snímek, AP projekce kolene
Archiv FNOL

Příloha č. 2



RTG snímek, bočná projekce kolene
Archiv FNOL

Příloha č. 3



RTG snímek v zátěži, AP a bočná projekce

Archiv FNOL

Příloha č. 4



RTG dlouhý snímek na mechanickou osu končetiny

Archiv FNOL

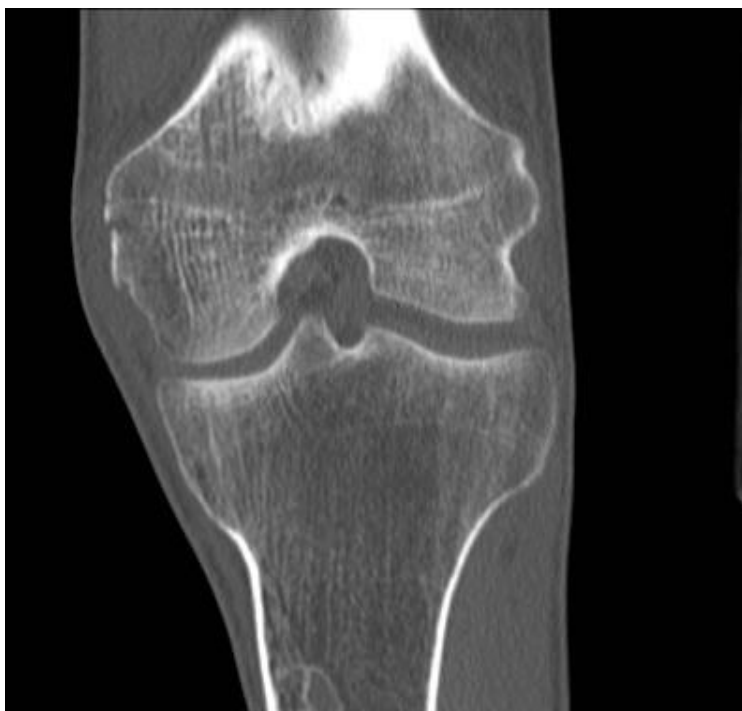
Příloha č. 5



RTG snímek, axiální projekce na patelu

Archiv FNOL

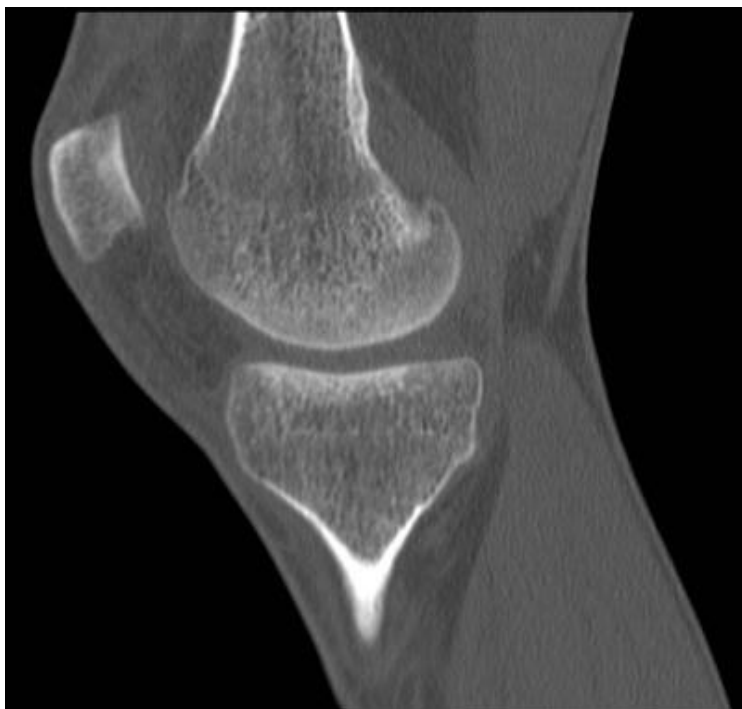
Příloha č. 6



CT vyšetření kolene, koronální rovina

Archiv FNOL

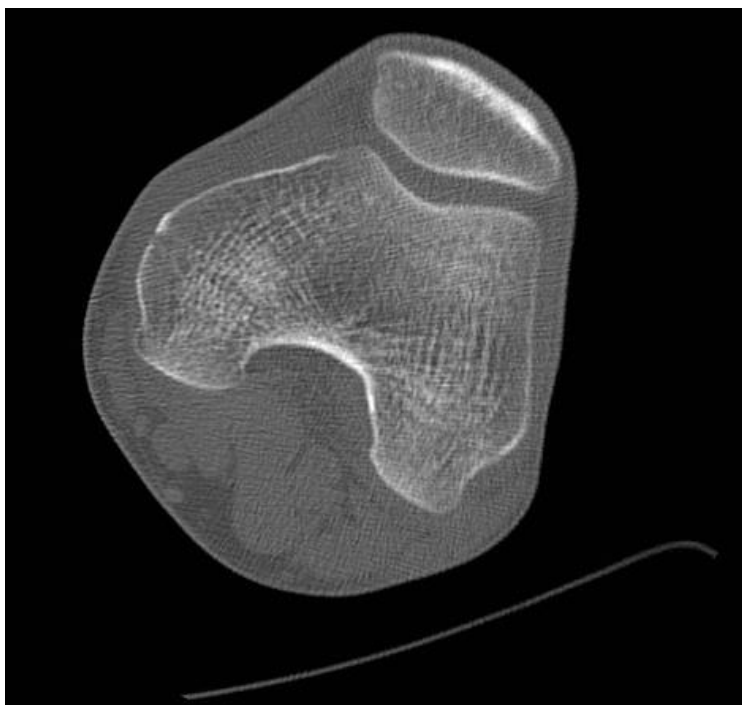
Příloha č. 7



CT vyšetření kolene, sagitální rovina

Archiv FNOL

Příloha č. 8



CT vyšetření kolene, transverzální rovina

Archiv FNOL

Příloha č. 9



CT vyšetření, 3D rekonstrukce kolene

Archiv FNOL

Příloha č. 10



MR vyšetření kolene, koronální rovina

Archiv FNOL

Příloha č. 11



MR vyšetření kolene, sagitální rovina

Archiv FNOL

Příloha č. 12



MR vyšetření kolene, transverzální rovina

Archiv FNOL