

**UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI**

**FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH VĚD**

Ústav radiologických metod

Anežka Chalánková

**Magnetická rezonance pro detekci karcinomu prsu a  
lymfatických uzlin**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Mgr. Kateřina Poláková, Ph.D.

Olomouc 2019

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

V Olomouci dne 15. 4. 2019

-----

Podpis

Chtěla bych poděkovat paní Mgr. Kateřině Polákové, Ph.D za její ochotu a trpělivost při vedení mé bakalářské práce a paní MUDr. Daně Houserkové, Ph.D. za konzultace a veškerou pomoc, kterou mi při psaní práce poskytla.

# ANOTACE

**Typ závěrečné práce:** Bakalářská práce

**Téma práce:** Magnetická rezonance v detekci karcinomu prsu a lymfatických uzlin

**Název práce v ČJ:** Magnetická rezonance pro detekci karcinomu prsu a lymfatických uzlin

**Název práce v ANJ:** Magnetic resonance imaging in detection of breast cancer and lymph nodes

**Datum zadání:** 2018-11-30

**Datum odevzdání:** 2019-04-15

**Vysoká škola, fakulta, ústav:** Univerzita Palackého v Olomouci  
Fakulta zdravotnických věd  
Ústav radiologických metod

**Autor práce:** Chalánková Anežka

**Vedoucí práce:** Mgr. Kateřina Poláková, Ph.D.

**Oponent práce:** MUDr. Lucia Veverková

**Abstrakt v ČJ:** Magnetická rezonance prsu patří mezi diagnostické metody pro detekci karcinomu prsu a postižení lymfatických uzlin. Mezi její nejdůležitější indikace patří preventivní vyšetření rizikových pacientů nebo tzv. staging již prokazaného karcinomu prsu. Kromě biopsie sentinelových lymfatických uzlin lze pro detekci stavu jejich postižení použít i magnetickou rezonanci. Pro vyšetření prsu na magnetické rezonanci se téměř vždy používají kontrastní látky. Cílem přehledové bakalářské práce bylo sumarizovat a předložit nejnovější vědecké poznatky o vyšetření a diagnostice karcinomu prsu a lymfatických uzlin pomocí magnetické rezonance. Bylo analyzováno 24 článků, 11 monografií a 2 akademické práce. Elektronické články byly vyhledány v databázích EBSCO, Medvik a Pubmed.

**Abstrakt v AJ:** Magnetic resonance of breast tissue is one of the diagnostic methods used for detection of breast cancer and disability of lymph nodes. Some of the main indications for this examination are preventive examination of risk patients and staging of the breast tumour. Alongside sentinel lymph nodes biopsy magnetic

resonance can be used for detection of disability of lymph nodes. Contrast agents are used in almost all cases of magnetic resonance examination of breast tissue. The aim of this bachelor thesis was to summarize and present the latest scientific knowledge about magnetic resonance imaging utilized in breast cancer and lymph nodes imaging. For this purpose 24 articles, 11 monographs and 2 academic works were analyzed. Electronic articles were found in EBSCO, Medvik and Pubmed databases.

**Klíčová slova v ČJ:** Magnetická rezonance, karcinom prsu, lymfatické uzliny, MR

**Klíčová slova v AJ:** Magnetic resonance, breast cancer, lymph nodes, MRI

**Rozsah práce:** 42/5

## Obsah

Úvod .....	7
1 Onemocnění prsu .....	9
1.1 Vyšetřovací metody v mamologii.....	10
2 Magnetická rezonance .....	13
2.1 MRI prsu.....	15
2.2 MRI lymfatických uzlin .....	22
3 Kontrastní látky pro MRI prsu .....	26
3.1 Kontrastní látky paramagnetické .....	27
3.2 Kontrastní látky superparamagnetické .....	27
4 PET/MR prsu .....	30
Závěr .....	31
Referenční seznam .....	32
Seznam zkratk.....	38
Obrazová příloha .....	40

## Úvod

K celosvětově nejrozšířenějšímu malignímu onemocnění u žen patří karcinom prsu. Jedná se o onemocnění rozšířené převážně v rozvinutých zemích, zejména v Evropě a Spojených státech. Incidence prudce stoupá, za posledních zhruba 30 let asi dvojnásobně. Včasná diagnostika je jedním z nejvlivnějších faktorů na vyléčení choroby (Vomáčka, 2015, s. 111).

Magnetická rezonance (MR) je důležitou zobrazovací metodou, která našla v mamodiagnostice významné uplatnění. Hlavní indikací pro vyšetření magnetickou rezonancí je tzv. „staging“ karcinomu prsu. Jedná se především o vyloučení multicentricity, multifokality, rozšíření jizvy či recidivy karcinomu po záchovné operaci. Jedná se také o screeningovou metodu u pacientek, u nichž je vysoká pravděpodobnost vzniku karcinomu prsu, či, obdobně jako u PET/CT, pro zhodnocení účinků chemoterapie. Nativní snímání prsu pomocí magnetické rezonance se dělá pouze k posouzení celistvosti implantátů, ve všech ostatních případech se vždy aplikuje kontrastní látka, nejčastěji gadoliniová (Nekula, 2014, s. 253).

Tato bakalářská práce se snaží odpovědět na otázky:

- Jaké jsou aktuální, validní poznatky ohledně vyšetření prsu a lymfatických uzlin pomocí magnetické rezonance?
- Jaká je role radiologického asistenta u vyšetření prsu a lymfatických uzlin na magnetické rezonanci?
- Jaké jsou nejčastěji používané kontrastní látky pro magnetickou rezonanci prsu?

Seznam vstupní literatury:

- DANEŠ, Jan a kolektiv. 2002. *Základy mamografie: vybrané kapitoly pro lékaře a laborantky*. 1. vydání. Praha: X-Egem. 199 s. ISBN 80-7199-062-0.
- FERDA, Jiří et al. 2002. *Inovativní zobrazovací metody*. 1. vydání. Praha: Galén. 140 s. ISBN 978-80-7492-186-5.
- HEŘMAN, Miroslav a kolektiv. 2014. *Základy radiologie*. 1. vydání. Olomouc: Univerzita Palackého. 314 s. ISBN 978-80-244-2901-4.

- SEIDL, Zdeněk a kolektiv. 2012. *Radiologie pro studium i praxi*. 1. vydání. Praha: Grada. 368 s. ISBN 978-80-247-4108-6.
- VOMÁČKA, Jaroslav a kolektiv. 2015. *Zobrazovací metody pro radiologické asistenty*. 2. vydání. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. 157 s. ISBN 978-80-244-4508-3.

Při tvorbě této přehledové bakalářské práce byly v prvním kroku rešeršní činnosti použity k vyhledání odborných článků a literatury databáze EBSCO, Medvik a PubMed. Na databázích v anglickém jazyce při použití klíčových slov MRI, magnetic resonance imaging, MRI scan, lymph nodes, MRI breast, diagnostic imaging a za použití omezujících podmínek: plný text, jazyk angličtina a pojem tezauru breast tumors, metastasis bylo naleznuto 45 článků, z nichž bylo použito 21. Na české databázi při použití klíčových slov magnetická rezonance, karcinom prsu s omezujícími parametry: časové rozpětí posledních 5 let, články a jazyk čeština bylo naleznuto 13 článků, z nichž byly použity 3. Nevyužité články neposkytovaly potřebné informace. Využita byla rovněž odborná literatura a akademické práce.



## 1 Onemocnění prsu

Mléčná žláza, párová kožní apokrinní žláza, je vytvářena z tzv. mléčné lišty, embryonálně stejně u obou pohlaví. Lišta postupně mizí a zůstává pouze v oblasti hrudníku. Po narození je žláza zakrnělá, u mužů po celý život, u žen se v období puberty rozvíjí vývody žlázy a vytvářejí se alveoly, které v těhotenství společně s vývody zřetelně proliferují. Samotný prs je krytý kůží a tvořen tukovou tkání a vlastní mléčnou žlázou. Na vrcholku se nachází prsní dvorec, uprostřed kterého se nachází prsní bradavka. Mléčnou žlázu i prs lze rozdělit do čtyř kvadrantů, žláza se pak dělí na 15-20 laloků, které jsou od sebe odděleny vazivovými septy. V nich probíhají cévy a nervy. V každém laloku se nachází lalůčky, vytvořené z alveolů, a systém jejich vývodů. Tyto vývody se společně shlukují v mléčný ductus, který ústí v bradavce (Naňka, 2015, s. 331-332).

Onemocnění prsu může být několik druhů. Lze je rozdělit podle několika kritérií, nejzákladněji na benigní a maligní. Mezi benigní onemocnění patří záněty, cysty, ale třeba i fibroadenom. Fibroadenom je nejhojněji vyskytovaný *benigní smíšený* nádor především u mladých žen. Vyznačuje se jako tuhý uzel, pohyblivý vůči svému okolí. Nejčastější *maligní* nádor prsu je karcinom. Jeho četnost je v současnosti až 121 případů/100 000 žen/1 rok a stále stoupá. Jelikož je v počátečním stádiu karcinom dobře léčitelný, klade se velký důraz na schopnosti včasné diagnostiky. Při vzniku tohoto karcinomu se uplatňuje několik faktorů, především pak faktory genetické, kdy se u nositelek (i nositelů) genu BRCA 1 a BRCA 2 může karcinom objevit až v 7% případů. U těchto žen jsou tedy velmi důležité preventivní prohlídky i v nízkém věku. U starších žen se uplatňují především hormonální faktory, rizikové faktory typu kouření či obezity nebo pozdní gravidita. Karcinomy prsu můžeme klasifikovat na:

- neinvazivní - intraduktální a lobulární karcinom,
- invazivní - invazivní duktální (nejčastější) a invazivní lobulární karcinom,
- zvláštní typ karcinomu prsu, tzv. Pagetův karcinom bradavky.

Karcinom prsu může metastazovat hematogenní cestou především do plic, jater či kostí a lymfatickou cestou především do axilárních mízních uzlin (Dohnalová, 2014, s. 133-135).

## 1.1 Vyšetřovací metody v mamologii

Do 45. roku věku je nejčastější diagnostickou metodou vyšetření prsu **ultrasonografie**. Ultrasonografie, či v tomto případě přesněji sonomamografie, je metodou první volby u mladých žen do 40 let. Jedná se o metodu neinvazivní, využívající vysokofrekvenční ozvučovací hlavice (7-15 MHz; vysoká rozlišovací schopnost je na úkor krátkého dosahu ve tkáni, pro objemnější prs je proto optimální volit nižší frekvenci) (Vomáčka, 2015, s. 111).

Ultrazvuk je mechanické vlnění, šířící se hmotou, při kterém jsou ze speciální sondy vysílány do těla pacientky vlny, které se po odrazu s cílovým objektem vrací zpět a sonda je schopna je zaznamenat. Při mamologickém vyšetření se používá převážně lineární sonda, která vysílá vlny paralelně a vytváří tak pravoúhlý obraz (Nekula, 2014, s. 25).

U pacientek starších 45 let se ultrazvukové vyšetření může použít jako doplňkové k **mamografickému** nebo se dá použít například při navádění u core-cut biopsií. V mamologické diagnostice lze využít i dopplerovské ultrasonografie, a to především při potřebě odlišení cév od jiných struktur, např. mlékovodů, či u vaskularizace patogenních tkání. Kromě vyšetření samotných prsů je součástí sonomamografie vyšetření axil pro zachycení případně zvětšených lymfatických uzlin. Mamografie je metodou první volby u žen nad 45 let. V České republice mají tyto ženy právo jednou za 2 roky na hrazenou screeningovou prohlídku. Díky tzv. aktivnímu screeningu (tj. upozorňování žen na možnosti prohlídek; zvaní formou sms či jinak), který je v České republice využíván, se počet žen zařazených do tohoto programu od zahájení v roce 2002 zdvojnásobil, čímž se zvýšil i počet včasně zachycených a léčených malignit (Vomáčka, 2015, s. 111-112).

Princip **mamografie** (MG) spočívá v ozáření prsu pacientky rentgenovým zářením a zeslabením tohoto záření při průchodu tkání. Mamografický přístroj se od normálního rentgenového přístroje liší v použitém napětí (17-35 kV), materiálu terčíku, který je v tomto případě vytvořen z molybdenu, beryliovém výstupním okénku a molybdenovém přídavném filtru. Je možno použít i terčíku a filtru z rhodia či terčíku z wolframu. Všechny tyto parametry se používají z jediného důvodu, a to zúžit spektrum záření v oblasti nízkých energií, aby toto záření bylo schopné dobře detekovat měkké tkáně. Jedné pacientce se dělají celkem 4 snímky, každý prs zvlášť

z přední a šikmé projekce. Další speciální snímky je možno pořizovat na základě indikace lékařem (Daneš, 2002, s. 10-57).

Jinou metodou využití mamografie kromě klasického snímkování je *duktografie*. Ta se provádí za účelem pátrání po papilomech či defektu vývodů především po výtoku z bradavky, kdy se do ní jehlou aplikuje vodná jodová kontrastní látka a po vysunutí jehly se mlékovod zalepí odpovídajícím přípravkem a provede se snímkování na mamografu (Vomáčka, 2015, s. 113).

Nevýhodou mamografie je fakt, že i přes senzitivitu (schopnost přístroje detekovat karcinom, je-li skutečně přítomen) přesahující 90% je její specifita (schopnost přístroje vyloučit přítomnost karcinomu, je-li skutečně nepřítomen) podstatně nižší (Votrubová, 2009, s. 139).

Většina karcinomů prsu vykazuje zvýšenou akumulaci  $^{18}\text{F}$ -FDG, proto je vhodnou vyšetřovací metodou **pozitronová emisní tomografie** (PET/CT). PET/CT spočívá v registraci anihilačního záření, vycházejícího z těla pacientky po setkání pozitronu, pocházejícího z radiofarmaka, a elektronu v těle pacientky. Po vzájemné srážce těchto dvou částic dojde k anihilaci a následnému vyzáření dvou fotonů, každém o energii 511 keV, přesně v opačném směru. Speciální detekční obvod detekuje pouze ty fotony, které dopadly na protilehlá septa ve stejný moment, a následuje rekonstrukce tomografických řezů. Senzitivita tohoto přístroje v diagnostice karcinomu prsu se pohybuje mezi 67 a 95%, specifita mezi 70 a 90%. PET/CT přístroj je schopen rozlišit i velmi malé léze, pokud se vyznačují vysokou akumulací. Ovšem tak jako i u jiných orgánů, i u prsu vykazují zvýšenou akumulaci zánětlivá ložiska. Rozhodující je poté klinický obraz, případně mamografie či sonografie. Tuto metodu lze ale použít i jako kontrolní vyšetření u pacientů po zahájení chemoterapie, kdy je snížení akumulace dobrou známkou léčby. Výhodou PET/CT je celotělové snímání (respektive od baze lební po třísla, není-li dáno jinak), proto je přístroj schopný zaznamenat i vzdálená ložiska metastáz. Nevýhodou detekce lymfatických uzlin u PET/CT je malé prostorové rozlišení a celkově nízká přesnost vyšetření u malých uzlin a nižší specifita (Votrubová, 2009, s. 139-141).

**Výpočetní tomografie** (CT) nemá v mamologické diagnostice skoro žádný význam. Používá se například při komplikacích po voperování implantátů či pro celkové zobrazení hrudníku u traumat (Vomáčka, 2015, s. 114).

**Magnetická rezonance** na rozdíl od většiny předchozích metod nevyužívá ionizujícího záření. Pacient je uložen do silného magnetického pole, poté je vyslán krátký radiofrekvenční impulz a po jeho skončení je snímán magnetický signál, který vytvářejí jádra vodíku v těle pacienta a který se potom měří a využívá k rekonstrukci obrazu. V mamologii využíváme bímamární povrchové cívky k zobrazení obou mam (Vomáčka, 2015, s. 47-114).

## 2 Magnetická rezonance

Magnetická rezonance je neinvazivní diagnostická metoda pro velice přesné zobrazení zejména měkkých tkání organismu a na rozdíl od ostatních zobrazovacích metod nevyužívá škodlivé ionizující záření, ale k zobrazení tkání využívá pouze magnetické pole. Pro toto zobrazování má největší význam vodík  $^1\text{H}$ , který tvoří téměř dvě třetiny všech atomů lidského těla. Jádro vodíku má jeden proton, tento proton je kladně nabitý a díky pohybu má svůj magnetický moment nazvaný jaderný spin, jehož hodnota je  $\frac{1}{2}$ . Princip magnetické rezonance spočívá v tom, že se na vybranou skupinu protonů aplikuje homogenní magnetické pole ( $B_0$ ). To zapříčiní, že se magnetické momenty sklopí do směru pole  $B_0$  (téměř paralelně-kvantový původ) a to buď do paralelní polohy, která je pro ně nepatrně častější, nebo do antiparalelní, energeticky náročnější polohy. Jelikož se navzájem magnetické momenty paralelně a antiparalelně postavených protonů vyruší, rozhodujícími zůstane pár protonů, které se přednostně postavily do energeticky méně náročné paralelní polohy a začnou precedovat (rotovat) kolem osy  $B_0$  s charakteristickou Larmorovou frekvencí (tj. transverzální nesynchronní pohyb protonů po ose pomyslného kuželu). Tato frekvence je přímo úměrná magnetickému poli  $B_0$ . Jelikož jsou protony uspořádány v zákrytu siločar vnějšího magnetického pole, je jejich magnetický moment nedetekovatelný. Detekovat ale jde, pokud se změní jeho směr, což lze provést dodáním energie pomocí vnějšího vysokofrekvenčního elektromagnetického impulsu (Vomáčka, 2015, s. 47-48).

Protony ale nejsou schopny absorbovat energii z celého spektra elektromagnetického záření. Aby došlo k předání energie elektromagnetického impulsu precedujícímu protonu, musí být Larmorova frekvence (úhlová frekvence precedujícího protonu) a frekvence elektromagnetického impulsu stejná. Precedující protony tak s elektromagnetickým impulsem na dané frekvenci rezonují (odtud název „magnetická rezonance“). Jakmile se impuls vypne, protony se postupně vrací do své základní polohy (energeticky výhodný stav), desynchronizují se, relaxují a svou přebytečnou energii vydávají ve formě elektromagnetického záření. Rychlost relaxace závisí na fyzikálních vlastnostech dané tkáně. Právě návrat protonů do své původní polohy je klíčový pro vznik signálu v MR. Energie je detekována cívkami na povrchu těla, které ji převádějí na měřitelnou elektrickou energii. Ztráta energie ve formě tepla ze systému do okolní mřížky se nazývá podélná (longitudinální) relaxační

doba a je to čas, za který protony po vypnutí impulzu dosáhnou 67% své původní hodnoty. Tento relaxační čas se označuje jako T1 vážený. Příčná (transversální) relaxační doba T2 je řízena ztrátou fázové koherence rotujících protonů při jejich vzájemné interakci. Jako T2 vážený se pak značí čas, za který protony ztratí 37% hodnoty své transversální magnetizace (Vomáčka, 2015, s. 47-48).

Jedním ze základních úkolů radiologického asistenta je odebrat pacientovu anamnézu, postarat se, aby pacient vyplnil informovaný souhlas, a ujistit se, že na sobě nemá pacient žádné kovy. Absolutní kontraindikací vyšetření na magnetické rezonanci je kardiostimulátor z magnetického materiálu. U kovových implantátů je potřeba znát z jakého materiálu jsou vyrobeny a kdy byly implantovány. Při obsluze magnetické rezonance je nutné dbát na správné napolohování pacienta. Zvláště u 1,5 T rezonancí (viz obrázek 1) se dbá na správné uložení končetin, které by se neměly překrývat. Dále je třeba pacienta varovat před nepříjemným hlukem, který přístroj během vyšetřování vydává, a nasadit pacientovi sluchátka či špunty do uší, ovšem tak, aby v případě potřeby pacient slyšel pokyny jako například „Nadechnout a nedýchat“. Nezbytnou součástí vyšetření je použití cívek, které zlepšují poměr signál/šum a vyrovnávají nehomogenity. Na vyšetřování každé části lidského těla je zapotřebí zvolit správnou cívku a dobře ji nastavit. Pacient by měl být informován i o nepříjemnosti vyšetření spočívající v uložení v těsném prostoru přístroje. Jestliže pacient trpí klaustrofobií nebo se jedná o dítě, které není schopné vydržet v klidu, je u vyšetření přítomen anesteziolog, který naaplikuje pacientovi příslušná sedativa či anestetika. Pokud má pacient podstoupit vyšetření s kontrastní látkou, musí se mu předem zavést kanyla (Seidl, 2012, s. 54-76).

Může se stát, že se lékař rozhodne až během vyšetřování, že by stál i o post-kontrastní sekvence, v takovém případě se přeruší vyšetřování a kanyla se pacientovi zavede přímo na vyšetřovně. Dalším úkolem radiologického asistenta je vyplnit informace o pacientovi do počítače, zvolit správné sekvence, spustit a kontrolovat průběh vyšetření, kontrolovat zahřívání pacienta v jednotkách SARS, připravovat jednotlivé sekvence (zaměřovat jejich rozsah přímo na oblast zájmu v daných rovinách) a upravovat již zhotovené obrazy (poznámky z praxe, Vala, Medihope s.r.o., rozsah praxe 10.12.2018-8.1.2019).

## 2.1 MRI prsu

U vyšetření prsu na magnetické rezonanci se práce radiologického asistenta výrazně neliší od ostatních vyšetření. Pacientovi se v kabině či ještě v čekárně odebere anamnéza, dále se pacient vysvlékne a použije nejlépe jednorázovou roušku a před vyšetřovnou v aplikační místnosti mu je zavedena kanyla. Důležité je dodržovat všechny předepsané hygienické zásady. Kanyla se z části propláchne fyziologickým roztokem, část roztoku se ponechá v zapojené stříkačce a pacient může jít na vyšetřovnu. Zde je uložen na břicho do pozice prone s prsy uloženými ve speciální bimamární cívce (viz obrázek 2). Ta je lehce zkomprese, aby se vyrovnaly nehomogenity a prsy byly uloženy stranově stejně, ovšem nejedná se o kompresi tak silnou, jako například na mamografu. Pacientovi jsou nasazena sluchátka či špunty a do ruky položen balónek se zabudovaným signálním zařízením, který může pacient v případě nevolnosti či jiné potíže zmáčknout, aby se vyšetření přerušilo. Poté se pomocí laserů zacentruje požadovaná oblast. V ovládací místnosti asistent zadá do počítače pacientovo jméno, věk, rodné číslo, pohlaví, dále jméno či zkratku vyšetřujícího lékaře a své jméno nebo zkratku. Vybere vhodný protokol, nejlépe podle preferencí vyšetřujícího lékaře a může spustit vyšetření. Samotné vyšetření začíná snímáním lokalizéru, což je obdoba topogramu na CT, kdy se během zhruba 20 sekund nasnímá hrubý obraz vyšetřované oblasti pro další zaměřování, a poté se snímají ostatní sekvence. U vyšetření prsu se dělá sekvence pro kontrastní látku, kdy se mezi sekvencemi udělá pauza a pacientovi se naaplikuje kontrastní látka do zavedené kanyly, která je propláchnuta zbytkem fyziologického roztoku a následně se snímá například 5 totožně naplánovaných snímků v rámci jedné sekvence (každý se nahrává zhruba minutu), které pak může lékař mezi sebou porovnat a posoudit syčení oblasti kontrastem. Jiná možnost je zvolit sekvenci, která obsahuje 1 snímek nativně (viz obrázek 3), po něm následuje krátká pauza, během které se až naaplikuje kontrastní látka, a následně se snímají 4 snímky (viz obrázek 4). Po skončení vyšetření pacient může opustit vyšetřovnu, je mu odstraněna kanyla a může odejít do čekárny, kde může počkat na výsledky hodnocení lékaře nebo odejde a pro výsledky si buď přijde ve stanovený den a čas, nebo jsou výsledky odeslány elektronicky (poznámky z praxe, Vala, Medihope s.r.o., rozsah praxe 10.12.2018-8.1.2019).

Standardní protokol vyšetření prsu obsahuje T1 a T2 vážený obraz s potlačením tuku a T1 3D obraz v transverzální rovině a bývá doplněn o koronální a sagitální rovinu. Zobrazovaná oblast musí zahrnovat celý rozsah prsů a stejně tak obě axily. Dynamické postkontrastní zobrazení je nezbytnou součástí celého procesu a stejně tak je nutno zpracovat křivky sycení, jež se liší v závislosti na typech karcinomu. Vyšetřovat by se mělo nejvhodněji ve 2. týdnu menstruačního cyklu, aby byly výsledky co nejméně ovlivněny hormonálními změnami (Žižka, 2015, s. 68).

Tento postup je standardem u vyšetření žen. U mužů se z technických důvodů magnetická rezonance provádí hůř a výsledky neznamenaají zvlášt' velký přínos ve srovnání s integrovaným postupem palpce, následným ultrazvukem, mamografií a biopsií (Skovajsová, 2003, s. 283).

Magnetická rezonance v detekci karcinomu prsu se vyznačuje vysokou senzitivitou (až 100%), zejména u invazivního karcinomu či high grade duktálního karcinomu in situ. Naopak specifická MRI se pohybuje v rozmezí od 50% do 80%. Různé zdroje se mohou v této škále lišit, pravdou ale je, že specifická je sice nižší, ale ve srovnání s jinými zobrazovacími metodami, jako je ultrazvuk či mamograf, je specifická této metody zcela srovnatelná. Postup vyšetření u MRI prsu zahrnuje vždy aplikaci kontrastní látky do žíly. Cílem tohoto vyšetření je tedy zobrazení a hodnocení sycení patologického ložiska místo hodnocení jeho struktury. Jelikož i miniaturní invazivní karcinomy jsou tvořeny patologickými, nově vytvořenými cévami, pak jsou tyto útvary zvýšeně syceny kontrastní látkou. Důležité je ale zmínit, že ne všechny nasycené útvary znamenají novotvar. Mléčná žláza se může sytit v závislosti na hormonech a stejně tak mohou být syceny i zánětlivé či benigní léze prsu. Magnetickou rezonancí tedy neobjasňujeme biologickou podstatu naleznuté léze, ale snažíme se zobrazit léze, které se mohly na MG či UZ přehlédnout. Mezi všechny indikace k použití MRI prsu patří:

- preventivní vyšetření žen s vysokým rizikem karcinomu prsu,
- staging karcinomu prsu před operací zejména u invazivního lobulárního karcinomu a high grade duktálního karcinomu in situ
- hodnocení neadjuvantní terapie,
- detekce primárního karcinomu při negativním MG a UZ a pozitivních metastázách v axilách,



- hodnocení po operaci a radioterapii,
- nejasný nálezn na jiných vyšetřovacích metodách.

(Schneiderová, 2013, s. 6-9)

Zobrazení prsu se mění kromě závislosti na cyklu a tím pádem hladině hormonů i v rámci věku. Mladší ženy mívají prsy velice denzní, tvořené především glandulární tkání. Tato tkáň je ještě více denzní, pokud se jedná o kojící ženy. S přibývajícím věkem se glandulární tkáň přeměňuje převážně na tukovou a v té se snadněji případné malignity detekují, jelikož u mladých žen se může občas silně denzní tkáň maskovat za tumor (Daffner, 2014, s. 209).

V posledních letech došlo k mnoha úpravám klasifikace nádorů prsu, a to díky aplikaci nových objevů v oblasti biologie karcinomu prsu do praxe. Není možné škatulkovat nádor prsu jako homogenní onemocnění s jasnou diagnózou, nýbrž jako skupinu heterogenně se chovajících onemocnění s různými diagnózami. Jednotlivé typy se od sebe mohou lišit způsobem růstu či dobou diseminace, ale i reakcí a odpovědí na různé protinádorové léčby či celkovým průběhem onemocnění. Jedním z nejdůležitějších objevů byly poznatky o receptorech a jejich vlivu na prognózu, které mohou ovlivňovat odpovědi na terapii, z nichž jedněmi z nejzkoumanějších byly hormonální estrogenové a progesteronové receptory a dále receptory epidermálního růstového faktoru (HER2/neu). Nelze tedy staging karcinomů prsu stanovovat pouze prostřednictvím TNM klasifikace, což je systém pro hodnocení rozsahu onemocnění zohledňující velikost primárního tumoru, postižení lymfatických uzlin a metastatické postižení ostatních orgánů. U každého onemocnění je třeba přihlídnout k jeho biologii. Postupně se vyvíjecí léčba již upustila od rozsáhlých chirurgických výkonů k omezenějšímu a lymfadenektomie byla nahrazena technikou biopsie. Dále se zefektivnila radioterapie, význam adjuvantní terapie a především neoadjuvantní terapie, která má za úkol zmenšit operabilní nádor před samotnou operací. V posledních 10 letech byl zaveden koncept vlastních biologických subtypů, které odlišují provedení následující léčby, a to:

- hormon pozitivní – estrogen a progesteron pozitivní, HER2/neu negativní karcinom (luminální),
- HER2/neu amplifikovaný či overexprimující karcinom,
- hormon negativní, HER2/neu negativní (triple negativní) karcinom.

Luminální se pak mohou dělit na luminální typu A a B. Nádor typu HER2 byl v minulosti považován za jeden z nejagresivnějších typů s nejvyšší mortalitou, než se zavedla HER2 specifická terapie. V současnosti má tento typ lepší prognózu než nádory triple negativní. Triple negativní neboli basal nádory postrádají receptory estrogenové, progesteronové i HER2/neu (Ferda, 2017, 177-180).

Jednotlivé druhy karcinomu prsu i jednotlivé poddruhy se od sebe histologicky liší a také se odlišně zobrazují na MR. Jejich rozdílná hustota buněk či nádorová vaskularizace se mění s průběhem onemocnění a na MR se projevují rozdílným syčením kontrastní látky. Například invazivní duktální karcinom (IDC) se rychleji sytí a rychleji kontrastní látku eliminuje v porovnání s invazivním lobulárním karcinomem (ILC), protože buňky IDC rychleji proliferují. ILC roste difúzně a není pro něj typická novotvorba cév, což se projevuje horším zobrazením na MR. Tento článek navíc uvádí i medulární, tubulární, mucinózní a zánětlivý karcinom prsu jako ostatní z hlavní šesticte invazivních karcinomů. Medulární karcinom (MC) mívá vyšší intenzitu signálu na T2 vážených sekvencích a rovnoměrné rozmístění kontrastu. Pro malé tubulární karcinomy (TC) jsou typické spikule, což jsou malé útvary jehlového tvaru. Tyto útvary tvoří podpůrnou tkáň nádoru a jsou lemované neoplastickými buňkami. Mucinózní karcinomy (MuC) tvoří, jak již název napovídá, extracelulární hlen mucin, který je tvořen vysokým procentem vody a tento fakt ovlivňuje zobrazení nádoru na T1 vážených obrazech. Pro zánětlivý karcinom (IBC) je typické ztlustění kůže nad tímto nádorem. Tento fakt je viditelný na MR. MRI má při detekci IDC nejvyšší senzitivitu z dostupných zobrazovacích metod. Nicméně kvalitní interpretace záleží na zkušenostech radiologa a na volbě správných sekvencí. Uvádí se, že po vyšetření na MR se provádí větší počet biopsií než po vyšetření na MG (Mayrhofer, 2013, s. 34-37).

Pro invazivní lobulární karcinom, druhý nejrozšířenější karcinom prsu, má magnetická rezonance vyšší senzitivitu než mamografie. V posledních letech incidence stoupla o 65%, přičemž u invazivního duktálního karcinomu pouze o 3%, značí souvislost s hormonální léčbou a dále vysvětluje, proč mají ILC vyšší pozitivitu estrogenových receptorů. Preskripce hormonální léčby u žen vyššího věku také vysvětluje, proč se ILC vyskytuje častěji u žen průměrně o 3 roky starších než v případě IDC. U špatně ohraničené a špatně hmatné masy, jak se ILC vykazuje, se vyskytuje podstatně méně mikrokalciфикаcí než u jejího rozšířenějšího protějšku. To je

také důvod, proč se ILC hůře detekuje pomocí MG, zatímco za použití MR může senzitivita tohoto vyšetření dosahovat až 93%. Přesto se stále doporučuje provádět MR pouze jako doplňkové vyšetření, jelikož nebylo prokázáno snížení rizika lokální nebo vzdálené recidivy onemocnění (Petráková, 2016, s. 166-167).

Malý počet mikrokalcifikací ale není jediný důvod, kvůli kterému nelze ILC dobře zobrazit. ILC se nevyznačuje ani hemoragií či nekrózami. Všechny tyto faktory způsobují, že jej lze na mamografu přehlédnout, jelikož i jeho schopnost pohlcovat záření je podobná jako u normálního parenchymu žlázy. I když není nejrozšířenějším typem karcinomu prsu, ve srovnání s například invazivním karcinomem děložního čípku je jeho incidence až dvakrát vyšší. Mamografické a ultrazvukové hodnocení tohoto karcinomu mohou jeho rozsah podhodnotit a způsobit tak nedostačující chirurgické opatření. ILC je sice oproti IDC větší velikostně, ale netvoří tak často metastázy v axilárních uzlinách, za to často metastazuje do jater, kostí, plic, ale třeba i gastrointestinálního či genitourinálního traktu. Senzitivita MRI pro ILC podle Řezáčové dosahuje až 100% a výrazně se neliší od senzitivity ostatních karcinomů. Jiné zobrazovací metody dosahují menších senzitivit pro tento karcinom, jmenovitě 81-91% u MG, 68-98% u UZ a 93% u scintigrafické metody BSGI. ILC se na MR většinou zobrazí jako solidní léze s nepravidelnými okraji, ale jen málo studií se zabývalo hodnocením nasycení ILC kontrastní látkou, a to i přes to, že je u ILC pravděpodobné prstenčité postkontrastní zvýraznění. Studie se ale shodly, že má ILC pozdější maximum zvýrazňování oproti IDC. ILC je taky typické pro svou schopnost vytvářet ve svém těsném okolí další, nové útvary, ať už hyperplazie, tak i lobulární karcinom in situ. Toto postižení okolí může vyústit v nadměrné posouzení velikosti ložiska na MR oproti histologickému vyšetření. I tak se MRI doporučuje pacientům s biopsicky prokázaným ILC k vyloučení multicecity a postižení obou prsů (2015, s. 20-26).

Rakovina prsu se řadí k nejčastějším nádorovým onemocněním žen v Evropě, jelikož se její incidence odhaluje až na 23% všech těchto onemocnění. Je známo, že vyšetření na MR se může pyšnit vysokou senzitivitou a relativně vysokou specificitou, i když se většina těchto hodnocení prováděla za použití 1,5 T přístroje. Použití MR s vyšší silou magnetického pole může znamenat vyšší kvalitu, ne však nutně lepší senzitivitu či specificitu. Výzkum pacientů s BIRADS 4 a BIRADS 5 na Univerzitě v Sarajevu prokázal, že při použití 3 T magnetické rezonance a následném srovnání

s výsledky z patologického vyšetření lze u pacientů klasifikovat toto onemocnění prsu s vysokou senzitivitou (až 92,5% čili 74 pacientů z celkových 80, kteří výzkum podstoupili) a specificitou okolo 36% a že jsou tyto výsledky uspokojivé a prokazují značný potenciál v této vyšetřovací metodě. BIRADS je hodnotící systém při mamografickém screeningu, kdy BIRADS 1 a 2 nevyžaduje následující vyšetření, BIRADS 3 nepředstavuje vysoké riziko malignity a u BIRADS 4 a 5 by měla být provedena biopsie. Nejvyšší počet maligních lézí se při tomto vyšetření objevil u BIRADS 4c a BIRADS 5. Falešně pozitivní výsledky tohoto vyšetření, snižující specificitu, zahrnovaly především fibrocystické onemocnění prsu či fibroadenom. Falešně negativní výsledky zahrnovaly především duktální karcinom in situ. MR by měla být kombinována s mamografií, která se sice nevyznačuje tak vysokou senzitivitou, ale stabilní a relativně vysokou specificitou. Použití zkráceného protokolu pro MRI prsu (omezení počtu sekvencí) by mohlo vést k častějšímu využití tohoto vyšetření, jelikož by se snížila cena provedení MRI (Rahimić-ćatić, 2016, s. 87-90).

Nicméně MR se dá využít podobně jako PET/CT pro zjištění případného postižení dalších orgánů kromě již přítomné rakoviny prsu. Některým pacientům s diagnostikovanou rakovinou prsu byla díky vyšetření na MR, dělanému především kvůli stagingu tumoru, objevena metastatická postižení zejména kostí, plic, jater či pleury, což značí, jak je důležité sledovat a posuzovat nejen oblast zájmu, v tomto případě prsu, ale všechny další viditelné struktury. U 109 pacientů z celkových 2361 bylo objeveno 149 extramammárních postižení. Až 44% těchto postižení bylo v kosti, nejčastější místo výskytu maligních postižení byly supraklavikulární uzliny, které byly maligně postiženy až z 89%. Naopak nejvíce benigních postižení bylo objeveno v játrech. Věk pacienta nehrál při zjišťování souvislostí významnou roli, za to větší velikost původního tumoru, postižení lymfatických uzlin či vyšší TNM klasifikace se prokázaly jako významné (Yang, 2016, s. 1-7).

Celotělové zobrazování magnetickou rezonancí (WB-MRI) může pomoci při detekci progredujícího onemocnění rakoviny prsu a může tak vést k následné změně léčby pacientů. Studie prokázala, že u 23 pacientů z celkových 58, kteří podstoupili WB-MRI i následné kontrolní vyšetření pomocí CT a PET/CT, odhalila progredující onemocnění pouze magnetická rezonance. U 50% vyšetřovaných byla nařizována změna léčby po vyšetření WB-MRI a odhalení progredujících či vedlejších

onemocnění (zatímco u kontrolního CT hrudníku, břicha a pánve a celotělového PET/CT nebyly tyto problémy zachyceny). Jednalo se hlavně o detekci kostních metastáz, které se objevují u až 12% pacientů do 5 let, i když byli zprvu metastaticky negativní. WB-MRI se v detekci těchto metastáz projevila senzitivitou až 91% a specificitou až 95%, čímž výrazně předčila CT, jež dosáhlo senzitivitu a specificitu 73%, respektive 95% a dosáhla podobných výsledků jako PET se senzitivitou a specificitou 90%, respektive 97% (Zugni, 2018, s. 1-2).

Pengel a spol. se snažili zjistit, jestli lze vynechat magnetickou rezonanci s kontrastní látkou u pacientů s prokázaným prsním tumorem před samotným zákrokem (chirurgickou excizí a následnou radioterapií) a jestli stačí klasické vyšetřovací metody jako je mamografie a ultrazvuk. Odpůrci této metody argumentují tím, že je velmi finančně náročná, odkládá se díky ní operační výkon, riskuje se zahájení až přehnané léčby pacientů a také, že vyšetření způsobuje úzkost a nepohodlí pacientů. Vědci z American College of Radiology a European Society of Breast Cancer Specialists doporučují předoperativní vyšetření pomocí MR, i když jsou zastánci dalšího výzkumu. Cílem tohoto článku bylo zjistit, zda lze pomocí klinických a patologických studií a klasických vyšetřovacích metod dospět ke stejnému závěru jako s následným vyšetřením pomocí MR. Závěr této studie ukázal, že u skupiny pacientů s onemocněním prsu, která splňuje následující kritéria: věk nad 60 let, bez metastáz v lymfatických uzlinách, bez žádných rozporů či nesouladů po mamografickém vyšetření, s nízkou denzitou prsní tkáně, bez invazivního lobulárního karcinomu; lze dosáhnout stejných či velmi podobných výsledků za použití klasických vyšetřovacích metod a MRI lze v těchto případech před chirurgickým výkonem vynechat. U jiných případů je ale pochopitelně vždy doporučována (2014, s. 273-277).

Ve článku z časopisu Journal of Clinical Oncology se snažili autoři určit, jestli lze pro screening prsu za použití MRI použít pouze zkrácený protokol, skládající se pouze z jednoho prekontrastního a jednoho postkontrastního snímání a z nich odvozených obrázků. Jelikož negativními stránkami magnetické rezonance prsu jsou vysoké náklady a také menší dostupnost a vyšší časová náročnost, znamenalo by zkrácení a zjednodušení protokolu pro vyšetření prsu značný pokrok. Jejich studie zahrnovala vyšetření 443 žen s normálními či benigními výsledky na mamografu či ultrazvuku s heterogenně denzními až velmi denzními prsy, které na MR podstoupily

nejprve vyšetření MIP (maximum-intensity projection), a poté zkrácený protokol. Asi dvě třetiny tvořily ženy po menopauze. Většinou se jednalo o ženy se zvýšeným rizikem tvorby karcinomu, ať už kvůli rodinné anamnéze či jinému předpokladu. Celkem bylo zpracováno 606 vyšetření, jelikož 163 z těchto žen podstoupilo magnetickou rezonanci prsu dvakrát. Plné vyšetření trvalo asi 17 minut, zkrácené zhruba 3 minuty a stejně tak čtení z výsledných obrazů zabralo u zkráceného protokolu méně času. Radiologům interpretujícím výsledky zkrácených protokolů zabralo hodnocení pod 30 sekund a bylo správné. V budoucnu by po schválení klinickými procesy mohlo jít o významný přínos v oblasti diagnostiky (Kuhl, 2014, s. 2304-2309).

Autoři Lipnick a spol. dokázali zlepšit specifitu MRI díky použití kontrastního vyšetření na MR a následného 2D vyšetření na magnetické rezonanční spektroskopii (MRS), i když se jednalo o vyšetření časově náročné. Spektroskopie se dá použít jako doplněk ke kontrastnímu vyšetření prsu, jelikož doplňuje informace o struktuře léze a zvyšuje specifitu vyšetření při zachování vysoké senzitivity. Autoři doporučují další výzkum v této oblasti (Lipnick, 2010, s. 922-929).

Jinou možností pro přesnější vyšetření prsu je použití difúzního obrazu na MR (viz obrázek 5), který je schopen benigní a maligní tumory od sebe relativně dobře odlišit. DWI vypočítává aparentní neboli zjevný difúzní koeficient (ADC), který spočítá míru difúze vody ve tkáni pozměněné tumorem (Mayrhofer, 2013, s. 38).

Studie vědců z Kolumbijské univerzity se snažila objasnit, jestli existuje spojitost se sycením parenchymového pozadí neboli sycením fibroglandulární tkáně a určitých podtypů rakoviny prsu. Zjistili, že i když je sycení této tkáně vyšší u mladých žen a je tedy pravděpodobně ovlivňováno hormony, spojitost mezi zkoumanými podtypy rakoviny není zřejmá, a tak toto zvýšené sycení neznámá i zvýšení rizika propuknutí rakoviny. Nejdůležitějším a do nynějška nejspolehlivějším biomarkerem tedy zůstává zvýšená mamografická denzita prsu postiženého rakovinou (Ha, 2018, s. 308-310).

## **2.2 MRI lymfatických uzlin**

Detekce a správné vyhodnocení postižení lymfatických uzlin je jedním z nejdůležitějších faktorů při vyšetřování onemocnění prsu. Dříve se při postižení uzlin automaticky celá oblast odstraňovala, což mělo za následky nepříjemné otoky,

porušení nervů a omezenou pohyblivost ramene. Před asi 15 lety se zavedla jako nový standard biopsie sentinelových uzlin, která má své nenahraditelné místo dodnes. Ovšem jedná se o invazivní metodu, proto se v poslední době snaží vědci přizpůsobit i neinvazivní metody k co nejvyšší výtěžnosti (Van Nijnatten, 2018, s. 168-174).

Assing a spol. se ve svém článku snažili porovnat výtěžnost MRI oproti ultrazvuku. U 271 pacientů s invazivním karcinomem prsu byl kromě MR proveden i US axilární oblasti. Data se poté porovnávala jednak podle toho, která metoda byla použita jako první a jestli se při ní prokázalo podezření na postižení lymfatických uzlin. Při provedení MR jako první s negativními výsledky a následným US s pozitivní odezvou byla pouze 4% po následném porovnání s patologickou studií skutečně pozitivní. Naopak při provedení US jako prvního s negativní odezvou, prokázalo následné MRI pozitivní postižení u 15% pacientů. To dokazuje, že použití US jako vyšetřovací metody navíc kromě MRI nemá značné opodstatnění a že MRI bohatě stačí k odhalení a stagingu napadených uzlin (2017, s. 647-648).

Obecně ale platí pro MRI axilárních metastaticky postižených uzlin senzitivita okolo 85%, což je nejvyšší možná senzitivita mezi všemi dostupnými vyšetřovacími metodami. V tomto článku se autoři snažili určit přesnost vyšetření při předoperačním MRI axilárních uzlin (určení velikosti uzlin, kontury, sycení kontrastní látkou apod.). Navíc se snažili postkontrastně zachytit i tzv. ocas komety, což je úkaz spojující samotnou lézi s parenchymem, který může naznačovat duktální infiltraci. Všechna naměřená data byla poté vyhodnocena a srovnána s daty získanými z pooperační biopsie axilárních uzlin. Výsledky ukázaly, že metastaticky postižené uzliny mají širší poloměr než nepostižené uzliny, korová šířka byla větší u postižených uzlin a stejně tak byl zaznamenán ocas komety u 73% postižených uzlin a 5% nepostižených. A zatímco tukové hilum (branka pro vstup nervů a cév) bylo zaznamenáno u pouze 40% postižených, u nepostižených bylo zaznamenáno až ve 100% případů (Arslan, 2016, s. 1-5).

Autoři Kamitani a spol. se snažili prověřit výtěžnost metody DWI v detekci metastáz axilárních lymfatických uzlin. Stav postižení lymfatických uzlin je u pacientů s karcinomem prsu nesmírně důležitý. Z velké části ovlivňuje následnou léčbu a také rozhodnutí, zda nasadit pacientovi neoadjuvatní chemoterapii. Proto je velmi důležité

správně tento stav diagnostikovat, což není v dnešní době s naprostou jistotou možné provést. Výsledek této metaanalýzy prokázal, že při použití DWI metody byla schopnost rozlišit postižené uzliny od benigních se senzitivitou MRI okolo 55% a specificitou okolo 87%. Výhodou metody DWI je, že není potřeba použít kontrastní látku, což je vhodné pro pacienty s renální insuficiencí či alergií (2013, s. 56-60).

I další vědci se věnují zkoumání přínosu difúzního obrazu při zobrazování prsu či lymfatických uzlin, autoři Eun Jeong Kim a spol. se konkrétně zaměřili na DWI a DWI v kombinaci s konvenčním zobrazováním na MR a jejich přínos v detekci metastaticky postižených axilárních uzlin. Standardním postupem v hodnocení stagingu tohoto postižení je disekce axilárních lymfatických uzlin, pokud jsou uzliny hmatné či je jejich postižení stanovené jinou metodou, například ultrazvukem naváděnou aspirační biopsií nebo v dnešní době častější core cut biopsií. Disekce sentinelových lymfatických uzlin se provádí pro zhodnocení axily, pokud se axila jeví jako klinicky negativní. Disekce jsou ovšem invazivní a mnohdy bolestivá a problematická opatření. Při systematickém posudku 3 studií byla senzitivita a specificita MRI detekující tyto uzliny stanovena na 88%, respektive 73%, přičemž byla posuzována velikost, morfologické znaky i syčení kontrastní látkou. Při použití DWI sekvence bylo zjištěno, že jisté faktory, jako například poměr mezi normálním výběžkem a dlouhým výběžkem uzliny, se nejeví jako diagnosticky významné. Naopak 50 postižených uzlin z celkových 93 zkoumaných ztratilo tukové hilum, zatímco u 153 z celkových 162 nepostižených se zobrazilo hilum jako neporušené. Hodnota ADC byla u metastatických uzlin podstatně nižší než u těch nepostižených. Podle těchto autorů je několik kritérií konvenčního vyšetření prsu na MR užitečných, nicméně posuzovat metastatické uzliny podle jejich velikosti či morfologických znaků nedoporučují. DWI je proto vhodná alternativa, která navíc nevyžaduje aplikaci kontrastní látky (Kim, 2014, s. 1230-1234).

Určení stavu postižení lymfatických uzlin je klíčové jednak ke stanovení správné léčby rakoviny prsu a jednak ke stanovení předpokládané doby dožití pacienta. Po pěti letech od propuknutí nemoci je míra dožití pacienta až 82%, nejsou-li postiženy lymfatické uzliny. Při podezření na postižení uzlin stanoveném zobrazovacími metodami by měla být podstoupena ultrazvukem naváděná biopsie. Na ultrazvuku se zdravá uzlina zobrazuje jako ovál, měří zhruba 10 mm a má tenkou kůru. Její ohraničení je jasně viditelné a ultrazvuk se od něj málo odráží, čili je



hypoechogenní a projevuje se na výsledném obrazu tmavě. Do postižené uzliny se metastázy šíří přívodními kanálky, které vedou prvotně do subkapsulární dutiny, poté do dutiny dřevňové. Na obraze z ultrazvuku se taková uzlina může projevit širší kůrou a různými bulkami na povrchu. Tyto změny ale nemusí být úplně jednoznačné a jasnější projevy, jako změna tvaru na kulatý nebo postižení tuku v hilu uzliny se na ultrazvuku mohou zobrazit až postupem času. Na magnetické rezonanci jdou tyto změny zaznamenat sice s nižší specificitou, ale za to ve větším měřítku, jelikož jde zobrazit celá oblast axily nebo axily na obou stranách a lze tedy srovnat nody postižené se zdravými, ležícími na opačné straně. Mezi důležité přednosti magnetické rezonance lymfatických uzlin patří i například schopnost zobrazení otoku okolo uzliny, je-li přítomný, který lze zaznamenat na T2 váženém obraze, či sycení ve tvaru prstence, což může značit nekrózu centrální části této uzliny. I CT je schopné zobrazit léze, jeden z hlavních parametrů pro detekci postiženého nodu je, aby byl poměr velikosti mezi největším a nejmenším výběžkem menší než 2 a aby vypadala kůra nerovnoměrně široká. Stejně tak je i CT schopné odhalit perinodální otok, ale další faktory jako například ztráta hilu nebo rozšiřující se kůra už nejsou tolik rozpoznatelné (Maxwell, 2015, s. 1090-1100).

### 3 Kontrastní látky pro MRI prsu

Patologická tkáň se vyznačuje odlišným zobrazením na MR díky změně intenzity jejího signálu. Může se ale stát, že se relaxační časy nepostižené a postižené tkáně překryjí. K vyvarování takové situace se používají nejen speciální sekvence, ale mohou se aplikovat i kontrastní látky, které dokážou relaxační časy tkání změnit a současně tak i změnit intenzitu jejich signálu (Seidl, 2012, s. 80).

Kontrastní látky lze rozdělit na paramagnetické látky na bázi gadoliniových iontů a na superparamagnetické látky obsahující SPIO částice (Kluchová, 2009, s. 26).

Kontrastní látky lze ale rozdělit i jinak, a to na látky tkáňově nespecifické, tzv. extracelulární, kam spadají i paramagnetické látky, a látky tkáňově specifické, kam řadíme třeba látky hepatospecifické. Dále můžeme rozdělit kontrastní látky dle způsobu podání na nitrožilní, nitrokloubní a perorální, další (speciální a ne tak často používanou) skupinu tvoří látky intravaskulární. Vlastnosti těchto látek pro MRI a jodových kontrastních látek využívaných v radiologii se od sebe výrazně neliší, i když několik drobných odlišností by se našlo. Látky pro MRI se na výsledném obraze zobrazí jen částečně, jelikož magneticky ovlivní okolní tkáň. Paramagnetické MR kontrastní látky se vylučují obdobně jako jodové látky a ani jedny nepřestupují neporušenou hematoencefalickou bariéru. Alergie na kontrastní látky využívané u MRI se vyskytuje spíše vzácně, nicméně její projevy a léčba jsou obdobné jako u látek jodových. Nejrozšířenějšími dostupnými kontrastními látkami jsou látky pod obchodními názvy Gadovist, Magnevist, ProHance (všechno extracelulární nespecifické), MultiHance (částečně hepatospecifické) či Vasovist (intravaskulární) (Mechl, 2014, s. 15-16).

Hodnocení lymfatických uzlin na MR se vždy opíralo o posouzení jejich velikosti, jelikož postižené uzliny se jeví jako větší. Tento fakt měl ale několik nevýhod, například to, že některé zvětšené uzliny mohly být postižené benigním zánětem nebo naopak maligně postižené uzliny mohly být postiženy pouze mikroskopicky a nemusely se jevit jako zvětšené. Použití kontrastních látek by mělo být přínosné, bohužel lymfotropní kontrastní látky jsou prozatím obtížně dostupné. Lze předpokládat, že díky dalšímu vývoji budou kontrastní látky pro vyšetření lymfatických uzlin hrát v budoucnosti velkou roli (Shetty, 2004, s. 34-43).

### 3.1 Kontrastní látky paramagnetické

Jednou z nejsilnějších paramagnetických látek je gadolinium, které je tvořené sedmi nepárovými elektrony. Gadolinium je proto také základní kov pro vytvoření všech extracelulárních kontrastních látek. Samo o sobě je volné gadolinium vysoce toxické, ovšem při navázání na ligandy se stává tento komplex vysoce stabilním a netoxickým. Ligandy jsou zodpovědné za farmakokinetické chování a gadolinium za to paramagnetické. Paramagnetismus neboli vnitřní magnetický moment atomu je dán přítomností nepárovaných elektronů. Vnější magnetické pole způsobí jejich částečné uspořádání a tím i indukci magnetizace, jejíž míra závisí na intenzitě vnějšího pole. Magnetický moment u paramagnetické látky je dán vektorovým součtem orbitálního a spinového momentu. Paramagnetické látky zkracují T1 relaxační čas a ve vyšších tkáňových koncentracích i T2 relaxační čas. Extracelulární látky se dále dělí na nízkomolekulární, kam patří především gadoliniové cheláty jako Gd-DTPA, a vysokomolekulární, kdy se gadolinium váže in vivo na bílkoviny nebo se syntetizuje s polymerními makromolekulami a využívají se především k angiografickému vyšetření (Seidl, 2012, s. 81).

Kontrastní látky hrají ve vyšetření pomocí MR nezastupitelnou roli a při vyšetření prsu se konkrétně využívají zejména látky na bázi gadolinia. Při určování diagnostického přínosu MRI při stagingu postižených uzlin za použití Gadofosvesetu jako přídatku k T2 váženému obrazu se zjistilo, že u 90 pacientů, kteří podstoupili oboje vyšetření, po němž následovalo jednotlivé vyhodnocování dvěma radiology nezávisle na sobě, vyšetření pomocí Gadofosvesetu má kromě T2 váženého obrazu potenciál, jelikož se zlepšila jak senzitivita vyšetření, tak specifita a pozitivní a negativní předpovědní hodnota (PPV a NPV) (Van Nijnatten, 2018, s. 168-169).

Lymfotropní gadoliniové kontrastní látky mají lepší prostorové rozlišení, lepší poměr signál/šum a méně artefaktů při vyšetření lymfatických uzlin než nanočástice oxidu železa, nicméně hlavním problémem těchto látek je, že lymfotropní gadoliniové látky nejsou prozatím klinicky dostupné (Choi, 2010, s. 390).

### 3.2 Kontrastní látky superparamagnetické

Nanočástice oxidu železa (s rozměrem menším než 100 nm) vykazují přínosné vlastnosti zejména v oblastech biomedicíny či biotechnologie. Jejich rozměry jsou srovnatelné s velikostí buněk či genů a jejich vysoký magnetismus,

velká plocha povrchu a nízká toxicita z nich dělají ideální materiál pro tvorbu kontrastních látek pro magnetickou rezonanci. V jiném odvětví jsou užitečné například jako nosiče léčiv. Po speciální povrchové úpravě na sebe mohou navázat různé biomolekuly a stejně tak zabránit jejich shlukování či reakci s krevní plazmou. Mezi nanočástice oxidu železa, využitelné pro MRI, patří zejména strukturní polymorfy maghemitu ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) a magnetitu ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), které vykazují superparamagnetické chování při aplikaci vnějšího magnetického pole v MR a velice rychle na toto pole reagují (Kluchová, 2009, s. 1-16).

Mezi konkrétní výhody zobrazování za pomoci těchto látek na MR patří zvýšení rozlišovací schopnosti a zvýšení kontrastu měkkých tkání. Dochází ke zkrácení relaxačních časů T1 i T2 o jeden nebo dva řády, takže můžeme pozorovat změny i na buněčné úrovni, na rozdíl od klasických paramagnetických látek (Kolářová, 2013, s. 20).

Spojením superparamagnetických nanočástic oxidů železa a fluorescenčně obarvených protilátek pro určitý typ rakoviny, např. takzvaného Herceptinu, můžeme opticky detekovat rakovinu jak in vitro, tak in vivo pomocí MRI. (Huh, 2005, s. 12387-12388).

Superparamagnetické nanočástice oxidu železa (SPIO) jsou předmětem zkoumání již od roku 1980. Bylo zjištěno, že většina SPIO kontrastních látek je vychytávána retikuloendotelovým systémem (RES), zatímco USPIO neboli ultra malé SPIO částice o velikosti menší než 8nm jsou schopny se retikuloendotelovému systému vyhnout a vychytávají se až v hlubokých úsecích makrofágů. Aplikace SPIO částic pro medicínské účely není nijak kontraindikována, jelikož se tyto částice vychytávají v RES (tyto buňky se nachází i ve slezině či játrech) a jsou zpracovány přirozeným homeostatickým mechanismem. Nicméně nadměrné opakování tohoto vyšetření doporučováno není. Některé SPIO kontrastní látky již prošly klinickým procesem schvalování pro MRI a získaly povolení pro běžné užívání v USA, Evropě a Japonsku, například Feridex nebo Resovist pro vyšetření jater (Wáng, 2017, s. 1-10).

V současnosti byla celá řada klinicky schválených SPIO kontrastních látek stažena z farmaceutického trhu především v EU. Nicméně nebo právě proto vědci zkoumají, zda používání SPIO kontrastních látek je skutečně přínosné a zvyšuje

specifitu a senzitivitu MR zobrazení. Feridex byl pro malý zájem stáhnut z trhu a Resovist je nyní k dostání pouze v některých zemích. Ferumoxtran-10 je kontrastní látka pro zobrazení lymfatických uzlin, která je momentálně v procesu výroby a klinického schvalování. Sienna plus je suspenze vytvořena pro přístroj Sentimag, který magneticky lokalizuje lymfatické uzliny. V současné době se postižené lymfatické uzliny zaměřují zejména pomocí scintigrafických metod, u kterých je ale velké riziko ozáření, jelikož se při nich pracuje s otevřenými zářiči. Zaměřování pomocí SPIO částic pod magnetickou rezonancí nabízí vyšší prostorovou rozlišovací schopnost a může tak znamenat budoucnost preoperativního zaměřování uzlin (Wáng, 2017, s. 1-10).

Harnan a spol. udávají, že u až 40% pacientů s rakovinou prsu v časném stádiu jsou postiženy mízní uzliny. Pokud má pacient negativní výsledky na ultrazvukem naváděné biopsii axily, následuje biopsie sentinelových lymfatických uzlin (SLNB). Pokud má výsledky pozitivní či SLNB vyjde jako pozitivní, následuje disekce axilárních uzlin, kdy jsou odebrány všechny uzliny, aby došlo k zabránění šíření nemoci. V tomto systematickém review byly posouzeny výsledky MRI z celkem 9 studií dohledaných v 9 databázích, které splňovaly všechna požadovaná kritéria. Ve třech studiích se jednalo o MRI s gadoliniovou kontrastní látkou, 5 studií se zabývalo MRI s USPIO kontrastní látkou a 1 studie se zabývala MR spektroskopií. U vyšetření s USPIO látkami byla senzitivita a specifita stanovena na nejvyšší hodnotu, a to 98%, respektive 96%. I když jsou tyto hodnoty vysoké, SLNB má senzitivitu a specifitu stále vyšší, proto není doporučováno tuto metodu nahradit vyšetřením na MR, jelikož by to mohlo vést k přehlédnutí metastáz, respektive k vyššímu počtu disekcí axilárních uzlin (2011, s. 928-933).

## 4 PET/MR prsu

Pozitronová emisní tomografie/ magnetická rezonance (PET/MR) je novou hybridní technologií, která spojuje funkční informace o těle pacienta získané z přístroje PET s anatomickými informacemi získanými díky MRI. Nejvyužívanější farmaka pro PET vyšetření jsou i nadále  $^{18}\text{F}$ -FDG, nicméně farmaka zaměřující se na například estrogenové receptory jsou ve výzkumu a mohly by znamenat pokrok ve vyšetřování prsu na PET/MR. Výhodou tohoto hybridního přístroje je spojení informací o primární lézi z MRI a detekcí případného postižení lymfatických uzlin či dalších orgánů díky PET. Pacientovi, který aspoň 4, ideálně 6 hodin nejedl, bývá obvykle naaplikována dávka 555 MBq radiofarmaka intravenózně, poté čeká v kabině zhruba 45 minut a popíjí neslazený nápoj. Při samotném vyšetření prsů leží na břiše, při MR vyšetření má prsy umístěné ve speciální cívce a po nekontrastním snímkování se pacientovi naaplikuje kontrastní gadoliniová látka. Sekvence zvolené pro MRI se mohou vyšetření od vyšetření lišit, lze použít i zkrácený protokol skládající se z jednoho prekontrastního a jednoho postkontrastního T1 váženého obrazu či DWI. Celotělové vyšetření PET/MR se liší v pozici pacienta, jež tentokrát leží na zádech. Ve srovnání s celotělovým PET/CT je celotělové PET/MRI pro pacienta méně radiačně zatěžující z důvodu absence vyšetření CT. PET/MRI je sice pomalejší, více zatěžující pro organismus z důvodu použití radiofarmak a v podstatě ne tolik přínosné vyšetření v zobrazování karcinomu prsu obecně než MRI, nicméně je vhodné pro zhodnocení neadjuvantní terapie nebo v lokálním stagingu axil, kdy může být vyloučena potřeba odebírat vzorky postižené axilární uzliny, zobrazené s vysokou senzitivitou díky DWI MRI a vysokou specificitou díky PET (Pujara, 2019, s. 329-339).

## Závěr

Magnetická rezonance je významnou zobrazovací metodou pro vyšetření prsu. Její přínos nebyl vždy jednoznačně prokázán, nicméně nejnovější studie udávají její senzitivitu a specifitu jako jedny z nejlepších ve srovnání s ostatními typy zobrazovacích postupů. Při vyšetření lymfatických uzlin zůstává role magnetické rezonance omezená především z důvodu existence daleko přesnější metody, a to biopsie sentinelových lymfatických uzlin. Ovšem v rámci neinvazivních metod je magnetická rezonance pro vyšetření lymfatických uzlin jednou z nejpřesnějších.

Radiologický asistent hraje u samotného vyšetření důležitou roli, jelikož připravuje a dohlíží na celý průběh vyšetření. Musí umět dobře pracovat s počítačem, protože jednou z jeho kompetencí je nastavování sekvencí vyšetření, a také musí umět dobře komunikovat s pacientem, aby dokázal pacienta šetrně provést celým vyšetřením.

Kontrastní látky pro magnetickou rezonanci jsou buď paramagnetické nebo superparamagnetické. Pro zobrazení prsu se používají nejvíce paramagnetické látky, konkrétně například Gadovist nebo ProHance. Superparamagnetické látky (SPIO, USPIO) nejsou zatím v praxi tolik používané, ale v budoucnu by mohly pomoci při specifickém zobrazení některých typů prsních karcinomů či při zvýšení senzitivity a specifity při zobrazení maligních lymfatických uzlin.

## Referenční seznam

- ARSLAN, Gozde, Kubra Murzoglu ALTINTOPRAK, Inci Kizildag YIRGIN a spol., 2016. Diagnostic accuracy of metastatic axillary lymph nodes in breast MRI. *SpringerPlus* [online]. **5**(1), 1-7 [cit. 2019-01-18]. DOI: 10.1186/s40064-016-2419-7. ISSN 2193-1801. Dostupné z: <http://springerplus.springeropen.com/articles/10.1186/s40064-016-2419-7>
- ASSING, Matthew A., Bhavika K. PATEL, Neel KARAMSADKAR a spol., 2017. A comparison of the diagnostic accuracy of magnetic resonance imaging to axillary ultrasound in the detection of axillary nodal metastases in newly diagnosed breast cancer. *The Breast Journal* [online]. **23**(6), 647-655 [cit. 2019-01-18]. DOI: 10.1111/tbj.12812. ISSN 1075122X. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/tbj.12812>
- DAFFNER, Richard H. a Matthew S. HARTMAN, 2014. *Clinical radiology: the essentials*. 4th edition. Philadelphia: Wolters Kluwer Lippincott Williams & Wilkins Health. ISBN 978-1451142501.
- DANEŠ, Jan, 2002. *Základy mamografie: vybrané kapitoly pro lékaře a laborantky*. Praha: X-Egem. ISBN 80-7199-062-0.
- DOHNALOVÁ, Dagmar. *Repetitorium patologie pro praktická cvičení*. 1. vydání. Olomouc: Univerzita Palackého Olomouc, 2014. ISBN 978-80-244-4002-6.
- FERDA, Jiří, 2017. Poznámky k recentním přístupům k předoperačnímu stanovení stagingu a klinického stadia karcinomu prsu. *Česká radiologie*. **71**(3), 177-182. ISSN 1210-7883.
- HA, Richard, Victoria MANGO, Rend AL-KHALILI a spol., 2018. Evaluation of association between degree of background parenchymal enhancement on MRI and breast cancer subtype. *Clinical Imaging* [online]. **51**, 307-310 [cit. 2019-02-06]. DOI: 10.1016/j.clinimag.2018.05.008. ISSN 08997071. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0899707118301116>
- HARNAN, S.E., K.L. COOPER, Y. MENG a spol., 2011. Magnetic resonance for assessment of axillary lymph node status in early breast cancer: A



- systematic review and meta-analysis. *European Journal of Surgical Oncology (EJSO)* [online]. **37**(11), 928-936 [cit. 2019-03-24]. DOI: 10.1016/j.ejso.2011.07.007. ISSN 07487983. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0748798311003921>
- HUH, Yong-Min, Young-wook JUN, Ho-Taek SONG a spol., 2005. In Vivo Magnetic Resonance Detection of Cancer by Using Multifunctional Magnetic Nanocrystals. *Journal of the American Chemical Society* [online]. **127**(35), 12387-12391 [cit. 2019-02-04]. DOI: 10.1021/ja052337c. ISSN 0002-7863. Dostupné z: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ja052337c>
  - CHOI, Seung Hong a Woo Kyung MOON, 2010. Contrast-Enhanced MR Imaging of Lymph Nodes in Cancer Patients. *Korean Journal of Radiology* [online]. **11**(4), 383-394 [cit. 2019-03-24]. DOI: 10.3348/kjr.2010.11.4.383. ISSN 1229-6929. Dostupné z: <https://synapse.koreamed.org/DOIx.php?id=10.3348/kjr.2010.11.4.383>
  - KAMITANI, Takeshi, Masamitsu HATAKENAKA, Hidetake YABUUCHI a spol., 2013. Detection of axillary node metastasis using diffusion-weighted MRI in breast cancer. *Clinical Imaging* [online]. **37**(1), 56-61 [cit. 2019-01-18]. DOI: 10.1016/j.clinimag.2012.02.014. ISSN 08997071. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0899707112000927>
  - KIM, Eun Jeong, Sung Hun KIM, Bong Joo KANG a spol., 2014. Diagnostic value of breast MRI for predicting metastatic axillary lymph nodes in breast cancer patients: diffusion-weighted MRI and conventional MRI. *Magnetic Resonance Imaging* [online]. **32**(10), 1230-1236 [cit. 2019-01-18]. DOI: 10.1016/j.mri.2014.07.001. ISSN 0730725X. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0730725X14002045>
  - KLUCHOVÁ, Kateřina, 2009. *Syntéza a charakterizace nanočástic oxidů železa pro lékařské aplikace*. Olomouc. Dizertační práce. Univerzita Palackého v Olomouci. Vedoucí práce Doc. RNDr. Radek Zbořil, Ph.D.
  - KOLÁŘOVÁ, Mary, 2013. *Optimalizace značení kmenových a fibroblastických buněk superparamagnetickými nanočásticemi oxidů železa*. Olomouc.

Diplomová práce. Univerzita Palackého v Olomouci. Vedoucí práce Mgr. Kateřina Poláková, Ph.D.

- KUHL, Christiane K., Simone SCHRADING, Kevin STROBEL a spol., 2014. Abbreviated Breast Magnetic Resonance Imaging (MRI): First Postcontrast Subtracted Images and Maximum-Intensity Projection—A Novel Approach to Breast Cancer Screening With MRI. *Journal of Clinical Oncology* [online]. **32**(22), 2304-2310 [cit. 2019-02-20]. DOI: 10.1200/JCO.2013.52.5386. ISSN 0732-183X. Dostupné z: <http://ascopubs.org/doi/10.1200/JCO.2013.52.5386>
- LIPNICK, Scott, Xiaoyu LIU, James SAYRE a spol., 2010. Combined DCE-MRI and single-voxel 2D MRS for differentiation between benign and malignant breast lesions. *NMR in Biomedicine* [online]. **23**(8), 922-930 [cit. 2019-03-26]. DOI: 10.1002/nbm.1511. ISSN 09523480. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/nbm.1511>
- MAXWELL, F., C. DE MARGERIE MELLON, M. BRICOUT, a spol., 2015. Diagnostic strategy for the assessment of axillary lymph node status in breast cancer. *Diagnostic and Interventional Imaging* [online]. **96**(10), 1089-1101 [cit. 2019-01-31]. DOI: 10.1016/j.diii.2015.07.007. ISSN 22115684. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2211568415002533>
- MAYRHOFER, Rebecca M., Hsiao Piau NG, Thomas C. PUTTI a spol., 2013. Magnetic Resonance in the Detection of Breast Cancers of Different Histological Types. *Magnetic Resonance Insights* [online]. **6**, 33-49 [cit. 2019-02-22]. DOI: 10.4137/MRI.S10640. ISSN 1178-623X. Dostupné z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.4137/MRI.S10640>
- MECHL, Marek, Jaroslav TINTĚRA a Jan ŽIŽKA, 2014. *Protokoly MR zobrazování*. Praha: Galén. ISBN 978-80-7492-109-4.
- NAŇKA, Ondřej a Miloslava ELIŠKOVÁ. *Přehled anatomie*. 3. vydání. Praha: Galén, 2015. ISBN 978-80-7492-206-0.
- NEKULA, Josef, 2014. *Klinická radiologie: skriptum*. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě. ISBN 978-80-7464-564-8.

- PENGEL, Kenneth E., Claudette E. LOO, Jelle WESSELING a spol., 2014. Avoiding preoperative breast MRI when conventional imaging is sufficient to stage patients eligible for breast conserving therapy. *European Journal of Radiology* [online]. **83**(2), 273-278 [cit. 2019-01-18]. DOI: 10.1016/j.ejrad.2013.10.018. ISSN 0720048X. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0720048X13005494>
- PETRÁKOVÁ, Katarína, 2016. Lobulární karcinom prsu. *Onkologie*. **10**(4), 166-169. ISSN 1802-4475.
- PUJARA, Akshat C., Eric KIM, Deborah AXELROD a spol., 2019. PET/MRI in Breast Cancer. *Journal of Magnetic Resonance Imaging* [online]. **49**(2), 328-342 [cit. 2019-02-23]. DOI: 10.1002/jmri.26298. ISSN 10531807. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/jmri.26298>
- RAHIMIĆ-ĆATIĆ, Ajla, Jasmina BAJROVIĆ, Svjetlana LOZO a spol., 2016. Sensitivity and specificity of magnetic resonance imaging in breast cancerous lesions prediction in the patients with BIRADS 4 and BIRADS 5 diagnoses. *Medical Journal* [online]. **22**(2), 87-91 [cit. 2019-02-13]. ISSN 15125866. Dostupné z: <http://eds.a.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=1&sid=f3742f8e-4ae4-4d04-9c06-b44b6c9901d3%40sessionmgr4007>
- ŘEZÁČOVÁ, Jiřina a Hana URMINSKÁ, 2015. MR obraz invazivního lobulárního karcinomu prsu. *Česká radiologie*. **69**(1), 20-26. ISSN 1210-7883.
- SEIDL, Zdeněk, Andrea BURGETOVÁ a Eva HOFFMANNOVÁ, 2012. *Radiologie pro studium i praxi*. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-4108-6.
- SHETTY, Sanjay a Mukesh HARISINGHANI, 2004. Magnetic resonance techniques in lymph node imaging. *Applied Radiology*. **33**(7), 34-44. ISSN 0160-9963.
- SCHNEIDEROVÁ, Monika, 2013. *XX. JIHOČESKÉ ONKOLOGICKÉ DNY: Sborník přednášek: Diagnostika a léčba nádorů prsu*. Český Krumlov: Nemocnice České Budějovice. ISBN 978-80-905041-3-4.

- SKOVAJSOVÁ, Miroslava, 2003. *Mamodiagnostika: integrovaný přístup*. Praha: Galén. ISBN 80-7262-220-X.
- VAN NIJNATTEN, T.J.A., R.J. SCHIPPER, M.B.I. LOBBES a spol., 2018. Diagnostic performance of gadofosveset-enhanced axillary MRI for nodal (re)staging in breast cancer patients: results of a validation study. *Clinical Radiology* [online]. **73**(2), 168-175 [cit. 2019-01-18]. DOI: 10.1016/j.crad.2017.09.005. ISSN 00099260. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0009926017304646>
- VOMÁČKA, Jaroslav, 2015. *Zobrazovací metody pro radiologické asistenty*. 2. vydání. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 978-80-244-4508-3.
- VOTRUBOVÁ, Jana, 2009. *Klinické PET a PET/CT*. Praha: Galén. ISBN 978-80-7262-619-9.
- WÁNG, Yi Xiáng J. a Jean-Marc IDÉE, 2017. A comprehensive literatures update of clinical researches of superparamagnetic resonance iron oxide nanoparticles for magnetic resonance imaging. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery* [online]. **7**(1), 88-122 [cit. 2019-02-01]. DOI: 10.21037/qims.2017.02.09. ISSN 22234292. Dostupné z: <http://qims.amegroups.com/article/view/13786/14098>
- YANG, Soung Moon, Sung Hun KIM, Bong Joo KANG a spol., 2016. Extramammary findings on breast MRI: prevalence and imaging characteristics favoring malignancy detection. *World Journal of Surgical Oncology* [online]. **14**(1), 1-8 [cit. 2019-02-06]. DOI: 10.1186/s12957-016-0865-x. ISSN 1477-7819. Dostupné z: <http://wjso.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12957-016-0865-x>
- ZUGNI, Fabio, Francesca RUJU, Paola PRICOLO a spol., 2018. The added value of whole-body magnetic resonance imaging in the management of patients with advanced breast cancer. *PLOS ONE* [online]. **13**(10), 17 [cit. 2019-01-18]. DOI: 10.1371/journal.pone.0205251. ISSN 1932-6203. Dostupné z: <http://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0205251>

- ŽIŽKA, Jan, Jaroslav TINTĚRA a Marek MECHL, 2015. *Protokoly MR zobrazování: pokročilé techniky*. Praha: Galén. ISBN 978-80-7492-179-7.

## Seznam zkratek

MR	Magnetická rezonance
MRI	Zobrazování magnetickou rezonancí
MRS	Magnetická rezonanční spektroskopie
US	Ultrazvuk
MG	Mamograf
CT	Výpočetní tomografie
PET/CT	Pozitronová emisní tomografie/ počítačová tomografie
PET/MR	Pozitronová emisní tomografie/ magnetická rezonance
<sup>18</sup> F-FDG	Fluorodeoxyglukóza
3D	Trojdimenzionální
IDC	Invazivní duktální karcinom
ILC	Invazivní lobulární karcinom
MC	Medulární karcinom
TC	Tubulární karcinom
MuC	Mucinózní karcinom
IBC	Zápalový karcinom
WB-MRI	Celotělové zobrazování magnetickou rezonancí
MIP	Maximum-intensity projection
ADC	Apparent diffusion coefficient
DWI	Diffusion weighted imaging
SPIO	Superparamagnetic iron oxide
USPIO	Ultrasmall superparamagnetic iron oxide

RES Retikuloendotelový systém

SLNB Sentinel lymph node biopsy

## Obrazová příloha

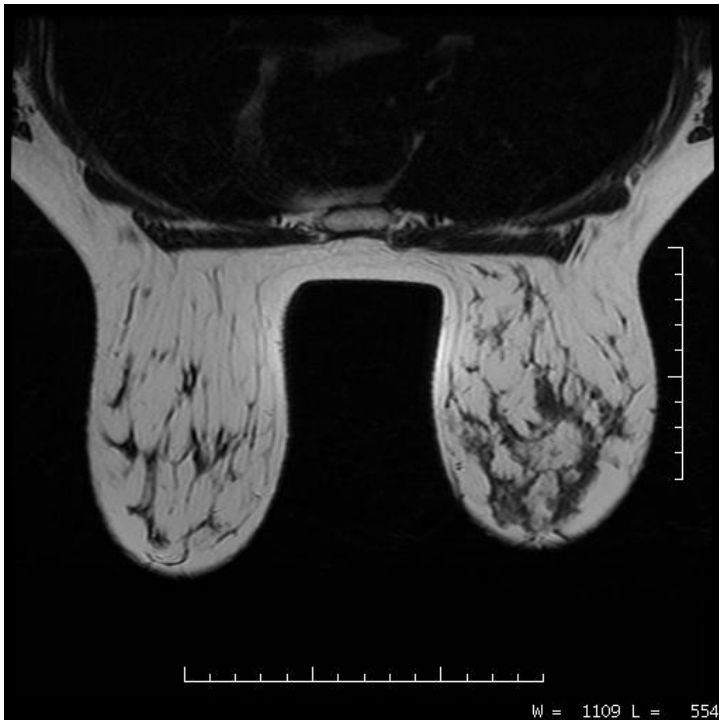


Obrázek 1 – Přístroj GE Signa HDxt 1,5 T (zdroj: Medihope s.r.o.)

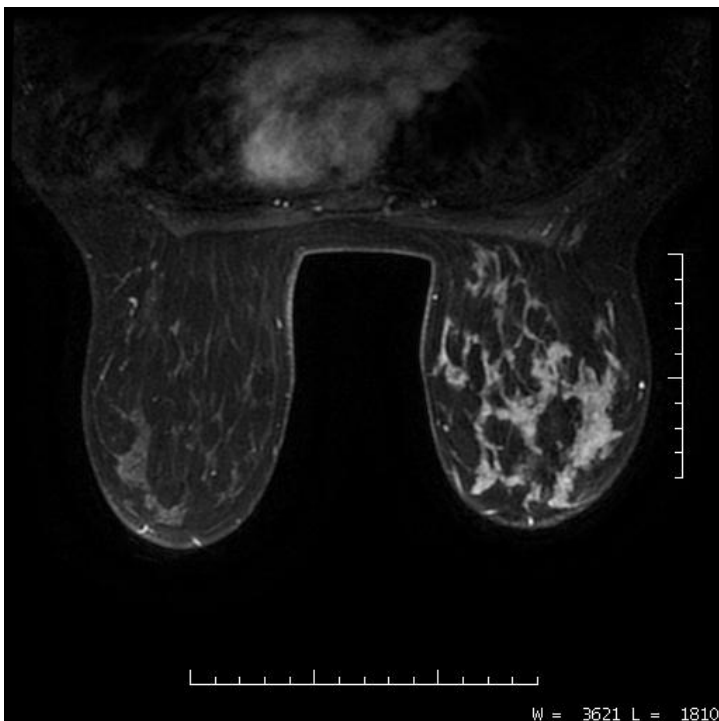


Obrázek 2 – Vyšetřovací stůl s biamamární cívkou (zdroj: Medihope s.r.o.)

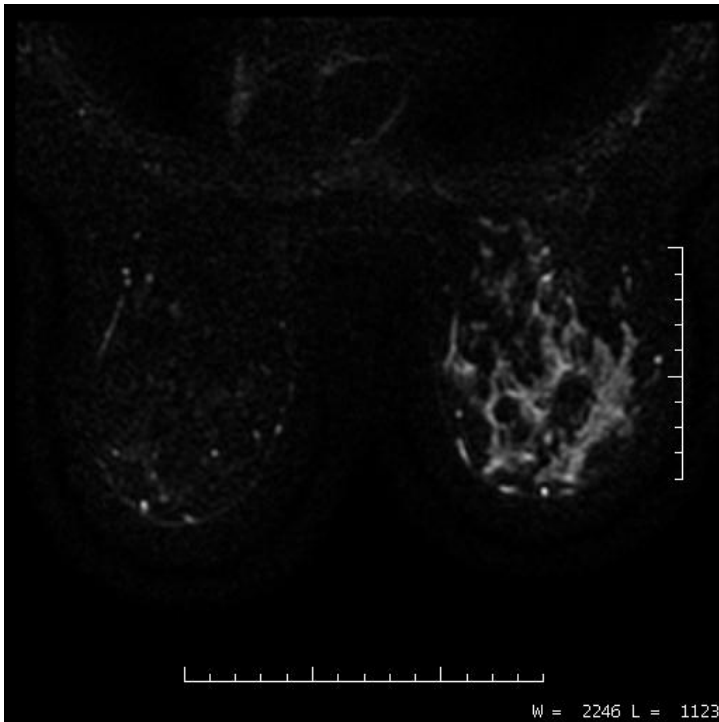




Obrázek 3 – Snímek z MR vyšetření prsu, T2 nativní sekvence, nález nehomogenního okrsku v pravém prsu, levý prs bez podezřelého nálezu (zdroj: Medihope s.r.o.)



Obrázek 4 – Snímek z MR vyšetření prsu, T1 sekvence po podání paramagnetické kontrastní látky, sycení v centrální části včetně suspektní lymfatické uzliny v pravém prsu, levý prs včetně uzlin bez podezřelého nálezu (zdroj: Medihope s.r.o.)



Obrázek 5 – Snímek z MR vyšetření prsu, DWI sekvence, nález nehomogenního okrsku v pravém prsu, levý prs bez podezřelého nálezu (zdroj: Medihope s.r.o.)