

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH VĚD

Ústav radiologických metod

Kristýna Miková

Zobrazovací metody zápěstí

Bakalářská práce

Vedoucí práce: MUDr. Jan Hrbek

Olomouc 2022

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

Olomouc 30.4. 2022

Podpis

Chci poděkovat MUDr. Janu Hrbkovi za odborné vedení bakalářské práce, jeho věcné připomínky a poskytnutí obrazové dokumentace.

ANOTACE

Typ závěrečné práce: Bakalářská práce

Název práce: Zobrazovací metody zápěstí

Název práce v AJ: Imaging methods of the wrist

Datum zadání: 2021-11-30

Datum odevzdání: 2022-04-30

Vysoká škola, fakulta, ústav: Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta zdravotnických věd

Ústav radiologických metod

Autor práce: Miková Kristýna

Vedoucí práce: MUDr. Jan Hrbek

Oponent práce: MUDr. Radim Kovář

Abstrakt v ČJ: Přehledová bakalářská práce pojednává o zobrazovacích metodách, které se využívají při zobrazování kostí a měkkých tkání zápěstí. V práci je postupně popsán princip vyšetření pomocí rentgenu, výpočetní tomografie, ultrazvuku a magnetické rezonance. Cílem práce je vytvořit ucelený přehled nejčastěji používaných zobrazovacích metod zápěstí. Z dohledaných informací vyplívá, že nejvíce využívanou metodou je stále zobrazování pomocí rentgenového přístroje. Jeho limitací je však nedostatečné zobrazení měkkých tkání. Nejuniverzálnější metodou pro zobrazení měkkých tkání a kostních struktur je magnetická rezonance. V poslední kapitole práce jsou popsány základy radiační ochrany.

Abstrakt v AJ: The thesis deals with methods of medical imaging used to depict bones and soft tissues of the wrist. The thesis contains principles of examination by an x-ray, Computed Tomography (CT), ultrasonography, and Magnetic Resonance Imaging (MRI). The thesis aims to create a comprehensive overview of the most used medical imaging methods. From available sources, the x-ray appears to still be the most used method. However, it is limited by an insufficient depiction of soft tissues. The versatile method for depicting both soft tissues and bone structures is MRI. The last chapter describes the basics of radiological protection.

Klíčová slova v ČJ: zápěstí, výpočetní tomografie, ultrasonografie, magnetická rezonance, zobrazovací metody, skiografie, artrografie

Klíčová slova v AJ: wrist, computer tomography, ultrasonography, magnetic resonance, x-ray, arthrography

Rozsah: 40 stran/ 10 příloh

OBSAH

Úvod	7
Popis rešeršní činnosti	9
1 Anatomie zápěstí	10
2 Skiografie.....	11
2.1 Princip rentgenového zobrazování.....	11
2.2 Rentgenové vyšetření zápěstí.....	12
2.2.1 Základní projekce zápěstí	13
2.2.2 Speciální projekce zápěstí	13
2.3 Rentgenová artrografie.....	15
3 Výpočetní tomografie	16
3.1 Princip CT.....	16
3.2 Provedení CT zápěstí	17
3.3 CT artrografie	18
4 Ultrasonografie	19
4.1 Princip ultrasonografie.....	19
4.2 Ultrasonografie zápěstí	21
5 Magnetická rezonance	23
5.1 Princip magnetické rezonance	23
5.2 Kontrastní látky.....	25
5.3 Konstrukce přístroje magnetické rezonance	25
5.4 Vyšetření zápěstí magnetickou rezonancí.....	26
5.4.1 Zobrazení scapholunárního vazů pomocí MR.....	26
5.4.2 Zobrazení triangulárního fibrokartilaginózního komplexu pomocí MR.....	27
5.5 MR artrografie	27
6 Základy radiační ochrany v radiodiagnostice.....	29
6.1 Specifika dětské radiodiagnostiky	29
Závěr.....	31
Referenční seznam.....	33
Seznam zkratk.....	35
Seznam příloh	36

Úvod

Zápěstí je jedno z nejsložitějších anatomických systémů našeho těla. Jeho základ tvoří patnáct kostí, na které se upíná množství vazů, šlach a šlachových pochev, úpony svalů a svaly. Toto skloubení je taky velmi přesný nástroj z mechanického hlediska, protože dovoluje provádět velice jemné pohyby ruky. Jakékoliv zranění nebo i drobné poškození tohoto skloubení dokáže znemožnit vykonávání běžných činností. (Třetinová, 2002, s. 4) Častým postižením bývají zlomeniny zápěstních kostí, které vznikají nejčastěji pádem nebo úderem na dorzální stranu zápěstí nebo ruky, a vazivové léze jednotlivých kloubů. Zápěstí je složeno ze čtyř samostatných kloubů, které zajišťují jeho pohyblivost. (Douša, 2021, s. 222) Nejčastějším úžinovým poškozením zápěstí, které se projevuje brněním ruky, je syndrom karpálního tunelu. Při tomto postižení dochází ke stlačení nervus medianus. (Dungl, 2014, s. 356) Mezi další častá poškození skloubení řadíme poranění triangulárního fibroartilaginózního komplexu, dislokace zápěstních kůstek a karpální instabilitu. (Neuwirth, 2016, s. 100)

Abychom mohli správně diagnostikovat výše vypsané poškození zápěstí pomocí zobrazovacích metod je namístě si položit následující otázky:

1. Jaká je nejčastější dostupná zobrazovací metoda pro vyšetření zápěstí?
2. Jaká je nejlepší zobrazovací metoda pro zobrazení jednotlivých struktur zápěstí?

Cílem práce bylo sumarizovat aktuální poznatky týkající se problematiky zobrazování zápěstí. Cíl práce byl dále upřesněn v dílčích cílech:

1. Vytvořit přehled nejčastěji používaných zobrazovacích metod při vyšetření zápěstí.
2. Nalézt nejlepší zobrazovací metodu pro zobrazení kostí, kloubních prostor a měkkých tkání zápěstí.

Při tvorbě bakalářské práce byla použita tato vstupní literatura:

1. VOMÁČKA, Jaroslav a kol. Zobrazovací metody pro radiologické asistenty. 2.vydání. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2015. 157 stran. ISBN 978-80-244-4508-3.
2. ČIHÁK, Radomír. Anatomie 1: Třetí, upravené a doplněné vydání.2.Praha: Grada Publishing, 2011. ISBN 978-80-247-3817-8.

3. HEŘMAN, Miroslav a kol. Základy radiologie. 1. vyd. V Olomouci: Univerzita Palackého, 2014. 314 s. ISBN 978-80-244-2901-4.
4. SEIDL, Zdeněk, Eva HOFFMANNOVÁ, Manuela VANĚČKOVÁ, Andrea BURGETOVÁ a Martin MAŠEK. Radiologie pro studium i praxi. Praha: Grada Publishing, 2012. ISBN 978-80-247-4108-6.

Popis rešeršní činnosti

Pro vytvoření práce byla použita rešeršní strategie. V rámci rešeršní činnosti byly podklady a články pro práci vyhledávány v databázích Medvik a Pubmed. Při vyhledávání byla zadána klíčová slova: zápěstí, výpočetní tomografie, ultrasonografie, magnetická rezonance, zobrazovací metody, skiografie a artrografie. Vyhledávání probíhalo v českém a anglickém jazyce. Celkem bylo vyhledáno 167 článků, kvůli nedostačujícím informacím však byly použity pouze 4. Rešerše byla dále doplněna o knihy z univerzitní knihovny Lékařské fakulty a knihovny FZV, které jsou uvedeny níže v referenčním seznamu.

1 Anatomie zápěstí

Kostru zápěstí tvoří osm zápěstních kůstek (ossa carpi), které jsou rozděleny do dvou řad, distální a proximální. Os scaphoideum, os lunatum, os triquetrum a os pisiforme tvoří od radiální k ulnární straně proximální řadu zápěstních kostí. Distální řada se skládá radioulnárně z os trapezium, os trapezoideum, os capitatum a os hamatum. (Naňka, 2015, s.27)

Pohyblivost zápěstí umožňují klouby articulatio radiocarpalis, articulatio mediocarpalis a articulatio carpometacarpales. Nejproximálněji se nachází radiokarpální kloub. Hlavici kloubu tvoří řada karpálních kůstek (os scaphoideum, os lunatum a os triquetrum). Jamka je tvořena distálním koncem radia a chrupavčitou ploténkou (discus articularis), která je uložena mezi carpus a hlavici ulny. Mezi proximální a distální řadou karpálních kostí esovitě probíhá kloub mediokarpální. Os hamatum a os capitatum zapadá do jamky, kterou ulnárně tvoří proximální řada karpálních kostí. Radiálně je jamka složena z os trapezium a os trapezoideum, zapadá do ní hlavice tvořena distálním koncem os scaphoideum. Nejdistančněji uloženy karpometakarpální klouby jsou spojením distální řady karpálních kostí s bazemi metakarpů. Na palci je kloub (articulatio carpometacarpalis pollis) oddělený od ostatních. Jde o sedlový kloub umožňující dvojitý na sebe kolmý pohyb palce vůči karpu. Klouby a vazy drží carpus konvexně vyklenutý. (Čihák, 2011, s.272-276) Od ulnárního k radiálnímu okraji překlenuje karpální kůstky karpální vaz (retinaculum flexorum). Upíná se na radiální straně na os scaphoideum a os trapezium a na straně ulnární na os hamatum a os pisiforme. Vzniká tak canalis carpi. Carpálním tunelem probíhají šlachy ohýbačů prstů a nervus medianus. Dojde-li k utištění nervu hypertrofickým vazivem vzniká syndrom karpálního tunelu. (Naňka, 2015, s.38)

2 Skiografie

Skiografie neboli snímkování bývá často v radiodiagnostice první používanou zobrazovací metodou. Relativní kontraindikací pro všechna vyšetření, při kterých je použito ionizující záření je gravidita pacientky.

2.1 Princip rentgenového zobrazování

Při skiagrafickém vyšetření prochází rentgenové záření tělem pacienta, kde se částečně rozptyluje a absorbuje. Po průchodu vyšetřovanou oblastí je registrováno fotografickým filmem. Míra rozptylu a absorpce závisí na složení vyšetřovaných tkání. V dnešní době se nejčastěji zhotovují digitální snímky. Digitální radiografie umožňuje redukci dávky, následnou úpravu obrazu, archivaci snímků v digitální podobě a pořizování kvalitnějších obrazů. K zhotovení digitálních snímků může dojít dvěma způsoby, výpočetní radiografií a přímou digitální radiografií. Výpočetní radiografie neboli nepřímá digitalizace pracuje na principu zachycení prošlého záření na fólii s citlivou vrstvou, která nejčastěji obsahuje sloučeniny fosforu. Následně probíhá v digitizéru skenování fólie laserem, uvolněná energie je registrována a latentní obraz je převeden na obraz digitální. Výsledný obraz je zobrazen na monitoru, kde je možná další úprava obrazu. Před dalším použitím je fólie s fosforovou vrstvou vymazána laserem. Narozdíl od výpočetní radiografie dochází při přímé digitální radiografii (přímé digitalizaci) k převodu dopadajícího záření na digitální elektrické signály přímo v detektoru. Není potřeba přenos detektoru do digitizéru. Celý proces je proto rychlejší. (Heřman, 2014, s.14-15)

Při skiagrafickém vyšetření se využívá vlastností rentgenového záření. Jde o elektromagnetické vlnění krátkých vlnových délek 10^{-8} až 10^{-12} . Při radiodiagnostice se využívá záření o vlnové délce 10^{-9} až 10^{-11} m. (Vomáčka, 2015, s. 13) RTG záření vzniká v rentgence. Jedná se o diodu, která je napojena na vysoké napětí cca 20-200 kV. Uvnitř rentgenky se nachází katoda a anoda. Elektrony, které jsou emitovány z nažhavené katody, dopadají na anodu. Anoda je vyrobena z kovu s vysokým protonovým číslem, nejčastěji z wolframu. Při dopadu na anodu prostupují elektrony přes obaly atomů a při interakci s jádrem přicházejí o svou kinetickou energii, která se mění z 99 % na teplo a z 1 % na RTG záření. (Malíková, 2019, s.8) Může vzniknout záření dvojího typu. Pokud elektron interaguje s jádrem atomu anody, vzniká brzdné záření, které se skládá z různých vlnových délek. Při srážce emitovaného elektronu s elektronem z obalu atomu anody vzniká charakteristické záření, které má jednu vlnovou délku závisící na materiálu ohniska anody. (Vomáčka,

2015, s.13) RTG záření se šíří přímočaře od zdroje a jeho intenzita klesá se čtvercem vzdálenosti. Při průchodu hmotou se záření absorbuje a rozptyluje. K zčernání fotografického filmu dochází díky fotochemickému účinku rentgenového záření. Při dopadu RTG záření na luminofory dochází ke vzniku viditelného světla, jde o tzv. luminiscenční efekt. Důležité jsou také biologické účinky RTG záření, díky nim může záření poškodit tkáň živých organismů. (Malíková, 2019, s. 11)

2.2 Rentgenové vyšetření zápěstí

Snímkování skeletu je základní a v mnoha případech vyšetření první volby. Rentgenové vyšetření je široce dostupné a levné. Nejčastějším důvodem k vyšetření jsou traumatické diagnózy, degenerativní, zánětlivé a jiné změny skeletu. Na prostém snímku může být zobrazeno i postižení měkkých tkání. Nevýhodou prostého zobrazování je sumační charakter rentgenového obrazu. Proto se standardně snímkuje dvě na sebe kolmé projekce. Na snímcích zápěstí posuzujeme patologické změny a hodnotíme:

- a. tvar a postavení kostí a kloubů – hledáme vrozené vady, anomálie, kontrolujeme postavení v kloubech
- b. strukturu kostní tkáně – hledáme zlomeniny, difuzní změny, ložiskové změny
- c. kloubní štěrbinu – musí být hladká, hodnotíme zúžení nebo rozšíření
- d. periostózu – v případě přítomnosti hodnotíme vzhled, velikost
- e. měkké tkáně – hledáme cizí tělesa, edém, hematoma (Heřman, 2014, s. 82, 87)
- f. stanovujeme kostní věk a mineralizaci kostí
- g. hodnotíme ložiska – velikost, tvar, obrys, změny tvaru a struktury (Dungl, 2014, s.34)

Při podezření na zlomeninu některé ze zápěstních kůstek hodnotíme tzv. Gilulovy linie. Jde o tři oblouky, které probíhají proximálními a distálními konci proximální řady zápěstních kostí a proximálními konci distální řady zápěstních kostí. Mezi nejčastější zlomeniny patří zlomenina os scaphoideum, tvoří 60-90 % zlomenin všech zápěstních kůstek. Častá je taky zlomenina háčku os hamati, Fentonova zlomenina (zlomenina proximální části os capitatum) a odlomení fragmentu z os triquetrum. (Neuwirth, 2016, s. 98)

Aby mohla být správně určena diagnóza, je potřeba zhotovit kvalitně provedený a ostrý snímek. Na provedení snímku se podílí radiologický asistent, vyhodnocuje jej však lékař – radiolog. (Seidl a kol., 2012, s.103)

2.2.1 Základní projekce zápěstí

Prostý rentgenový snímek zápěstí provádíme v zadopření a boční projekci. Při těchto projekcích odhalujeme změny na skeletu, typy traumatu, vrozené nebo artrotické změny. K diagnostice mohou být pořízeny i speciální snímky v radiální a ulnární dukci. (Šprláková-Puková, 2008, s.310)

Dorsovolární (PA) projekce

Při dorsovolární projekci musí být na snímku patrné zápěstní kůstky, metakarpy a distální předloktí. Pacient sedí u kraje stolu, ruku má položenou dlaní dolů na střed kazety, prsty jsou mírně pokrčené. Centrální paprsek směřuje do středu zápěstí a na střed filmu. (Moeller, 2009, s.138-139) Vycloníme primární svazek záření a použijeme stranovou značku L nebo P. (Ort, 1997, s. 18) Při této projekci mohou být ukázány zlomeniny distálního rádia nebo ulny, zlomeniny karpálních kostí. Můžeme vidět také patologické procesy, jako jsou osteomyelitida nebo artritida. (Bontrager, 2005, s.158)

Boční (radioulnární) projekce

Kritériem pro správně provedený boční snímek zápěstí je zobrazení celého zápěstí spolu s metakarpy, radius a ulna se překrývají. Pacient sedí u okraje stolu. Zápěstí je položeno ulnární stranou na kazetě, ruka a předloktí jsou v jedné linii. (Moeller, 2009, s.140-141) Předloktí a zápěstí by mělo být v přesné boční projekci, palec je v abdukci. Centrální paprsek směřuje do středu zápěstí a na střed kazety. Vycloníme primární svazek záření a použijeme stranovou značku P nebo L. (Ort, 1997, s.18) Tato projekce ukazuje patologie jako zlomeniny nebo luxace distálního radia a ulny. Na snímku můžeme vidět také osteoartrózu. (Bontrager, 2005, s. 160)

2.2.2 Speciální projekce zápěstí

Kromě dvou základních projekcí existují také projekce speciální, které se používají k zobrazení určitých částí zápěstí.

Projekce na karpální tunel (axiální projekce)

a) Distoproximální projekce

Při správně provedené distoproximální projekci je na snímku zobrazen karpální tunel, os pisiforme a háček os hamatum. Pacient sedí u okraje stolu. Dlaň a distální předloktí položí na kazetu. Poté ohne ruku v zápěstí dorsálně a drží ji pomocí druhé ruky nebo pomocí

pásu. Zápěstí je uprostřed filmu. (Moeller, 2009, s. 142-143) Centrální paprsek směřuje do dlaně, pod úhlem 45°. Pokud pacient nedokáže ohnout ruku dostatečně, je potřeba sklon centrálního paprsku zvětšit. Tuto projekci neprovádíme, pokud se jedná o pórůrazový stav a je omezena pohyblivost zápěstí. (Ort, 1997, s. 22)

b) Proximodistální projekce

Na správně provedeném snímku je zobrazena os pisiforme, hamulus ossis hamati a karpální tunel. Pacient, který stojí u stolu položí ruku dlaní dolů v maximální dorsální flexi. Centrální paprsek míří do středu kazety a kolmo na zápěstí. (Ort, 1997, s. 22)

Tyto dvě projekce se používají k vyloučení kalcifikace a kostních změn v karpálním tunelu, které mohou zasahovat do n. medianus a způsobit syndrom karpálního tunelu, který je zapříčiněn útlakem n. medianus. (Bontrager, 2005, s.164)

Projekce na karpální oblouk

Pokud tuto projekci provedeme správně, zobrazí se nám na snímku dorzální plochy karpálních kůstek. (Třetinová, 2002, s. 6)

Pacient sedí nebo stojí u stolu, ruku položí hřbetem na kazetu. Zápěstí ohne tak, aby ruka a předloktí svírala pravý úhel. Centrální paprsek směřuje po úhlem 45° na střed zápěstí. (Bontrager, 2005, s.163)

Projekce na kost člunkovou (os scaphoideum)

Kost člunkovou můžeme zobrazit pomocí čtyř speciálních projekcí.

a) Šikmá projekce (dorzovolární)

Pacient sedí při okraji stolu, ruku má položenou dlaní dolů. Radiální stranu ruky zvedneme o 45°. II. až V. prst je mírně odtažený na ulnární stranu, ruku můžeme podložit klínem. Centrální paprsek míří do středu zápěstí.

b) Projekce v ulnární dukci

Ruka je položena dlaní dolů na kazetě, je v maximální ulnární flexi tak, že palec a radius tvoří přímku. Centrální paprsek směřuje do středu zápěstí. (Moeller, 2009, s.145)

c) Projekce v radiální dukci

Pacient sedí u stolu, vyšetřovaná ruka je položena dlaní dolů na kazetě. Ruka je v maximální radiální flexi. Centrální paprsek směřuje do středu zápěstí.

d) Volodorzární projekce (šikmá)

Pacient sedí mírně předkloněný směrem ke stolu. Ruka směřuje volární plochou nahoru k rentgence. Malíková strana je zvednuta o 45° tak, aby palec ležel hřbetem na kazetě. Centrální paprsek Jde přímo na střed zápěstí. (Ort, 1997, s 24)

Projekce na os pisiforme

Na správně provedeném snímku musí být zřetelně vidět os pisiforme, aby byla hodnotitelná. Pacient sedí u stolu. Ruku má položenou dorsální stranou na stole. Zvedneme radiální stranu o 60°, můžeme si pomoci podložením klínem. Centrální paprsek míří na os pisiforme a do středu filmu.

2.3 Rentgenová artrografie

Jde o speciální skiaskopicko-skiagrafickou metodu. Při artrografii je pomocí pounce do kloubu zavedena kontrastní látka. V minulosti byla rentgenová artrografie využívána jako zásadní metoda při zobrazení měkkých částí kloubu. Dnes se provádí jako výchozí vyšetření před CT nebo MR artrografií nebo je těmito metodami nahrazena úplně. (Ferda, 2015, s. 32) Při artrografii zápěstí se využívají nízkoosmolární KL (iohexol, iopamidol). Množství podané kontrastní látky je 1-3 ml. (Neuwirth, 2016, s.17) Punkce se provádí pod skiaskopickou kontrolou z dorzálního přístupu do štěrbinu radiokarpálního kloubu. Místo vpichu je znecitlivěné. Provádějí se dva základní snímky zápěstí, zadopřední a bočná projekce. Případně může být vyšetření doplněno o projekce v ulnární a radiální dukci. (Neuwirth, 2016, s.97) Indikací k artrografii zápěstí je podezření na poškození karpoulnárního disku a jeho odtržení od úponu na radiu. (Dungl, 2014, s. 45)

3 Výpočetní tomografie

Výpočetní tomografie se brzy po svém objevení koncem 70. let 20. století stala velmi užívanou metodou v radiodiagnostice. Velký význam má i její využití u terapeutických výkonů. (Seidl, 2012, s. 44) Výhodou vyšetření pomocí výpočetní tomografie oproti magnetické rezonanci je větší rychlost vyšetření, lepší dostupnost, menší finanční nákladnost, lepší zobrazení plic a kalcifikací, lépe jde také rozlišit krev od jiné tekutiny. (Dungl, 2014, s.35)

3.1 Princip CT

Při zobrazování pomocí CT stejně jako u skiografie využíváme vlastnosti rentgenového záření se absorbovat v tkáních. Rozdíl mezi CT a klasickým rentgenem je v zobrazení výsledného obrazu. Zatímco při skiografii vidíme sumační snímek, při vyšetření CT zobrazujeme jednotlivé řezy (vrstvy) vyšetřované oblasti. Jde tedy o tomografickou metodu zobrazení (cross-sectional). (Malíková, 2019, s.21) Detektory a zdroj záření (rentgenka) jdou umístěny v tzv. gantry. Jde o jakýsi prstenec, jehož otvorem projíždí pacient během expozice. V průběhu vyšetření se otáčí rentgenka a detektory kolem pacienta. Záření prochází vyšetřovanou oblastí a po dopadu na detektory jsou data zpracována na viditelný obraz. (Dungl, 2014, s. 34) Z historického a technického pohledu rozlišujeme pět generací CT přístrojů, pro nás nejdůležitější je však třetí generace, ze které vychází dnes nejpoužívanější typy přístrojů. (Seidl, 2012, s. 45) V současné době je nejčastěji používaný přístroj s více řadami detektorů zvaný multi-detektor CT (MDCT). Tyto přístroje obsahují detektory ve více řadách vedle sebe. Během jedné otočky rentgenky a detektorů je tedy zhotoveno více řezů (4 až stovky). (Heřman, 2014, s. 22)

Rozlišujeme konvenční a helikální CT vyšetření. Při konvenčním vyšetření je zhotovena vždy jedna vrstva a potom se stůl s pacientem posune, takto probíhá celé vyšetření. Šířka řezu a posun stolu bývají až na výjimky stejně velké, čímž se dosáhne zobrazení celé požadované oblasti. Během helikálního zobrazování se stůl s pacientem pomalu posouvá během nepřetržité expozice. Rentgenka proto kolem pacienta obíhá po pomyslné spirále. Výhodou tohoto zobrazování je jeho rychlost.

Při hodnocení CT obrazů používáme termíny, které určují denzitu zobrazených struktur: hypodenzní (nízká denzita, na obrazu se ukáže tmavší), izodenzní (stejná denzita), hyperdenzní (vysoká denzita, na obrazu se ukáže světleji). (Heřman, 2014, s. 24-25) Hodnota denzity (absorpce záření v různých tkáních) jednotlivých vyšetřovaných oblastí se měří

v Hounsfieldových jednotkách (HU). Rozsah hodnot HU se pohybuje mezi -1000 HU až +3096 HU. Hodnota denzity vyšetřovaného objemu se porovnává s denzitou vody (0 HU) a denzitou vzduchu (-1000 HU). Protože výsledný obraz je zobrazován ve stupních šedé a lidské oko dokáže rozeznat jen 16 stupňů šedi, používají se pro zobrazování různých orgánů tzv. okna. Jde o určitou šíři denzit a jejich střed. Díky tomuto zobrazení můžeme od sebe odlišit i tkáně s velmi podobnou denzitou. Jako příklad uvedeme kostní okno, jehož střed je 300 HU a šířka 1300 HU. (Vomáčka, 2015, s. 42-43)

Soubor indikací k CT vyšetření je velmi široký. Pomocí CT můžeme zobrazit skoro jakoukoliv část těla. Nejčastěji slouží CT ke klasifikaci tumorů a k zjišťování výskytu ložiskových lézí. Vyšetření pomocí CT je také velmi důležité v akutní medicíně, při zjišťování traumat nebo při indikaci cévní mozkové příhody. Díky vysoké rychlosti celkového zobrazení všech orgánů je využíváno při polytraumatech. (Heřman, 2014, s. 25) V rámci postprocessingu je možné 3D zobrazování, díky kterému se čím dál častěji uplatňuje výpočetní tomografie k zobrazování postižení kostí a kloubů, především pak v oblasti kolenního kloubu, ramenního kloubu a také zápěstí. (Vomáčka, 2015, s. 80) CT zobrazování zápěstí bývá druhou volbou, hned po klasickém snímkování, při prokazování zlomenin zápěstních kůstek. Využívá se možnosti vyšetření s multiplanární rekonstrukcí, která umožňuje zobrazit kolmý řez na lomnou linii zlomeniny. (Maňák, 2012, s. 46) Pro nativní, tedy vyšetření bez kontrastní látky, neexistuje žádná absolutní kontraindikace, relativní kontraindikací může být gravidita pacientky. Při podání kontrastní látky existují kontraindikace, jsou to např. alergie na jodovou kontrastní látku, porucha funkce ledvin nebo hypertyreóza. (Malíková, 2019, s. 28)

3.2 Provedení CT zápěstí

Na začátku každého CT vyšetření je zhotoven topogram, jde o plánovací snímek, na kterém se později vybírá rozsah vyšetření. Při pořizování topogramu se soustava rentgenka a detektor v gantry neotáčí kolem pacienta, ale do otvoru v gantry zajíždí posuvný stůl, na kterém leží pacient. Radiologický asistent potom na topogramu vybere požadovaný rozsah vyšetření a vyšetření spustí. Během vyšetření získáváme řezy v transverzální rovině. Protože těchto řezů bývají desítky až stovky za sebou, je možné pozdějším postprocessingem zobrazit vyšetřovanou oblast ve všech rovinách (axiální, sagitální a koronární) nebo v 3D zobrazení. Toto zobrazení bývá často využíváno v traumatologii. Kromě nativního vyšetření

můžeme provést i vyšetření s podáním jodové kontrastní látky. Po jejím podání se lépe rozliší cévy a patologické změny v tkáních. (Heřman, 2014, s.23)

Při samotném CT vyšetření zápěstí polohujeme pacienta na břicho, postižená ruka je natažená dopředu směrem do gantry. Pro srovnání obou zápěstí je možné natáhnout obě ruce vedle sebe. Během celé expozice může pacient volně dýchat. Topogram zhotovujeme v AP projekci. Rozsah vyšetření volíme od distálního radia po distální konce metakarpů. Při rekonstrukci vytváříme koronální a sagitální řezy v kostním a měkkotkáňovém okně. (Moeller, 2009, s. 307-309)

3.3 CT artrografie

Stejně jako u rentgenové artrografie jde o metodu, kdy je kontrastní látka zavedena intraartikulárně. Indikací k vyšetření může být hodnocení chrupavek a šlach nebo prokázání poranění kloubního pouzdra. Při artrografii zápěstí podáváme 1-3 ml kontrastní látky, jde o ředěný roztok 10 -150mg jodu/ 100 ml vody. Při punkci se používá jehla velikosti 23-25 G o délce 15 mm. Po podání kontrastní látky může dojít k alergické reakci, infekci nebo poranění nervově cévních svazků. (Neuwirth, 2016, s. 17-18) Při CT artrografii hodnotíme v koronální rovině traumatické změny, kloubní chrupavky a trhliny menisku. Kontrolujeme stavy po distorsi zápěstí při podezření na poranění triangulárního fibrokartilaginózního komplexu. (Neuwirth, 2016, s. 97)

4 Ultrasonografie

Ultrazvukové vyšetření slouží převážně k zobrazení měkkých struktur. Volí se při vyšetření traumat, zobrazí např. rupturu šlach a svalů, nebo při vyšetření netraumatických hmatných patologických útvarů. Pomocí ultrazvuku dokážeme dobře rozlišit i tekutinové útvary např. cystu nebo hematom. Při zobrazování kloubů se používá k hodnocení částí, které nejsou kryté kostí. (Heřman, 2014, s. 82) Díky velké dostupnosti, nízké finanční náročnosti a neinvazivnosti je ultrazvuk vysoce rozšířenou zobrazovací metodou. Velké uplatnění má také v ortopedii. Ultrazvuk dokáže projít tekutinou a chrupavkou, to je důležité pro vyšetření kloubů. Umožňuje taky zobrazit tkáň kloubů, které jsou uloženy těsně pod povrchem např. vyšetření karpálního tunelu. (Dungl, 2014, s. 46)

4.1 Princip ultrasonografie

Během ultrazvukového vyšetření se využívá vlastnosti ultrazvuku odrážet se na rozhraní prostředí s různou akustickou impedancí, tedy prostředí s odlišnými akustickými vlastnostmi. Mezi další vlastnosti ultrazvuku patří absorpce a rozptyl ve vyšetřovaném objemu. (Heřman, 2014, s. 17) Ultrazvuk je mechanické vlnění šířící se prostředím. Jeho frekvence je nad hranicí slyšitelného zvuku, tedy nad 20kHz. Při diagnostickém ultrazvukovém vyšetření se používá ultrazvuk o frekvenci 2-24 MHz. (Malíková, 2019, s. 40) Jako zdroj ultrazvukového vlnění slouží piezoelektrické krystaly. Tyto krystaly se po působení elektrického proudu deformují. Mění se elektrická energie na mechanickou. Po přiložení ultrazvukové sondy na povrch těla proniká vlnění do tkání. Při vyšetření je 99 % času využito k přijímání odrazů a pouze 0,5 % času je vlnění vysíláno. (Vomáčka, 2015, s. 38) Ke správnému provedení vyšetření je potřebné použití ultrazvukového gelu. Tento gel se nanáší mezi sondu a kůži pacienta, kde zabraňuje vzniku vzduchové vrstvy. Při dopadu vlnění na hranici vzduchu a tekutého prostředí nebo taky měkkých tkání dochází k odrazu velké části vlnění. Bez použití gelu by proto bylo vyšetření těžko proveditelné a hodnotitelné, na obraze bychom nic neviděli.

K vyšetření se používá několik druhů sond. Mezi nejběžněji používané patří sektorová, lineární a konvexní sonda. K zobrazení povrchových struktur se používá lineární sonda, její výsledný obraz má tvar obdélníku. K vyšetření břicha a pánve se využívá konvexní sonda. Sektorovou sondu zvolíme k vyšetření oblastí, kde je malý prostor pro průchod ultrazvukového vlnění např. mezi žebry. Výsledný obraz u konvexní a sektorové sondy má vějířovitý tvar. Vybíráme tedy sondu, která je vhodná pro danou oblast a která

vysílá nejlepší frekvenci pro vyšetření dané oblasti. Sondy o frekvenci 2-5 MHz se používají k vyšetření hlouběji uložených orgánů, sondy o frekvenci 5-15 MHz se využívají pro hodnocení povrchových struktur. (Ferda, 2015, s. 20)

Způsob zobrazení vracejících se ech (odrazů) záleží na tom, jaký mód zobrazení použijeme. Rozlišujeme A, B a M mód. Při použití A módu se zobrazí křivka, která zobrazuje intenzitu odrazu od různých tkání. Můžeme měřit vzdálenosti mezi strukturami. (Palmer, 2000, s. 20) Nejčastěji používaný je B mód. Při provádění ultrazvuku dochází k mnoha odrazům od tkání vedle sebe, každý odraz má potom přidělený určitý stupeň šedi podle jeho intenzity. Vzniká obraz ve stupních šedi. (Heřman, 2014, s. 18) K zobrazení pohybujících se tkání (nejčastěji jde o srdce) slouží zobrazení v M módu. V M módu tedy vidíme data zobrazena v B módu jdoucí rychle za sebou v čase. V porodnictví nebo v ortopedii se stále častěji využívá trojrozměrného zobrazování. 3D obraz vznikne rekonstrukcí z řady několika dvojrozměrných řezů. Některé výkonné počítače dokážou provádět 3D rekonstrukci v reálném čase, mluvíme potom o 4D sonografii. (Seidl, 2012, s. 41-42) Pro zjišťování rychlosti toku krve v cévách je využívána dopplerovská sonografie. Při nichž se využívá Dopplerova jevu. Ten spočívá v tom, že frekvence ultrazvukového vlnění se mění při odrazu od tělesa, které se zároveň pohybuje. Ultrazvuk dopadá a odráží se od pohybujících se červených krvinek. Protože jsou však krvinky několikrát menší, než vlnová délka ultrazvuku nesnímá se klasický odraz vlnění, ale jeho rozptyl. Pokud krev teče směrem k sondě, frekvence se zvyšuje. Naopak pokud krev teče od sondy, frekvence vlnění se snižuje. Dopplerovským frekvenčním posunem označujeme rozdíl frekvencí. Rozlišujeme dva principy dopplerovského zobrazování, spektrální a barevné. Při spektrálním záznamu se nám graficky zobrazí závislost rychlosti toku krve na čase. Při barevném záznamu se nám zobrazí směr toku krve, červeně se zobrazí krev tekoucí k sondě a modře krev tekoucí od sondy. (Eliáš, 1998, s.20-21)

Ultrazvuk je zobrazovací metoda, která nemá během klasického diagnostického vyšetření téměř žádné nežádoucí účinky nebo kontraindikace. Známe však dva případné nežádoucí účinky ultrazvuku. Prvním je zvýšení teploty tkání při působení ultrazvukových vln a druhým je možná kavitace. Z tohoto důvodu by mělo být rozumně omezeno ultrazvukové vyšetření během těhotenství, protože vyvíjející se tkáň je náchylnější k termickým účinkům ultrazvuku. Je proto také důležité vhodně volit indikace k vyšetření. Mezi výhody využití ultrazvuku jako zobrazovací metody patří nulová radiační zátěž, velká dostupnost, malá finanční nákladnost a rychlost vyšetření. Existují však i limitace např.

obezita pacienta, nespolupráce pacienta nebo nelze dobře rozlišit tkáně uložené vedle sebe, které mají podobnou echogenitu. (Malíková, 2019, s.47-48)

4.2 Ultrasonografie zápěstí

Vyšetření karpálního tunelu

Při tomto vyšetření sedí pacient naproti vyšetřujícímu lékaři, ruku má položenou dlaní nahoru. Loket drží v 45° flexi. Pro vyšetření karpálního tunelu je vhodné použít sondu vysílající vysoké frekvence, tato sonda dokáže zobrazit více detailů, ale signál neproniká do hloubky. Orientační body pro vyšetření jsou os pisiforme a distální zápěstní rýha. Během axiální orientace sondy je sonda položena nad distální zápěstní rýhou kolmo k zápěstí a k dlouhé ose předloktí. Při této orientaci měříme plochu průřezu nervus medianus. Hodnotit můžeme taky cysty a útvary v karpálním tunelu. Další používanou orientací sondy pro hodnocení karpálního tunelu je longitudinální orientace. Sonda je při vyšetření vystředěna nad karpálním tunelem a zarovnána s dlouhou osou předloktí. Hodnotíme struktury v karpálním tunelu, možné natržení nervu nebo diagnostikujeme zánět šlach. Pokud vidíme zvětšený n. medianus, můžeme nález hodnotit jako syndrom karpálního tunelu.

Vyšetření zánětu šlach prvního dorzálního kompartmentu

Během vyšetření sedí pacient naproti lékaři, předloktí a zápěstí má položené na stole malíkovou stranou dolů, palec směřuje nahoru. Při axiální orientaci sondy je důležité nahmatat kostěné orientační body a šlachy svalů prvního kompartmentu. Sonda je položena kolmo k dlouhé ose předloktí, může nastat situace, kdy se okraje sondy nedotýkají kůže pacienta. Sken děláme distálním a proximálním směrem. K hodnocení v. caphalica a a. radialis používáme barevný mód dopplerovského zobrazování. Longitudinální orientace se během tohoto vyšetření skoro nepoužívá, sonda musí být položena v rovině s dlouhou osou předloktí nad šlachami prvního dorzálního kompartmentu.

Vyšetření kloubů zápěstí

Při vyšetření kloubů zápěstí je ultrazvuk zobrazovací metodou, která má velký přínos. Za použití ultrazvuku můžeme diagnostikovat synovitidy, revmatoidní artritidu, synoviální výpotky, synoviální hypertrofie, depozity krystalů nebo kostní změny (eroze nebo osteofyty). Pomocí ultrazvuku můžeme také aspirovat kloubní tekutiny k diagnostickým účelům a zavádět terapeutické injekce do prostor zápěstních kloubů. Pokud vyšetřujeme

hřbetní stranu, drží pacient ruku dlaní dolů. Při vyšetření ventrální strany zápěstí drží pacient ruku dlaní nahoru, ruka může být taky v mírné dorzální flexi. K vyšetření volíme vysokofrekvenční lineární sondu (10-18 MHz), protože hodnotíme povrchové struktury. Mezi orientační body k vyšetření patří Listerův hrbolek, processus styloideus ulnae a os scaphoideum. Sondu zase můžeme orientovat axiálně a longitudiálně. Při axiální orientaci pokládáme sondu v transversální rovině nad střední proximální linií kloubu. Sondu posouváme distálně. K hodnocení lig. scapholunatum, tedy hodnocení mezery mezi os scaphoideum a os lunatum, je potřeba, aby pacient provedl ulnární dukci. Během provádění vyšetření s longitudinální orientací sondy umístíme sondu na Listerův hrbolek, poté sondou pohybujeme mediálně a laterálně. Potom položíme sondu na processus styloideus a orientujeme sagitálně. V koronární rovině hodnotíme ulnu a triangulární fibroartilaginózní komplex. Naposledy položíme sondu do sagitální šikmé roviny na bázi prvního metakarpu, následně posuneme sondu proximálně. Hodnotíme degenerativní změny kostí. (Fowler, 2020, s. 51-70)

5 Magnetická rezonance

Zobrazení magnetickou rezonancí se využívá především k vyšetření měkkých tkání, dokáže dobře zobrazit svaly, šlachy chrupavky a vazy. Používá se taky k zobrazení kostní dřeně. (Heřman, 2014, s. 83) Výhody použití magnetické rezonance oproti výpočetní tomografii jsou lepší citlivost pro zobrazení měkkých tkání, pacient není vystaven radiační zátěži a je možné zobrazit objem v jakékoliv rovině. Nevýhodou je menší dostupnost a finanční nákladnost vyšetření. (Dungl, 2014, s. 35)

5.1 Princip magnetické rezonance

Magnetická rezonance není na rozdíl od rentgenu nebo výpočetní tomografie založena na principu absorpce ionizujícího záření v tkáních. Pacient tedy není vystaven radiační zátěži. Během vyšetření magnetickou rezonancí leží pacient ve velmi silném magnetickém poli, to je udáváno v jednotkách Tesla (T). Do těla jsou vysílány radiofrekvenční pulsy a následně je snímán magnetický signál, který je produkován jádrem atomu vodíku v těle pacienta. Magnetický signál potom slouží k rekonstrukci výsledného obrazu. (Vomáčka, 2015, s. 47)

Princip magnetické rezonance spočívá ve fyzikálním jevu, kdy jádra atomů, která mají lichý počet protonů, mají vlastnosti slabého magnetu. Pokud jsou tyto atomy uloženy do magnetického pole, mohou přijímat i vysílat energii jako elektromagnetické vlnění. (Malíková, 2019, s. 28) Využívají se tomografické přístroje magnetické rezonance o síle magnetického pole 1,5 T. V dnešní době však přibývá přístrojů o síle magnetického pole 3 T. (Seidl, 2012, s. 53) Při zobrazování magnetickou rezonancí se využívá atom vodíku, který má ve svém jádře pouze jeden proton. Vodík je v těle velmi rozšířen, a proto je umožněno zobrazování velkého množství tkání. Jádra atomu jsou uspořádána náhodně, pokud je však tkáň uložena v silném magnetickém poli (B_0), utřídí se spiny protonů do dvou směrů. Jeden směr však bude vždy převažovat, a proto je magnetický moment protonů v jednom směru. Proton pak provádí dva druhy pohybu, točí se kolem své osy, pohyb nazýváme spin a rotuje po obvodu pomyslného kužele, pohyb nazýváme precese. (Heřman, 2014, s. 25) Larmorova rovnice $\omega_0 = B_0 \times \gamma$ (B_0 je intenzita zevního magnetického pole, γ je gyromagnetická konstanta) popisuje frekvenci precesního pohybu. Aby mohlo dojít k rezonanci musíme dodat protonům energii radiofrekvenčním pulsem o stejné frekvenci, jako je jejich Larmorova frekvence. (Malíková, 2019, s. 31) K vychýlení magnetického momentu protonu o jistý úhel a k sladění precese všech protonů dochází po aplikaci

radiofrekvenčního impulsu. Když přestane pulz působit, dostávají se protony pomalu do původního stavu. Čas, který uběhne od aplikaci pulzu po návratu protonu do původního stavu se nazývá relaxační čas. Relaxační čas T1 označuje čas potřebný k návratu magnetického momentu. Relaxační čas T2 označuje čas, za který se zruší synchronizace precese protonů. (Heřman, 2014, s. 25–26) Pro tkáně, které obsahují vysoký podíl vody jsou T1 a T2 časy dlouhé. Pro tukovou tkáň jsou naopak tyto časy krátké. (Nekula, 2007, s. 10) Přijímaný signál má charakter elektromagnetického vlnění a zaznamenáváme jej pomocí cívek. Pro získání co nejkvalitnějšího obrazu musí být cívky co nejbližší k vyšetřovanému objemu. Proto je pro každou část těla specifická přijímací cívka. (Heřman, 2014, s. 26)

Sekvencí nazýváme sérii excitačních impulzů, které probíhají mezi jednotlivými relaxacemi. (Nekula, 2007, s. 11) Mezi základní využívané sekvence řadíme T1 vážený obraz, T2 vážený obraz a PD (proton denzitní obrázky). T1 sekvence slouží převážně k anatomickému hodnocení tkání. Pomocí T2 sekvence se dobře odlišují různá tkáňová rozhraní. PD sekvence se používá nejméně, používá se při vyšetření mozku a velkých kloubů. V praxi se využívají ještě dvě další sekvence, a to sekvence s potlačením signálu vody a sekvence s potlačením signálu tuku. Sekvence STIR (s potlačením signálu tuku) se nejčastěji využívá pro vyšetření páteře a velkých kloubů. Sekvence FLAIR (s potlačením signálu vody) se nejvíce využívá při vyšetření mozku. (Nekula, 2007, s. 16-17) Protože vyšetření magnetickou rezonancí bývají dlouhá, existují taky rychlé sekvence. Rychlých sekvencí existuje více např. Fast Low Angle Shot (FLASH), Fast Field Echo (FFE), GRASS...Souhrnně se pro všechny tyto sekvence používá termín gradientní echo. (Vomáčka, 2015, s. 52)

MR obrázky se během vyšetření zhotovují ve třech rovinách, sagitální, transverzální a koronární. Při popisu obrázků z magnetické rezonance používáme termíny, které popisují sílu vysílaného signálu během jednotlivých sekvencí. Hypersignální nebo hyperintenzní označujeme tkáň s vysokou intenzitou signálu (na obrazech jsou světlé), izosignální nebo izointenzní hodnotíme tkáň se stejnou intenzitou signálu, hyposignální nebo hypointenzní značíme tkáň s nízkou intenzitou signálu (na obrazech jsou tmavé). Asignální jsou tkáň bez signálu (na obrazech černé). Během různých sekvencí je intenzita signálu dané tkáňe pokaždé jiná, a proto je důležité vždy při popisu uvést i použitou sekvenci. (Heřman, 2014, s. 27) Rozdíly můžeme sledovat např. u tekutiny, ta je na T1 v.o. hyposignální, na T2 v.o. hypersignální a při použití PD sekvence je signál střední. Naproti tomu kost je pokaždé asignální, protože obsahuje jen minimální množství vody. Tuk mívá ve většině případů velkou intenzitu signálu. (Dungl, 2014, s. 35)

Jde o finančně náročnější a méně dostupnou metodu na rozdíl od CT nebo rentgenu. Většinou jde o metodu druhé volby hned po rentgenu nebo CT. Magnetická rezonance vyniká v zobrazení měkkých tkání. Mezi indikace k vyšetření řadíme postižení mozku, míchy a posouzení tumorů v oblasti malé pánve. Díky nepřítomnosti ionizujícího záření je MR využívána pro vyšetření dětí nebo těhotných žen. (Malíková, 2019, s.38) MR rezonance dokáže zobrazit chrupavky, vazy, menisky, svaly, tekutinu a kostní dřev. Mezi absolutní kontraindikace řadíme přítomnost kardiostimulátoru, elektronicky řízeného implantátu, cévní svorky a kovová tělesa v oku. Dnes již existují kardiostimulátory kompatibilní s MR. Mezi relativní kontraindikace patří klaustrofobie, první trimestr těhotenství a cizí kovová tělesa. Kovová tělesa mohou způsobit artefakty na výsledném obraze. Dnes vyráběné implantáty jsou z materiálů kompatibilních s MR, a proto jsou kontraindikací jen šest týdnů po implantaci. (Vomáčka, 2015, s. 57)

5.2 Kontrastní látky

Během vyšetření magnetickou rezonancí se v některých případech používají kontrastní látky. Jde o paramagnetické kontrastní látky, které obsahují gadolinium. Jejich účinek spočívá ve zkrácování relaxačních časů. (Nekula, 2007, s. 26) Toto zkrácení způsobuje u T1 obrazů zesílení signálu a u T2 obrazů k zeslabení signálu. Gadolinium bývá navázáno na cheláty a vzniká komplex Gd-DTPA. Jako příklad používaných KL uvádí Neuwirth např. Optimark, Omniscan a Dotarem. Existují také specifické orgánové nebo tkáňové KL. (Neuwirth, 2016, s. 441)

5.3 Konstrukce přístroje magnetické rezonance

Přístroj MR se skládá z gantry, ve kterém je uložen silný stacionární magnet, z vyšetřovacího stolu, systému cívek a z počítačového systému.

Podle konstrukce rozlišujeme tři typy magnetů, odporové (rezistivní), permanentní a supravodivé magnety. V dnešní době se využívají jen supravodivé a permanentní magnety, které jsou chlazeny heliem. Další část přístroje je gradientní magnetický systém složený ze tří gradientních cívek. Tento systém slouží ke stanovení vrstvy a tloušťky vyšetření, je také zdrojem hluku, který slyšíme při vyšetření.

Cívky slouží k vysílání a přijímání signálu. Permanentní cívky jsou zabudované v gantry, slouží jako vysílač i jako přijímač signálu. Používají se při celotělovém vyšetření a vyšetření páteře. Povrchové cívky jsou pouze přijímací. Tyto cívky jsou určeny specificky

pro každou vyšetřovací oblast. Používá se cívka hlavová, krční páteřní, kolenní, ramenní a zápěstní. Během vyšetření můžeme taky použít univerzální cívky, které tvarujeme na požadovanou oblast (rameno, zápěstí, loket, nohy). (Vomáčka, 2015, s. 53)

5.4 Vyšetření zápěstí magnetickou rezonancí

Jde o vyšetření radioulnárního skloubení a zápěstních kůstek. Na výsledném obrazu hledáme degenerativní nebo posttraumatické změny, které vznikají často po zlomenině distálního radia. Vyšetření slouží taky k posouzení vazivového aparátu zápěstí a triangulárního fibroartilaginózního komplexu. Protože je zápěstí velmi složité skloubení, zhotovujeme obrazy ve všech třech základních rovinách – koronální, sagitální a transverzální. Při vyšetření nesmí mít pacient na sobě žádné kovové předměty. Ke správnému provedení vyšetření je vhodné použít povrchovou cívku, nejlépe však vícekanálovou zápěstní. Během celého vyšetření leží pacient na břiše se vzpaženou rukou. Eventuelně může mít horní končetinu položenou podél těla, zde je ale možné riziko vzniku artefaktů z oblasti pánve. Protokol vyšetření by měl vždy obsahovat T1 bez FS, PD s FatSet a 3D sekvenci s vysokým rozlišením. (Mechl, 2014, s. 60) Na MR obraze zápěstí hodnotíme v koronálních řezech postavení kostí, skafolunární a lunotriquetrální vaz, kontinuitu vazů palce, tvar disku a vazy triangulárního fibroartilaginózního komplexu. Na axiálním řezu hodnotíme šíři šlach, nervus medianus a nervus ulnaris, karpální tunel a radioulnární skloubení. V posledním sagitálním řezu hodnotíme šlachy prstů. (Neuwirth, 2016, s. 97)

5.4.1 Zobrazení scapholunárního vazu pomocí MR

Tento vaz stabilizuje proximální řadu karpálních kůstek. Skládá se z palmární a dorzální části. Dorzální část je silnější. Při poškození tohoto vazů se objevují chronické bolesti nebo nestabilita zápěstí.

Prvním typem vyšetření je nativní zobrazení. Toto zobrazení se používá u revmatologických a onkologických indikací nebo u skrytých zlomenin. Scapholunární vaz dokážeme dobře zobrazit pomocí T2 sekvence s potlačením tuku. Při průkazu ruptury můžeme vidět synoviální tekutinu v oblasti vazů v místě, kde se potkává midkarpální a radiokarpální kloub.

Mezi další standartní vyšetření scapholunárního vazů patří MR artrografie. Pro zobrazení jasně ohraničených jemných struktur vazů je potřeba aplikovat intraartikulárně směs kontrastní látky (20 ml fyziologického roztoku a 0,1 ml Acidum Gadotericum).

Aplikujeme asi 2 ml KL. Během aplikace pacient sedí s rukou dlaní dolů. Při vyšetření leží pacient s horní končetinou podél těla s dedikovanou zápěstní cívkou. Volíme T1 sekvence v koronární a sagitální rovině a PD sekvenci v koronární rovině.

Další metodou zobrazení pomocí MR je nativní zobrazení s pomocí mikroskopické cívky. Protože chceme dosáhnout co největší kvality zobrazení je potřeba zacílit vyšetření na úsek zápěstí s hodnocenou patologií. Pokud používáme menší velikost oblasti zájmu mluvíme o tzv. field of view. (Štouračová, 2016, s. 32-36)

5.4.2 Zobrazení triangulárního fibrokartilaginózního komplexu pomocí MR

TFCC je komplex, který vytváří oporu proximální řady zápěstních kůstek na ulnární straně a stabilizuje distální radioulnární kloub. Zároveň zajišťuje přenos pohybu z kosti loketní na zápěstí. Tento komplex na sebe bere až 20 % axiální zátěže zápěstí. (Neuwirth, 2016, s. 96) Je tvořen artikulárním diskem, volárním a dorzálním radioulnárním vazem, ulnokarpálním kolaterálním vazem a šlachou extenzor carpi ulnaris. Zajišťuje podporu proximální řady zápěstních kostí a stabilizuje distální radioulnární kloub.

Nativní vyšetření magnetickou rezonancí provádíme pomocí povrchové cívky. Pro správné hodnocení TFCC volíme sekvenci T1 v koronární rovině, T2 s potlačením tuku v koronární rovině, T2 transversální obrazy, PD sekvenci v sagitální rovině a 3D gradientní koronární obrazy. MR artrografie je oproti nativnímu zobrazení přesnější, může přinést jednoznačný výsledek při postižení TFCC nebo při degenerativních změnách chrupavky. Při artrografii můžeme hodnotit samotný TFCC nebo různé patologie mezi klouby zápěstí. Při MR artrografii volíme T1, T2 a PD sekvenci v koronární rovině, T1 sekvenci s potlačením signálu tuku v koronární, sagitální a transversální rovině a 3D gradientní koronární obrazy.

Během obou vyšetření leží pacient buď na břiše se vzpaženou horní končetinou nebo na zádech s horní končetinou podél těla. Je možná i poloha na zádech se vzpaženou rukou. Vždy musí být poloha pro pacienta komfortní, aby vydržel ve stejné pozici celou dobu vyšetření. (Šprláková-Puková, 2008, s. 310-312)

5.5 MR artrografie

Při MR artrografii podáváme paramagnetickou kontrastní látku. Rozlišujeme dva druhy MR artrografi – přímou a nepřímou.

Při nepřímé artrografii podáváme paramagnetickou kontrastní látku intravenózně. Standardizovaná dávka KL je 0,1 mmol/kg. Pro dobré nasycení kloubu a nitrokloubní tekutiny je potřeba, aby pacient pohyboval zápěstím nejlépe 30 minut před MR vyšetřením.

Mnohem přínosnější je ale zobrazení pomocí přímé artrografie, při které je kontrastní látka zavedena přímo do kloubu. Do kloubu aplikujeme fyziologický roztok, ale lepší je aplikovat ředěnou paramagnetickou kontrastní látku. Lépe pak rozlišíme chrupavky, vazy a šlachy od nitrokloubní tekutiny. Kontrastní látka bývá ředěna v poměru 1: 200, tedy 0,1 ml KL do 20 ml fyziologického roztoku. V některých případech se přidává i malé množství jodové kontrastní látky. Během aplikace nesmí dojít k aplikaci vzduchu, vzduchové bubliny následně vytvářejí v obraze artefakty a nález je hůře hodnotitelný. Během hodnocení nálezu posuzujeme komunikaci kloubních struktur a hledáme porušení spojitosti kloubních pouzder, pokud zatéká kontrastní látka nitrokloubně. Pro intraartikulární aplikaci KL existují absolutní kontraindikace, jsou to infekční artritida, infekce pokožky a nedostatečná aseptise. Porucha krevní srážlivosti je relativní kontraindikací. (Žižka, 2015, s. 119)

Vyšetření zápěstí pomocí přímé MR artrografie je velice přínosné, protože dokáže zobrazit nejen patologickou komunikaci mezi klouby, ale i jednotlivé struktury. Při zavádění kontrastní látky dorzálně pacient sedí a ruku má volně položenou dlaní dolů. Orientačními body při punkci jsou tuberculum listeri radia a štěrbina radiokarpálního kloubu. Jehla se zavádí do kloubní štěrbině mezi šlachy m. extenzor policis longus a m. extenzor indicis. Možný je taky dorzo-ulnární přístup. Orientačním bodem je potom proc. styloideus ulnae. Množství podané kontrastní látky se pohybuje v rozmezí 3-6 ml. Pro správné rozložení kontrastní látky v celém kloubu je potřeba, aby pacient po aplikaci kroužil zápěstím. K aplikaci není potřeba skiaskopická nebo ultrazvuková kontrola. K vyšetření volíme protokol, který obsahuje T1 sekvence s obrazy ve třech rovinách, PD a T2 sekvence s obrazy v koronární rovině a T1 sekvenci se saturací tuku v rovině koronární a transverzální. Přínosné může být taky použití 3D sekvence. Tloušťka vrstvy je 1,5-2 mm.

Indikací k MR artrografii zápěstí je vyloučení poškození TFCC nebo ruptury vazů. K těmto obtížím může vést zlomenina distálního radia nebo můžou vzniknout přetěžováním kloubu. (Šprláková-Puková, 2007, s. 56-57)

6 Základy radiační ochrany v radiodiagnostice

Během lékařského ozáření se v radiodiagnostice uplatňují čtyři principy radiační ochrany. Jde o princip odůvodnění, optimalizace, limitování dávek a princip bezpečnosti zdrojů. Nyní se podíváme na každý podrobněji.

Princip zdůvodnění říká, že z každého vyšetření, při kterém je využíváno ionizujícího záření, musí vycházet přínos pro vyšetřovaného pacienta, který vyrovnává možná rizika, která mohou vzniknout v důsledku ozáření. Je tedy na lékaři, aby vyšetření správně indikoval. Princip optimalizace říká, že je potřeba použít co nejmenší dávku záření tak, aby byla stále přínosná diagnostická informace. Cílem tedy je vytvořit kvalitní snímek s použitím co nejnižší dávky záření. Tento princip značíme taky jako ALARA (As Low As Reasonably Achievable). Princip limitování dávek říká, že nesmí dojít k takovému ozáření osob, aby byly překročeny limity záření. Tento princip neplatí pro lékařské ozáření, protože by mohl být omezen diagnostický přínos. Platí však pro radiační pracovníky. Podle principu bezpečnosti zdrojů musí všechny zdroje ionizujícího záření procházet pravidelnými kontrolami. Jde o přijímací zkoušku, zkoušky dlouhodobé stability a zkoušky provozní stálosti. (Súkopová, 2018, s.23-25)

V rámci radiační ochrany pacientů je potřeba během snímkování stínit rizikové orgány, jde o tzv. kontaktní stínění. Využívá se olověná guma nebo hmota s příměsí olova. Je potřeba vykryvat především gonády nebo štítnou žlázu. (Hušák, 2009, s. 87) Existují tři způsoby radiační ochrany pracovníků. Jde o ochranu časem, kdy se pracovník vyhýbá dlouhému pobývání v blízkosti zdroje záření. Ochrana vzdáleností funguje na principu kdy, čím je větší vzdálenost od zdroje, tím menší dávku záření pracovník dostává. A poslední ochrana stíněním se provádí tak, že mezi pracovníka a zdroj záření je umístěna vrstva vhodného materiálu (betonové stropy a podlahy, dveře vyložené olovem). (Hušák, 2009, s.65-67)

6.1 Specifika dětské radiodiagnostiky

Při vyšetření dětských pacientů musíme mít na paměti, že děti nejsou malí dospělí. K dětem proto musí mít speciální přístup radiologický asistent i lékař – radiolog. Lékař nesmí při vyhodnocování RTG snímků zapomínat na fyziologické rozdíly těla během jeho vývoje.

U dětí je ještě víc než u dospělých důležitá radiační ochrana během vyšetření, proto je vždy potřebné důkladně zvážit indikaci k danému vyšetření. Pokud máme možnost využít

zobrazovací metodu, která nezatěžuje pacienta ionizujícím zářením (ultrazvuk, magnetická rezonance) zvolíme ji. Při vyšetření dětí pomocí rentgenu je potřeba snížit dávku záření, ale nesmí to být na úkor kvality obrazu. Zamezit musíme taky opakovanému pořízení snímku. Během provádění CT taky snižujeme radiační zátěž snížením dávky záření. Při pořizování snímků se musí vždy krýt pohlavní orgány a pečlivě vymezit svazek záření. Děti bývají během vyšetření často neklidné a nemusí chápat pokyny, které jim dáváme během vyšetření. Proto používáme fixační pomůcky. V některých případech může dítě během výkonu držet rodič nebo zdravotní sestra. V takové situaci musí být do speciálního sešitu zaznamenáno datum, jméno dítěte a jméno doprovázející osoby. Radiologický asistent nemůže dítě držet. Během složitějších a delších výkonů např. CT nebo MR bývá nutná analgosedace nebo celková anestezie. (Seidl, 2012, s. 73)

V dětském věku se prostý snímek zápěstí provádí nejen při podezření na zlomeninu, ale hodnotí se i tzv. kostní věk. Ten určujeme z AP snímku levého zápěstí, který srovnáváme se snímky v atlasu a hodnotíme podle pohlaví a kalendářního věku. Ultrasonografie se využívá při hodnocení kloubů a měkkých tkání muskuloskeletálního systému. Používá se lineární sonda o frekvenci 8-15 MHz. Magnetická rezonance bývá pro svou nulovou radiační zátěž náhradou za výpočetní tomografii. Slouží k hodnocení skeletu a měkkých tkání. (Heřman, 2014, s. 304) (Vomáčka, 2015, s. 125-126)

Závěr

V této bakalářské práci byly popsány jednotlivé zobrazovací metody využívané při anatomickém zobrazování zápěstí. Konkrétně se jedná o tyto zobrazovací metody: rentgen, ultrazvuk, výpočetní tomografie a magnetická rezonance. Každá metoda potom byla jednotlivě rozepsána. Byl stručně popsán princip fungování a vzniku obrazu u dané metody. Dále byl vytvořen výčet výhod a nevýhod, indikací a kontraindikací k danému vyšetření. Práce taky obsahuje popis konkrétního provedení vyšetření zápěstí u jednotlivých metod včetně technických parametrů a nastavení pacienta.

V práci byly splněny cíle, které byly stanoveny v úvodu této práce. Vytvořit přehled nejčastěji používaných zobrazovacích metod zápěstí a popsat jejich princip a nalézt nejlepší zobrazovací metodu pro zobrazení kostí, kloubních prostor a měkkých tkání zápěstí.

Základní a nejčastěji používanou metodou je stále skiagrafické zobrazování. Ve většině případů bývá metodou první volby. Tato metoda umožňuje dobré zobrazení kostěných struktur a kloubních prostor zápěstí. Dokáže zobrazit patologie, zlomeniny a šířku kloubních prostor zápěstí. Jedná se taky o metodu nejdostupnější a finančně méně nákladnou. Limitací této metody je však nemožnost zobrazení měkkých tkání.

Další popsanou metodou je výpočetní tomografie. Tato metoda je už finančně a časově náročnější a více zatěžuje pacienta radiační zátěží. Dokáže však lépe zobrazit měkké tkáně a lomné linie při traumatu zápěstí. Velkou výhodou výpočetní tomografie je možnost 3D zobrazení v rámci postprocessingu.

V práci byl dále popsán ultrazvuk, jako další možná metoda při zobrazování zápěstí. Při tomto vyšetření není pacient vystaven radiační zátěží. Ultrazvuk je metoda vhodná k zobrazování měkkých tkání. Dokáže ukázat ruptury šlach a vazů a taky patologické útvary jako cystu nebo hematom. Mezi jeho výhody patří také nízká finanční nákladnost a velká dostupnost. Nevýhodou a omezením je ultrazvukové zastínění diagnostikovaných míst za kostní strukturou.

Nejlepší zobrazovací metodou pro zobrazení měkkých struktur zápěstí je magnetická rezonance. Dokáže výborně zobrazit chrupavky, šlachy a vazy. Používá se taky při zobrazování kostní dřeni. Stejně jako u ultrazvuku není pacient při vyšetření vystaven radiační zátěží. Magnetická rezonance je bezesporu nejvhodnější pro zobrazení měkkých tkání. Její nevýhodou je však vysoká finanční náročnost a malá dostupnost, která se odráží v dlouhých čekacích dobách na vyšetření. Nevýhodou je taky široká škála kontraindikací,

mezi které patří přítomnost kovových těles v těle pacienta nebo kardiostimulátor nekompatibilní s magnetickou rezonancí.

Referenční seznam

BONTRAGER, Kenneth L. a John P. LAMPIGNANO, 2005. *Textbook of radiographic positioning and related anatomy*. 6th ed. St. Louis, Mo.: Elsevier Mosby, 850 s. ISBN 0323025072.

ČIHÁK, Radomír, 2011. *Anatomie*. Třetí, upravené a doplněné vydání. Ilustroval Ivan HELEKAL, ilustroval Jan KACVINSKÝ, ilustroval Stanislav MACHÁČEK. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-3817-8.

DOUŠA, Pavel, Tomáš PEŠL, Valér DŽUPA a Martin KRBEČ, ed., 2021. *Vybrané kapitoly z ortopedie a traumatologie pro studenty medicíny*. Praha: Univerzita Karlova, nakladatelství Karolinum. ISBN 978-80-246-4828-6.

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

ELIÁŠ, Pavel, 1998. *Dopplerovská ultrasonografie*. Hradec Králové: Nucleus HK. ISBN 80-901753-5-X.

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

FERDA, Jiří, Boris KREUZBERG a Milan NOVÁK, 2002. *Výpočetní tomografie*. Praha: Galén. ISBN 80-7262-172-6.

FOWLER, John R. a Nandkumar M. RAWOOL, 2020. *Ultrazvuk ruky a horní končetiny: praktické postupy*. Přeložil Eva ONDROUŠKOVÁ, přeložil Alena ŠTOURAČOVÁ. Praha: Grada Publishing, 192 s. ISBN 978-80-247-3449-1.

HEŘMAN, Miroslav, 2014. *Základy radiologie*. V Olomouci: Univerzita Palackého, 314 s. Učebnice. ISBN 978-80-244-2901-4.

HUŠÁK, Václav, 2009. *Radiační ochrana pro radiologické asistenty*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 978-80-244-2350-0.

MALÍKOVÁ, Hana, 2019. *Základy radiologie a zobrazovacích metod*. Praha: Univerzita Karlova, nakladatelství Karolinum. ISBN 978-80-246-4036-5.

MAŇÁK, Pavel a Pavel DRÁČ, 2012. *Osteosyntézy a artrodézy skeletu ruky*. Praha: Grada Publishing, 99 s. ISBN 978-80-247-3873-4.

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

MOELLER, Torsten B. a Emil REIF, 2009. *Pocket Atlas of Radiographic Positioning: Including Positioning for Conventional Angiography, CT, and MRI*. 2nd edition. Stuttgart: Thieme. ISBN 978-3-13-107442-3.

NAŇKA, Ondřej a Miloslava ELIŠKOVÁ, 2015. *Přehled anatomie*. Třetí, doplněné a přepracované vydání. Praha: Galén. ISBN 978-80-7492-206-0.

- NEKULA, Josef a Jana CHMELOVÁ, 2007. *Základy zobrazování magnetickou rezonancí*. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, Zdravotně sociální fakulta, 67 s. ISBN 978-80-7368-335-1.
- NEUWIRTH, Jiří a Jan ŠPRINDRICH, 2016. *Kompendium muskuloskeletálního zobrazování*. Praha: NEUW. ISBN 978-80-7553-025-7.
- ORT, Jaroslav a Sláva STRNAD, 1997. *Radiodiagnostika*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví. ISBN 80-7013-240-X.
- PALMER, Philip E. S., ed., 2000. *Manuál ultrazvukové diagnostiky*. Přeložil Ivana SUCHARDOVÁ, přeložil Josef ŠTĚPÁNČÍK. Praha: Grada Publishing, 376 s. ISBN 8071696897.
- SEIDL, Zdeněk, 2012. *Radiologie pro studium i praxi*. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-4108-6.
- SÚKUPOVÁ, Lucie, 2018. *Radiační ochrana při rentgenových výkonech - to nejdůležitější pro praxi*. Praha: Grada Publishing. ISBN 978-80-271-0709-4.
- ŠPRLÁKOVÁ-PUKOVÁ, Andrea, Miloš KEŘKOVSKÝ, Igor ČIŽMÁŘ, Daniel IRA a Petr VALIŠ, 2008. Triangulární fibrokartilaginózní komplex - možnosti jeho zobrazení. *Česká radiologie*. **62**(3), 309-312. ISSN 1210-7883.
- ŠPRLÁKOVÁ-PUKOVÁ, Andrea, Marek MECHL, Miloš KEŘKOVSKÝ a Tomáš UHER, 2007. Přímá MR artrografie. *Česká radiologie*. **61**(1), 54-62. ISSN 1210-7883.
- ŠTOURAČOVÁ, Alena, Andrea ŠPRLÁKOVÁ-PUKOVÁ, Igor ČIŽMÁŘ, Jana PROCHÁZKOVÁ, Jiří KUCHARSKÝ, Jan NOVÁK a Petr VALIŠ, 2016. Zobrazování scapholunárního vazů. *Česká radiologie*. **70**(1), 32-39. ISSN 1210-7883.
- TŘETINOVÁ, Daniela a Kateřina MRÁZKOVÁ, 2002. Snímkování traumat zápěstí. *Praktická radiologie*. **7**(3), 4-6. ISSN 1211-5053.
- VOMÁČKA, Jaroslav, 2015. *Zobrazovací metody pro radiologické asistenty*. Druhé, doplněné vydání. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 978-80-244-4508-3.
- ŽIŽKA, Jan, Jaroslav TINTĚRA a Marek MECHL, 2015. *Protokoly MR zobrazování: pokročilé techniky*. Praha: Galén, 163 s. ISBN 978-80-7492-179-7.

Seznam zkratek

CT – výpočetní tomografie

FFE – Fast Field Echo

FLAIR – sekvence s potlačením vody

FLASH – fast low angle shot

FS – fat saturation

GRASS

HU – Housfieldovi jednotky

Hz – Hertz

KL – kontrastní látka

kV – kilovolt

L – levá

MDCT – multidetektorová výpočetní tomografie

MR – magnetická rezonance

n. - nervus

RTG – rentgen

P – pravá

PA – zadopřední (posteroanterior)

PD – proton-denzitní

STIR – sekvence s potlačením tuku

T – Tesla

TFCC – triangulární fibrokartilaginózní komplex

v.o. – vážený obraz

Seznam příloh

Příloha č. 1 – RTG snímek zápěstí, PA projekce

Příloha č. 2 – RTG snímek zápěstí, bočná projekce

Příloha č. 3 – CT vyšetření zápěstí, 2D rekonstrukce v koronální rovině

Příloha č. 4 – CT vyšetření zápěstí, 2D rekonstrukce v sagitální rovině

Příloha č. 5 – CT vyšetření zápěstí, axiální rovina

Příloha č. 6 – CT vyšetření zápěstí, 3D rekonstrukce

Příloha č. 7 – MR vyšetření zápěstí, PD sekvence, transversální rovina

Příloha č. 8 – MR vyšetření zápěstí PDFS sekvence, koronální rovina

Příloha č. 9 – MR přímá artrografie zápěstí, T1FS sekvence, transversální rovina

Příloha č. 10 – MR přímá artrografie zápěstí, T1FS sekvence, koronální rovina

Příloha č. 1 – RTG snímek zápěstí, PA projekce



Zdroj: Archiv FNOL

Příloha č. 2 – RTG snímek zápěstí, bočná projekce



Zdroj: Archiv FNOL

Příloha č. 3 – CT vyšetření zápěstí, 2D rekonstrukce v koronální rovině



Zdroj: Archiv FNOL

Příloha č. 4 – CT vyšetření zápěstí, 2D rekonstrukce v sagitální rovině



Zdroj: Archiv FNOL

Příloha č. 5 – CT vyšetření zápěstí, axiální rovina



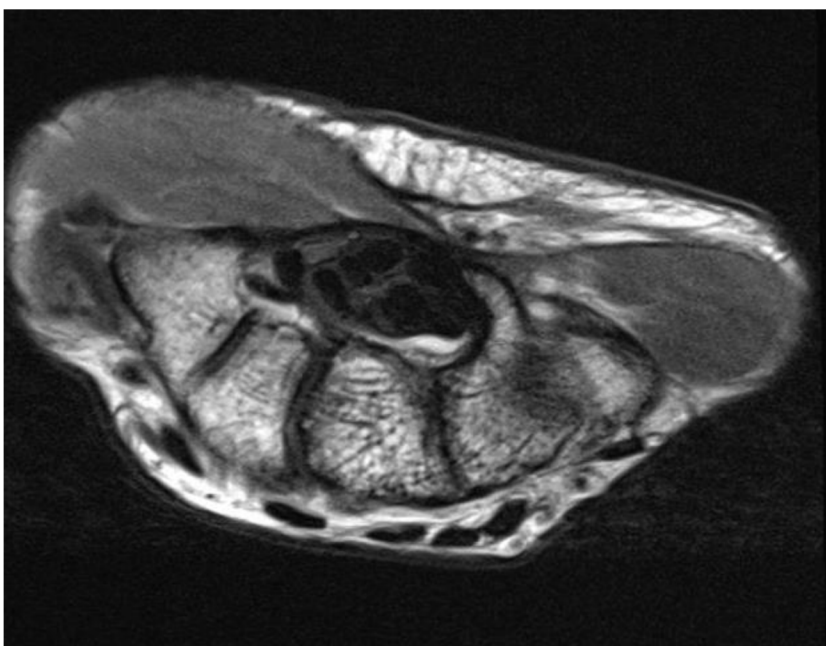
Zdroj: Archiv FNOL

Příloha č. 6 – CT vyšetření zápěstí, 3D rekonstrukce



Zdroj: Archiv FNOL

Příloha č. 7 – MR vyšetření zápěstí, PD sekvence, transversální rovina



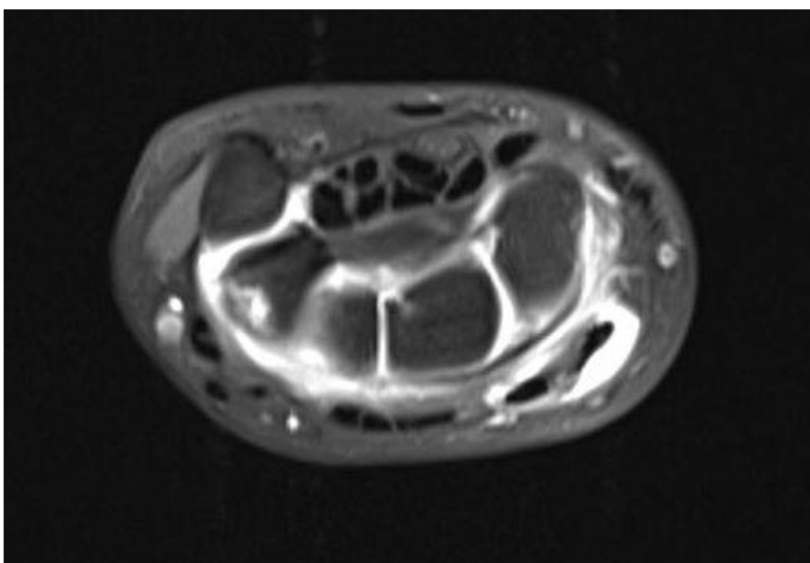
Zdroj: Archiv FNOL

Příloha č. 8 – MR vyšetření zápěstí PDFS sekvence, koronální rovina



Zdroj: Archiv FNOL

Příloha č. 9 – MR přímá arthrografie zápěstí, T1FS sekvence, transversální rovina



Zdroj: Archiv FNOL

Příloha č. 10 – MR přímá arthrografie zápěstí, T1FS sekvence, koronální rovina



Zdroj: Archiv FNOL