

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI
FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH VĚD
Ústav radiologických metod

Tomosyntéza ve screeningu karcinomu prsu

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Vendula Molinová
Vedoucí práce: MUDr. Lucia Veverková, Ph.D.

2022

PROHLÁŠENÍ AUTORA

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

V Olomouci dne

PODĚKOVÁNÍ

Chtěla bych poděkovat vedoucí práce paní MUDr. Lucii Veverkové, Ph.D. za její neobyčejnou pomoc, spolupráci, ochotu a vstřícný přístup při zpracování diplomové práce. Děkuji personálu mamografického oddělení Fakultní nemocnice Olomouc, že mi umožnil sbírat a hodnotit data. V neposlední řadě chci poděkovat své rodině za jejich nekonečnou lásku, veškerou podporu, trpělivost a důvěru během studia.

Anotace

Typ závěrečné práce: Diplomová práce

Téma práce: Mamografie

Název práce: Tomosyntéza ve screeningu karcinomu prsu

Název práce v AJ: Tomosynthesis in breast cancer screening

Datum zadání: 20.9.2021

Datum odevzdání: 10.5.2022

Vysoká škola, fakulta, ústav: Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta zdravotnických věd

Ústav radiologických metod

Autor práce: Bc. Vendula Molinová

Vedoucí práce: MUDr. Lucia Veverková, Ph.D.

Oponent práce:

Abstrakt v ČJ:

Diplomová práce se zabývá tématem relativně nové metody tomosyntézy, která je postupem času zaváděna do screeningu karcinomu prsu. V práci je popsána obecná mamografie a její technika, mamografický přístroj, způsoby detekce karcinomu prsu, tomosyntéza a screeningové metody, které jsou nedílnou součástí prevence žen po celé České republice. Praktická část se zabývá porovnáváním doby vyšetření, doby čtení lékařem a srovnáním dávek z vyšetření pomocí digitální mamografie a tomosyntézy. Práce se zamýšlí nad otázkou zavedení tomosyntézy do screeningu karcinomu prsu a snaží se výzkumem prokázat výhody a nevýhody tomosyntézy.

Abstrakt v AJ:

The diploma thesis deals with the topic of a new method tomosynthesis, which is gradually introduced into breast cancer screening. The diploma thesis describes general mammography and its technique, mammography device, methods of breast cancer detection, tomosynthesis and screening methods. Screening methods are an integral part of women`s prevention in the Czech Republic. The practical part of the diploma thesis deals with the comparison of examination time, doctor`s reading time and examination doses from digital mammography and digital tomosynthesis. The diploma thesis considers the issue of introducing

tomosynthesis into breast cancer screening and it tries to prove the advantages and disadvantages of tomosynthesis.

Klíčová slova v ČJ: digitální mamografie, mamografický screening, digitální tomosyntéza prsu, míra doplňujících vyšetření, detekce rakoviny, screeningové metody

Klíčová slova v AJ: digital mammography, mammographic screening, digital breast tomosynthesis, recall rate, breast cancer imaging, screening methods

Rozsah: 82 stran včetně příloh

OBSAH

1 Obsah

ÚVOD	8
POPIS REŠERŠNÍ ČINNOSTI	10
1 MAMOGRAFIE OBECNĚ.....	12
1.1 HUSTOTA PRSNÍ TKÁŇ.....	12
2 MAMOGRAFICKÝ PŘÍSTROJ.....	15
2.1 KONSTRUKCE MAMOGRAFU.....	15
2.1.1 RENTGENKA.....	16
2.1.2 KOLIMACE SVAZKU RTG ZÁŘENÍ.....	16
2.1.3 GENERÁTOR RTG ZÁŘENÍ.....	16
2.1.4 AUTOMATICKÉ ŘÍZENÍ EXPOZICE (AEC).....	17
2.1.5 KOMPRESÉ.....	17
2.1.6 MONITOROVÁNÍ DÁVKY.....	18
2.1.7 ZODPOVĚDNOST RADIOLOGICKÉHO ASISTENTA.....	18
3 TECHNIKA MAMOGRAFIE.....	19
3.1 INTERAKCE ELEKTRONŮ.....	19
3.2 TYPY DETEKTORŮ PRO MAMOGRAFIÍ.....	20
3.2.1 FOSFOROVÉ FLAT-PANELY.....	20
3.2.2 FOSFOROVÉ CCD-SYSTÉMY.....	21
3.2.3 FOTOSTIMULOVANÉ FOSFOROVÉ SYSTÉMY.....	21
3.2.4 SELENIOVÉ FLAT-PANELY.....	21
3.2.5 SYSTÉMY KVANTOVÉHO POČÍTÁNÍ RENTGENOVÝCH PAPRSKŮ.....	22
3.2.6 AUTOMATICKÉ ŘÍZENÍ EXPOZICE.....	22
3.2.7 OPTIMALIZACE SYSTÉMU.....	22
4 DIGITÁLNÍ MAMOGRAFIE.....	23
4.1 DIGITÁLNÍ DIAGNOSTICKÁ MAMOGRAFIE.....	24
4.1.1 MAMOGRAFICKÉ PROJEKCE.....	25
4.2 MAMOGRAFICKÝ SCREENING.....	29
4.2.1 SCREENINGOVÁ CENTRA V ČR.....	31
4.2.2 SCREENINGOVÉ TECHNIKY A MOŽNOSTI.....	31
4.2.3 KLASIFIKACE NÁLEZŮ MAMOGRAFICKÉHO SCREENINGU.....	32
4.2.4 MAMOGRAFICKÝ SCREENING ČESKÉ REPUBLIKY.....	33
4.3 SROVNÁNÍ DIAGNOSTICKÉ A SCREENINGOVÉ MAMOGRAFIE.....	35
5 TOMOSYNTÉZA OBECNĚ.....	37
5.1 PRINCIP TOMOSYNTÉZY.....	38
5.2 TECHNIKA.....	38
5.3 MÍRA DOPLŇUJÍCÍCH VYŠETŘENÍ.....	40
5.4 DIGITÁLNÍ TOMOSYNTÉZA V KOMBINACI S DIGITÁLNÍ MAMOGRAFIÍ.....	40
5.4.1 SENSITIVITA.....	41
5.4.2 SPECIFICITA.....	41
5.4.3 RECALL RATE.....	41
6 TOMOSYNTÉZA SOUČÁSTÍ SCREENINGU KARCINOMU PRSU.....	42
6.1 VÝHODY TOMOSYNTÉZY VE SROVNÁNÍ S DM.....	43
6.2 NEVÝHODY TOMOSYNTÉZY VE SROVNÁNÍ S DM.....	43
7 VÝZKUMNÉ TÉMA VČETNĚ CÍLŮ A HYPOTÉZ.....	45

7.1	CÍLE PRÁCE	45
7.2	HYPOTÉZY.....	46
8	METODIKA VÝZKUMU	47
8.1	CHARAKTERISTIKA VÝZKUMNÉHO SOUBORU	47
8.1.1	<i>ROZBOR VĚKU VÝZKUMNÉHO SOUBORU.....</i>	<i>48</i>
8.2	TYP PŘÍSTROJE, AKVIZICE.....	48
8.3	METODA SBĚRU DAT	49
8.4	ETICKÁ PROBLEMATIKA VÝZKUMU	49
9	VÝSLEDKY VÝZKUMNÉHO ŠETŘENÍ.....	50
9.1	POROVNÁNÍ ČASU VYŠETŘENÍ	50
9.2	POROVNÁNÍ ČASU DRUHÉHO ČTENÍ SNÍMKŮ LÉKAŘEM	53
9.3	POROVNÁNÍ OBDRŽENÝCH DÁVEK PŘI VYŠETŘENÍ	56
	DISKUSE.....	58
	ZÁVĚR.....	61
	REFERENČNÍ ZDROJE	62
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	67
	SEZNAM OBRÁZKŮ	68
	SEZNAM TABULEK.....	69
	SEZNAM GRAFŮ	70
	SEZNAM PŘÍLOH	71

ÚVOD

Výskyt karcinomu prsu v zemi poslední 2-3 incidence mírně klesá, protože se od roku 2002 v České republice úspěšně provádí screening karcinomu prsu žen starších 45 let pomocí digitální mamografie, který je hrazen ze zdravotního pojištění. Avšak mladší ženy mohou chodit na preventivní vyšetření pomocí ultrazvuku také, jako samoplátci. Mladší ženy s genetickým zatížením mají preventivní vyšetření zapláceno v rámci pojištění. V ČR se každoročně diagnostikuje více než 7 200 nových případů onemocnění. Jedinou možností boje proti karcinomu prsu je včasná diagnostika a úspěšná léčba. Díky celoplošnému screeningovému programu asymptomatických žen klesá mortalita na uvedené onemocnění. Pro provoz screeningového programu musí každé pracoviště splnit přísná kritéria a získat akreditaci. Plnění těchto kritérií všech akreditovaných pracovišť je neustále monitorováno. Vzniku karcinomu nelze plně zabránit, jelikož se na původu onemocnění podílí genetická predispozice, pohlaví, věk a vnější faktory. Screening probíhá u každé ženy v pravidelném intervalu dvou let a pacientky jsou vyšetřovány vždy ve dvou projekcích – kraniokaudální a mediolaterální šikmé. V případě nejasného výsledku je na řadě doplňující vyšetření, mezi které se řadí ultrazvuk, další doplňující mamografické projekce, magnetická rezonance nebo tomosyntéza. Ultrazvuk se řadí mezi zlatý standard v zobrazování uzlin a jejich případného zvětšení z důvodu maligního postižení. Doplňující mamografické projekce jsou v práci popsány dále včetně tomosyntézy, která se řadí mezi velice kvalitní 3D zobrazování zrekonstruované z devíti projekcí získaných pohybem rentgenky kolem prsu v předem daných pozicích. Tomosyntéza pomáhá k rozprojikování nálezu a zabránění superpozice tkáňových struktur prsu. Právě proto se relativně nová a moderní digitální tomosyntéza čím dál více dostává do screeningu karcinomu prsu. Určité modality s sebou nesou riziko ionizujícího záření a obdržené dávky z každého vyšetření. Vždy musí převažovat správné odůvodnění a získaná diagnostická informace nad rizikem vyšetření pomocí ionizujícího záření.

Diplomová práce se zabývá obecnými informacemi o mamografii včetně technických částí, konstrukcí digitálního mamografu, jehož jednotlivé části přispívají ke správné diagnostice, způsobem vyšetřování, fyzikálními vlastnostmi záření, screeningem karcinomu prsu, digitální mamografií a v neposlední řadě zmíněnou digitální tomosyntézou. Digitální tomosyntéza je v teoretické i výzkumné části rozebírána a porovnávána s digitální mamografií ať už v případě, že by byla součástí vyšetření v

kombinaci s digitální mamografií nebo samotná. Přestože se při digitální mamografii vyšetřuje ve dvou projekcích, při tomosyntéze by bylo možné pacientky vyšetřovat pouze v mediolaterální šikmé projekci díky rekonstrukci obrazů z devíti úhlů. Práce rozebírá otázku zavedení tomosyntézy do screeningu karcinomu prsu a zaobírá se možnostmi, kterými by mohla tomosyntéza přispět. Výzkumná část projednává problematiku doby vyšetření, druhého čtení lékařem a dávek obdržených při mamografickém vyšetření a při vyšetření tomosyntézou na každý prs, jelikož jednotlivé prsy jsou rozdílné.

POPIS REŠERŠNÍ ČINNOSTI

Pro vyhledávání správných informací sloužila uvedená rešeršní strategie. V práci byla zvolena klíčová slova, která jsou nesmírně důležitá k vyhledání validních informací a jejichž úkolem bylo zadání do uvedených databází odborného původu (PubMed, Google Scholar, Medvik, Science Direct, Springer). Klíčová slova byla vyhledávána v českém a anglickém jazyce – digitální mamografie (digital mammography), mamografický screening (mammographic screening), digitální tomosyntéza (digital breast tomosynthesis), míra doplňujících vyšetření (recall rate), detekce rakoviny (breast cancer imaging), screeningové metody (screening methods). K vyhledávání odborných titulů byla využita Knihovna Univerzity Palackého v Olomouci, Vědecká knihovna Fakultní nemocnice Ostrava a MSVK – Moravskoslezská vědecká knihovna v Ostravě. Všechny zdroje byly citovány dle normy v průběhu celé práce a na konci práce v seznamu zdrojů.

TEORETICKÁ ČÁST

1 MAMOGRAFIE OBECNĚ

Mamografie je obor, který se v posledních letech bouřlivě rozvíjí a její dostupnost je již po celé České republice. Legislativa radiační ochrany zabezpečuje kontrolu kvality (zejména zkoušky dlouhodobé stability, zkoušky provozní stálosti), která se opakuje v daných intervalech. (Daneš, 2002)

Mamografie nadále zůstává primární screeningovou metodou u karcinomu prsu, což vyplývá z dlouhodobého sledování v randomizovaných studiích. (Oeffinger, 2015) V observačních studiích se úmrtnost na karcinom prsu snížila o 25 až 31 % u žen, které byly pozvány na screening. V důsledku mamografického screeningu se zlepšila detekce invazivních nádorů s negativními uzlinami a snížila se úmrtnost pacientek. (Tabár, 2015) Avšak ne všechny ženy z mamografie profitují. Ženy s vysokým rizikem karcinomu prsu v důsledku patogenních mutací se setkávají s vysokým podílem tzv. „intervalových nádorů“, které se objevují po provedení mamogramu a před dalším doporučeným vyšetřením. Tyto nádory mají často horší prognózu než nádory detekované při mamografickém screeningu. Riziko takového karcinomu prsu se zvyšuje se zvětšující se denzitou prsu a u žen, které mají genetický předpoklad rakoviny prsu v rodinné anamnéze. (Houssami, 2011)

U žen, kde je mamografie o něco méně přehledná, je zájem o doplňující vyšetření pomocí ultrazvuku, tomosyntézy, magnetické rezonance a jiných metod. Ultrazvuk spolu s kombinací mamografického vyšetření detekuje časně invazivní karcinomy prsu. Zkrácené protokoly u vyšetření pomocí MRI mohou snížit náklady a zvýšit dostupnost vyšetření pro ženy s průměrným rizikem karcinomu prsu s denzními prsy. V úspěšném mamografickém screeningovém programu by však intervalová nádorová onemocnění měla představovat méně než 10 % všech nádorových onemocnění. (Berg, 2016)

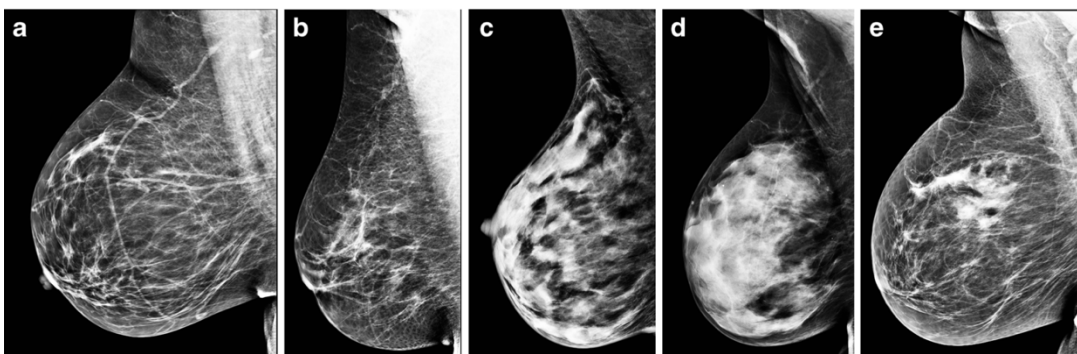
1.1 HUSTOTA PRSNÍ TKÁNĚ

Hustota prsní tkáně může mít vliv na riziko rozvoje karcinomu prsu. Dle BI-RADS (The Breast Imaging Reporting and Data System) byly prsy s různou hustotou rozdělena do několika kategorií:

- 1) prsy téměř celé tukové
- 2) prsy s rozptýlenými oblastmi s fibroglandulární strukturou
- 3) heterogenně tukové, které můžou zastírat detekci malých mas

4) extrémně husté, která snižují citlivost mamografie

Poslední dvě uvedené kategorie jsou považovány za „denzní“. Je také kladen větší důraz na maskovací efekt v prsou s denzními oblastmi – v těchto oblastech mohou být skryty malé nekalcifikované léze a prs může být klasifikován jako heterogenně denzní. (Sickles, 2013)



Obrázek 1 Příklady jednotlivé hustoty prsů: a) tukové, b) rozptýlené fibroglandulární struktura, c) heterogenně denzní, d) extrémně denzní, e) heterogenně denzní v jednom kvadrantu (Vourtsis, 2018)

Zhruba 43 % žen ve věku od 40 do 74 let má denzní prsy. V období menopauzy může mít hustota prsů u vybrané skupiny žen tendenci klesat z důvodu involuce žlázové tkáně. Byly vyvinuty automatizované softwarové programy, které umí kvantitativně měřit hustotu prsů. Metody používané k posouzení mamografické hustoty jsou buď vizuální, poloautomatizované či plně automatizované. Metody měření mamografické hustoty poskytují kvantitativní měření plošných či objemových parametrů. Zatímco vizuální, kvalitativní metoda může být mezi radiology velmi subjektivní, automatizovaný kvantitativní software nabízí konzistentnější a méně subjektivní výsledky. (Destounis, 2017)

Mamografická denzita se řadí mezi jeden z nejsilnějších rizikových faktorů karcinomu prsu. Ženy s extrémně hustými prsy mohou mít 4 - 6x vyšší riziko vzniku rakoviny prsu než ženy, které mají tučné prsy. Hustota prsů je začleněna do některých rizikových modelů a z uvedených důvodů by měla být zohledněna i při screeningu, který je založený na posouzení rizika a cílové prevenci žen. (Kerlikowske, 2017) Vysoká hustota prsů může snižovat citlivost mamografie, jelikož se maskují nekalcifikované nádory, a to může mít za důsledek oddálení výsledné diagnózy s horšími výsledky. Celoplošná digitální mamografie vykazuje mírně vyšší citlivost ve

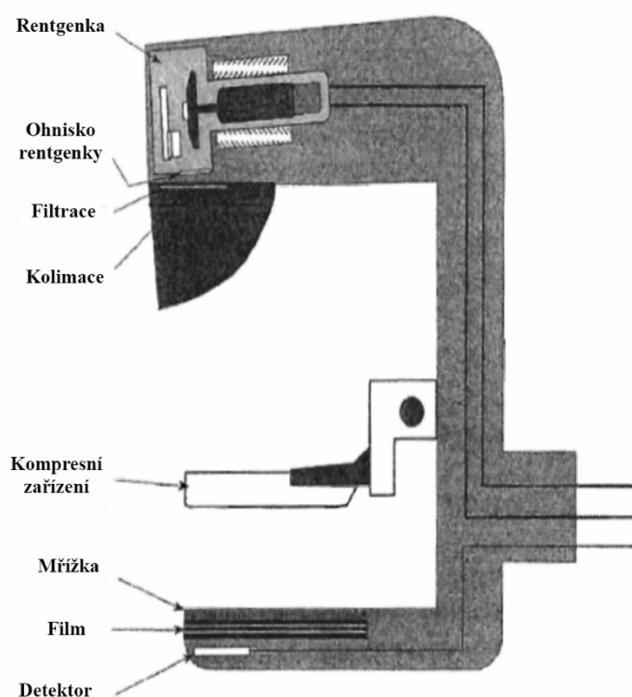
srovnání s analogovou mamografií. Digitální mamografie je první prioritou pro zlepšení mamografické citlivosti vyšetřovaných žen s denzními prsy. (Sardanelli, 2017)

2 MAMOGRAFICKÝ PŘÍSTROJ

Mamografický přístroj nabízí základní radiologické vyšetření prsu. Umožňuje zobrazovat měkké tkáně, které se od sebe odlišují nízkým kontrastem pomocí tzv. měkkého záření. Mamograf vyhodnocuje změny v hustotě tkání zobrazovaných rentgenovým zářením o nižší energii 25 až 30 keV. Nádorový proces se na mamogramech zobrazuje jako oblast se zvýšenou hustotou a dalšími nehomogenitami. Ke zvýšení citlivosti metody se provádí komprese tkáně pomocí kompresního zařízení. (Seidl, 2012)

2.1 KONSTRUKCE MAMOGRAFU

Mamograf se skládá z rentgenky, krytu rentgenky, generátoru, kompresního zařízení, C ramena, sekundární Bucky clony, expozičního automatu. Mamografický přístroj se od běžných rentgenových přístrojů odlišuje rentgenkou, kompresním zařízením a starší mamografy se vyznačují i jiným používaným mamografickým filmem. (Seidl, 2012)



Obrázek 2 Konstrukce mamografu (KALPANA M. Kanal, Mammography)

2.1.1 RENTGENKA

Rentgenka mamografu s rotační anodou je vyrobena z molybdenu či rhodia a mezi její přednosti lze zařadit produkci výhodnějšího spektra charakteristického záření, které obsahuje fotony s nízkou energií. Molybden produkuje charakteristické záření o energii 17,5 a 19,6 keV a rhodium o energii 20,0 a 22,7 keV. V rentgence se využívá malého ohniska (0,3 mm), které je schopno zachytit struktury velmi malé velikosti – příkladem mohou být mikrokalcifikace. Rozdílně se filtruje primární svazek záření, jehož fotony s vyšší energií (více než 20 kV) jsou absorbovány a fotony s nižší energií se propustí dále. K filtraci se používá jednodimetrové berrylium pro jeho dobrou strukturální integritu a nízkou propustnost. (Seidl, 2012)

Digitální mamografie má sice vyšší dávku záření, ale odstraňuje nevýhody konvenční mamografie jako je především nižší kontrast a šum. Digitální obrazy jsou uchovávány v paměti počítače a mohou být upravovány pro další potřeby interpretace dat. (Seidl, 2012)

2.1.2 KOLIMACE SVAZKU RTG ZÁŘENÍ

Kolimační otvory mohou mít pevnou nebo proměnnou velikost. Velikost kolimačního zařízení odpovídá velikosti kazetových filmů (18 x 24 cm nebo 24 x 30 cm). Sestava kolimátorů definuje pole rtg paprsků. Rentgenové pole a jeho kongruence musí být v rozmezí 2 % SID pro každou stranu. Užitečné rentgenové pole musí sahát až k hrudní stěně pacientky, aniž by byla stěna v obraze oříznuta. (Kalpana, 2005)

2.1.3 GENERÁTOR RTG ZÁŘENÍ

Generátor rentgenového záření pro mamografii odpovídá vzhledem i funkcí standardnímu generátoru používaného ve skiografii. Avšak existuje několik rozdílů:

- a) Výkon generátoru jsou 3 kW
- b) Napětí dodávané do rentgenky je cca 20-40 kV
- c) Kontrola automatické expozice je odlišná

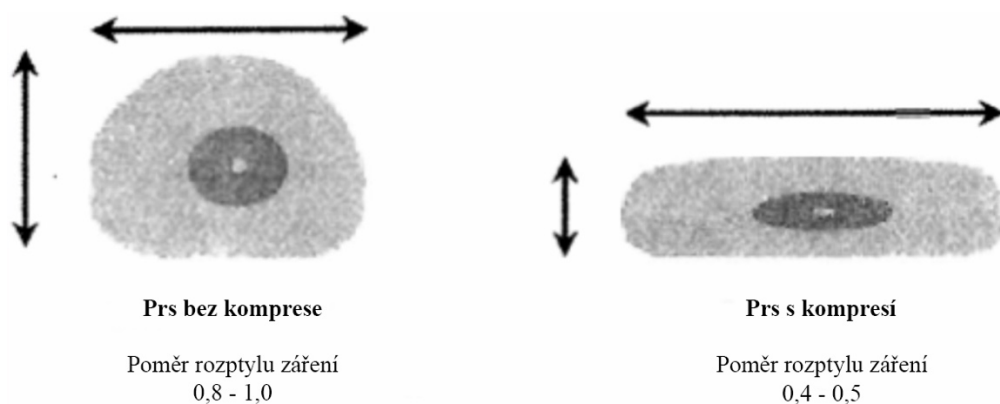
Mezi standardní zařízení používané pro mamografii se řadí vysokofrekvenční generátory. (Kalpana, 2005)

2.1.4 AUTOMATICKÉ ŘÍZENÍ EXPOZICE (AEC)

Automatické řízení expozice (z angl. překladu automatic exposure control, zkratka AEC) využívá ke svému fungování radiační senzor či více senzorů, zesilovač a komparátor napětí. Na rozdíl od klasické radiografie je automatické řízení expozice uloženo pod kazetou v mamografickém přístroji. V případě, že je přenos fotonů nedostatečný pro spuštěný komparátoru napětí, záložní časovač způsobí ukončení expozice. Pro opakování expozice je nutné zvýšit vyšší kV pro větší prostupnost paprsku a kratší expoziční doby. (Kalpana, 2005)

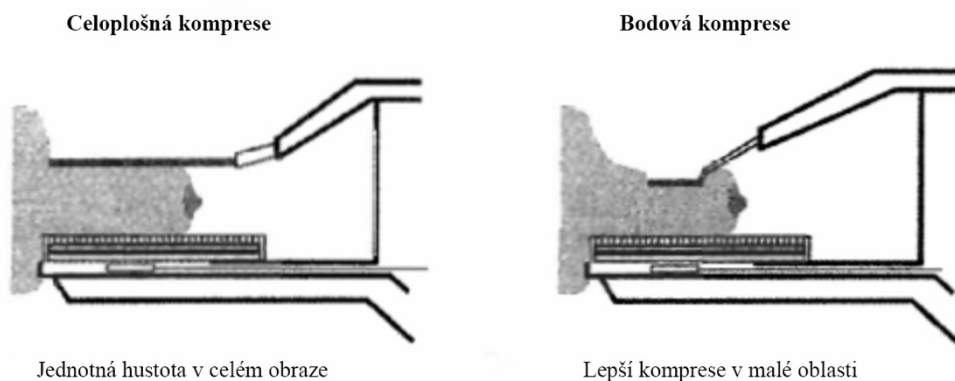
2.1.5 KOMPRESSE

Kompresní desky stlačují prs v průběhu vyšetření. Díky kompresi se dosahuje nižší obdržené dávky záření a zvýšení kontrastu obrazu. Komprese prsu umožňuje snížit pohybovou neostrost a negativní projevy sumace obrazu. (Seidl, 2012) Při snížení tloušťky tkáně prsou se objevuje méně rozptylu záření a rozmazání anatomických struktur. (Kalpana, 2005)



Obrázek 3 Vliv komprese na prs (Kalpana, 2005)

Kompresse je dosaženo pomocí kompresní desky, která je připojena ke kompresnímu zařízení ovládaného pomocí pedálů propojených s mamografickým přístrojem. Deska neboli tubus umožňuje docílit jednotné hustoty obrazu silou 10 až 20 N. Existují dva druhy komprese prsu – celoplošná komprese paralelní k ploše podpírající prs a bodová komprese využívající malé kompresní tubusy. Hlavní nevýhodou stlačení prsu je chvilkový diskomfort pacientky. (Kalpana, 2005)



Obrázek 4 Srovnání celoplošné a bodové komprese (Kalpana, 2005)

2.1.6 MONITOROVÁNÍ DÁVKY

Riziko vzniku karcinogeneze z dávky záření v prsu vzbuzuje u veřejnosti obavy, proto je sledování dávky velmi důležité a vyžaduje každoroční kontrolu. Mezi veličiny užívané v mamografii se řadí:

- a) Vstupní povrchová dávka na kůži (ESE = entrance skin exposure) - měření expozice na kůži probíhá pomocí vakuové ionizační komory.
- b) Polotloušťka materiálu (HVL = half value layer) – udává sílu materiálu, která snižuje intenzitu záření na polovinu. HVL je v prsu od 0,3 do 0,4 mm Al pro napětí 25-30 kV. (Kalpana, 2005)

2.1.7 ZODPOVĚDNOST RADIOLOGICKÉHO ASISTENTA

Od radiologického asistenta se očekává, že bude odborně vyškolen k obsluze mamografického přístroje a bude správně provádět měření pro zajištění požadované kvality, která je důležitá pro detailní lékařskou diagnostiku. Poskytování zpětné vazby technologům ohledně aspektů klinické výkonnosti a problematiky přístroje je nesmírně důležité pro další modernizaci mamografie. V neposlední řadě se od radiologického asistenta očekává profesní přístup k pacientce podstupující vyšetření na mamografickém přístroji. (Kalpana, 2005)

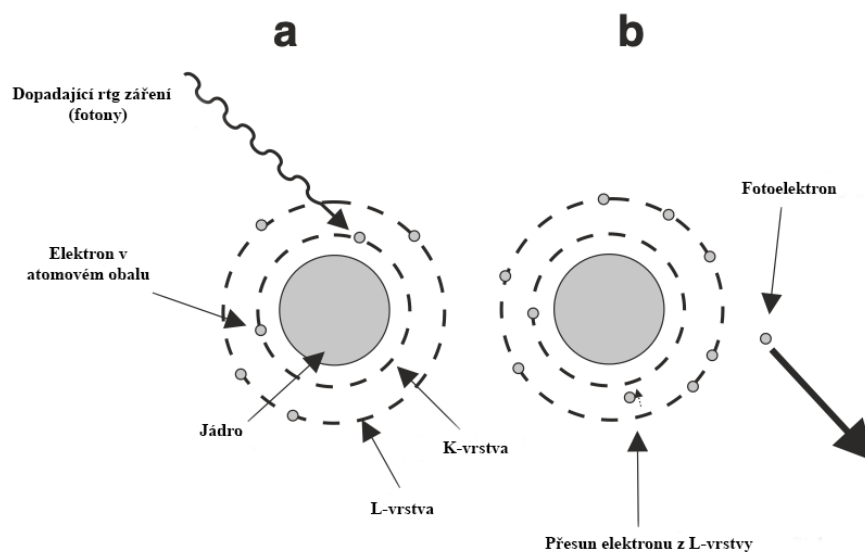
3 TECHNIKA MAMOGRAFIE

Mezi detektory vhodné pro mamografii by měly zařadit takové, které jsou schopny zachytit přenášený rentgenový obraz z co největší části snímkaného prsu. Ke splnění požadavku musí mít rozměry alespoň 24 x 30 cm. Pro malý prs je k dispozici i menší velikost detektoru, formát 18 x 24 cm. (Lazzaria, 2007)

Existují dva typy digitální mamografie. První způsob používá vyobrazení v plné velikosti pole detektoru, mezi druhý způsob se řadí zobrazování pomocí úzkého kolimovaného svazku rentgenového záření, aby bylo snímáno menší pole s méně rozptýleným zářením. (Lazzaria, 2007)

3.1 INTERAKCE ELEKTRONŮ

Počáteční rentgenová interakce je společná pro všechny detektory. K interakci dochází na atomové úrovni materiálu detektoru. Při energiích používaných pro mamografické zobrazování reagují atomy jedním ze tří mechanismů: pružným rozptylem, Comptonovým jevem (nepružný rozptyl) či fotoelektrickým efektem. Při pružném rozptylu v detektoru nezůstává žádná energie a neprodukuje se žádný signál. U Comptonova rozptylu se část energie rentgenového záření absorbuje v počátečním stádiu rentgenového dopadu a uvolní se zpětný elektron, zbytek energie odchází ve formě rozptýleného záření, což může mít za následek ztráty prostorového rozlišení. U fotoelektrického efektu přicházející foton vyrazí elektron z atomového obalu (vrstva K nebo L) a předá elektronu velkou část své energie. Volné místo se zaplní elektronem z vyšší energetické vrstvy a nadbytečná energie se vyzáří ve formě charakteristického záření. Usiluje se o to, aby většina interakcí záření v detektoru byla pomocí fotoelektrického jevu, jelikož tento efekt umožňuje dosáhnout vysokého prostorového rozlišení. Pro zvýšení počtu reakcí fotoelektrického efektu je vhodné použít detektor s relativně vysokým atomovým číslem (např. Se). (Bissonnette, 2005)



Obrázek 5 Fotoelektrický jev (přeloženo autorem DP, Bissonnette, 2005)

U všech typů detektorů dochází k přenosu energie fotonů do materiálu detektoru prostřednictvím excitace či ionizace elektronů uvnitř struktury detektoru. Proces excitace nebo ionizace závisí na vnitřní molekulární struktuře. Je možné rozlišovat struktury typu ušlechtilých plynů, fotovodičů, fluorescenčních fosforů a fotostimulačních fosforů. (Aslund, 2007)

3.2 TYPY DETEKTORŮ PRO MAMOGRAFII

Existuje několik typů detektorů užívaných v digitální mamografii.

3.2.1 FOSFOROVÉ FLAT-PANELY

Systémy flat-panelů jsou založeny na principu fotodiody citlivých na světlo. Fotodiody jsou propojeny soustavou ovládacích prvků a tenkým filmovým tranzistorem (TFT). Tyto elektronické součástky, které jsou vyrobeny z amorfního křemíku, detekují světlo vyzařované fosforem a převádějí signál do elektrického náboje. (Monnin, 2007)

3.2.2 FOSFOROVÉ CCD-SYSTÉMY

U uvedeného typu detektorů se rentgenové záření absorbuje iodem cesným aktivovaným thaliem a je vrstveno na fibrooptickou desku, která vede světlo z fosforu do několika uspořádaných řad systémů CCD. Optická vlákna přenášejí obraz s minimální ztrátou prostorového rozlišení. CCD je elektronický čip, který obsahuje řady prvků citlivých na světlo. Světlo se poté převádí na elektronický náboj. Náboj se přenáší a odečítá jediným zesilovačem a analogově-digitálním převaděčem. Detektor tohoto typu je obdélníkového tvaru s rozměry cca 1 x 24 cm. Přicházející rentgenový paprsek je spojen do úzké štěrbině proto, aby odpovídal určenému formátu. (Shaw, 2004)

3.2.3 FOTOSTIMULOVANÉ FOSFOROVÉ SYSTÉMY

Fotostimulované fosforové systémy jsou často označovány jako počítačová radiografie (CR). Energie rentgenových paprsků se absorbuje ve fosforovém materiálu obsahujícím vysoký výskyt zachytávacích elektronových míst. Absorbovaná energie způsobí dočasné uvolnění elektronů z krystalové mřížky a následně jsou elektrony zachyceny v pasti uvnitř krystalové mřížky. V mřížce mohou být uloženy s přiměřenou stabilitou po určitou dobu v sekundách až hodinách. Počet pastí je úměrný množství rentgenové energie absorbované v určitém místě. Analogový obraz se následně načte ve čtecím zařízení pomocí červeného laserového paprsku. Paprsek uvolní elektrony z pasti, které se vrací do původního stavu v krystalové mřížce. Při tomto ději mohou procházet mezi energetickými hladinami v krystalové struktuře. (Bick, 2010)

3.2.4 SELENIOVÉ FLAT-PANELY

V tomto typu detektoru je obsažena tenká vrstva amorfního selenu. Rentgenové paprsky interagují s amorfním selenem a produkují se energetické fotoelektrony, které ztrácejí kinetickou energii díky mnohočetným interakcím s elektrony vnějších orbitalů atomů selenu. Uvedený proces způsobuje uvolnění některých elektronů a uvolněný elektron způsobí tzv. „díru“, která vyrobí signál. Signály ze všech aktivovaných děr se pak současně přenáší do matice z důvodu jejich zesilování a digitalizování. (Bick, 2010)

3.2.5 SYSTÉMY KVANTOVÉHO POČÍTÁNÍ RENTGENOVÝCH PAPRSKŮ

Systémy kvantového počítání rtg paprsků pracují na principu pohlcování energie z interagujícího rentgenového záření. Detektory akumulují elektronický signál, který je produkován všemi rtg paprsky. Signál se dále digitalizuje na informaci odpovídající pixelu obrázku. Aspekt detektorů spočívá v tom, že vyšší kvantum energií rtg záření produkuje více signálu v detektoru než záření s nižší energií, a to má tendenci zatěžovat signál obrazu vyššími energetickými kvanty záření. Záření s vyšší energií nese slabší obrazový kontrast než záření s nižší energií. (Bick, 2010)

3.2.6 AUTOMATICKÉ ŘÍZENÍ EXPOZICE

Digitální obrazová akvizice může poskytovat příležitosti k zásadnímu zlepšení automatické optimalizace. Již není nutné mít oddělený AEC snímač, protože jako multiprvkový senzor může sloužit digitální detektor. Tato skutečnost není možná u fotostimulačních fosforových systémů z důvodu užívání konvenčních filmových mamografických zařízení a spoléhání se na AEC snímač. (Bick, 2010)

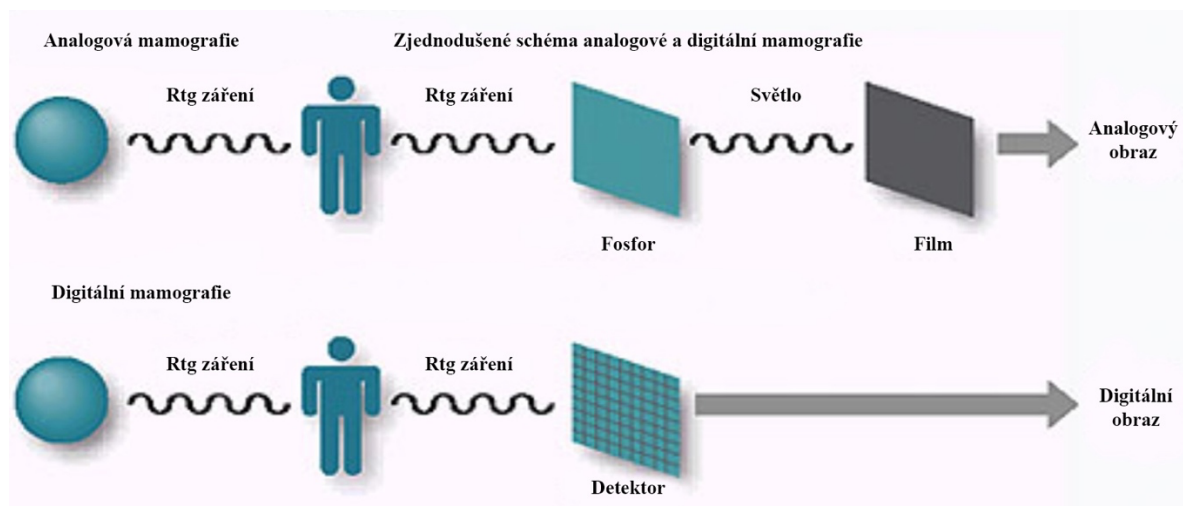
3.2.7 OPTIMALIZACE SYSTÉMU

Optimalizace digitálního mamografického systému je nedílnou součástí procesu pro správné zobrazování prsů a může poskytnout následující výhody:

- 1) Efektivnější akviziční data pro mamogram z důvodu detektoru schopného absorbovat velké množství rentgenových paprsků procházejících vyšetřovaným prsem
- 2) Eliminaci šumu
- 3) Redukce radiační dávky
- 4) Dobrý jas a kontrast obrazu v závislosti na správné expozici
- 5) Schopnost odlišit další struktury v obrazu (Van Engen, 2006)

4 DIGITÁLNÍ MAMOGRAFIE

Digitální mamografie se v kombinaci s dvojitým čtením lékařů stala zlatým standardem v diagnostice i ve screeningu karcinomu prsu. (Kalpana, 2005)



Obrázek 6 Schéma digitální a analogové mamografie (Kalpana, 2005)

Výhody digitální mamografie:

- 1) Optimalizuje úpravu vytvořených obrazů
- 2) Zlepšuje detekci lézí
- 3) Výsledné obrazy je jednodušší skladovat

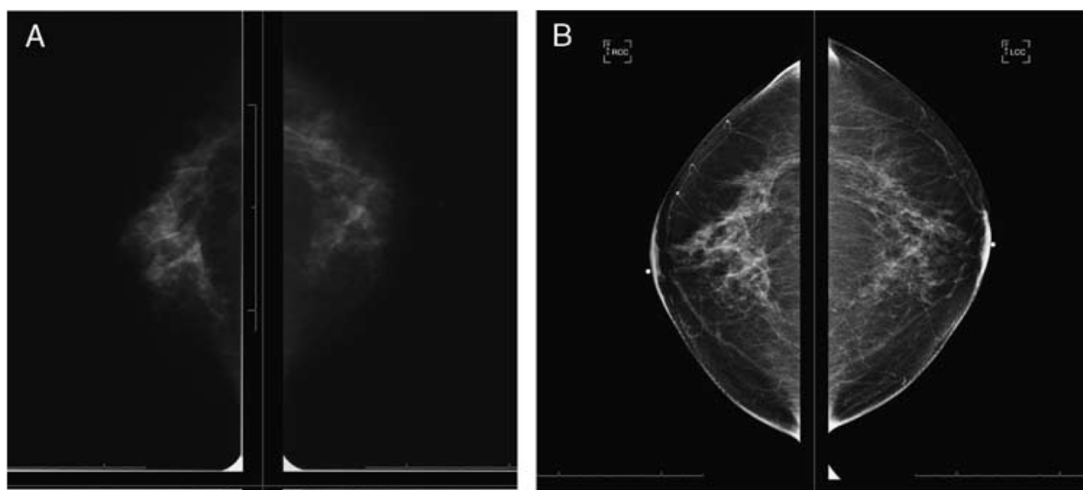
Nevýhody:

- 1) Pořizovací cena systémů
- 2) Limitující prostorové rozlišení

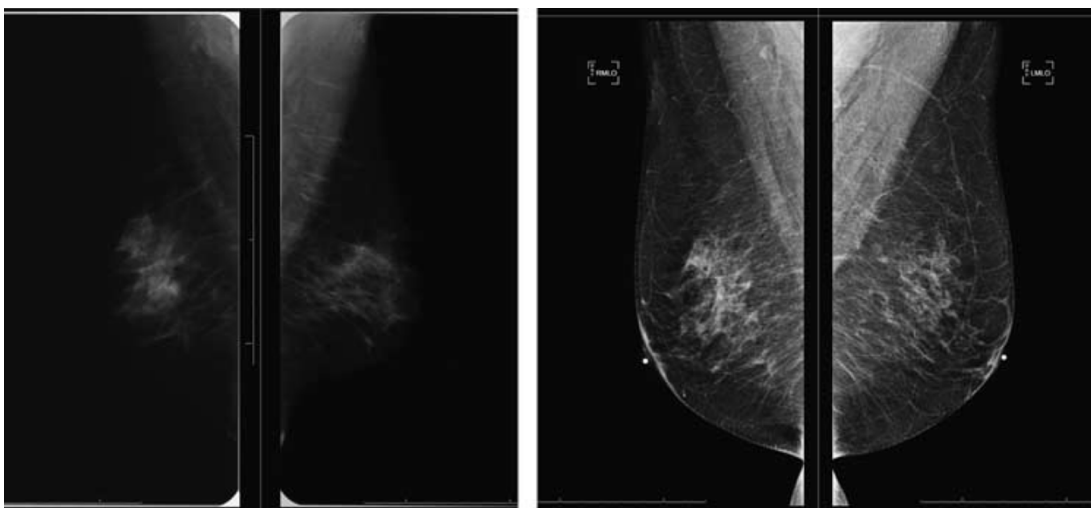
Umění rozpoznat specifické nedostatky klinických obrazů co nejdříve a porozumět příčinám těchto nedostatků je pro lékaře a radiologické techniky velice důležité. Kromě doporučeného každodenního hodnocení klinických snímků fyzikem a radiologickým technikem je nařízeno zákonem o normách kvality mamografie v určených intervalech (každý jeden, dva nebo maximálně tři roky) kontrolovat kvalitu prováděných mamografických vyšetření pod záštitou akreditačních programů. (Kalpana, 2005)

4.1 DIGITÁLNÍ DIAGNOSTICKÁ MAMOGRAFIE

Každý obraz z digitální mamografie je vytvořen jednoduchou rentgenovou expozicí. Rozdíl mezi analogovou a digitální mamografií spočívá v odlišném převádění rentgenových paprsků digitálním detektorem na elektrický signál. Pomocí digitální mamografie počítač tvoří mamografický obraz z elektrického signálu. Díky digitální mamografii se vylepšila kvalita obrazu, správa obrazu se zefektivnila (což zahrnuje ukládání, vyhledávání, přenos snímků), přenos obrazu do jiných zařízení je snazší a zlepšila se i kontrola kvality. (Moseley, 2016)



Obrázek 7 A - analogová mamografie a B - digitální mamografie v CC projekcích (Moseley, 2016)



Obrázek 8 Analogová a digitální mamografie v ML projekcích (Moseley, 2016)

Diagnostická mamografie se využívá k diagnostice tumorů u pacientů s hmatnou rezistencí či jinými příznaky onemocnění prsu, mezi které patří patologická sekrece z prsu, kožní změny. Je nutné srovnat mamografii s bezprostředním klinickým nálezem. Existují standardní projekce, ve kterých se mamografie provádí. Ke standardním projekcím se mohou provádět v případě potřeby také projekce doplňující. (Daneš, 2002)

4.1.1 MAMOGRAFICKÉ PROJEKCE

Mezi základní projekce diagnostické i screeningové mamografie se řadí projekce kraniokaudální (z angl. překladu cranio-caudal view, CC) a mediolaterální (z angl. překladu medio-lateral-oblique view, MLO). Ke správnému provádění každé projekce je nutné znát anatomii prsu a respektovat jeho mobilitu. Prs je možné rozdělit na pohyblivé partie, mezi které patří laterální a inferiorní části a na partie pevné, mezi které lze zařadit mediální a horní část prsu. K dosažení maximálního podílu zobrazovaného prsu je nutné posouvat pohyblivé části prsu a zabraňovat posouvání kompresní desky proti pevným částem tkáně za současné relaxace pektorálního svalu. (Daneš, 2002)

Provedení standardní projekce definují dvě podmínky:

- 1) Zobrazit co největší část prsní tkáně
- 2) Zachytit bradavku z profilu

KRANIOKAUDÁLNÍ PROJEKCE

Při kraniokaudální projekci rentgenový paprsek prochází od horních k dolním částem prsu a je kolmý k podlaze. Pacientka je postavena čelem k mamografickému přístroji a je laborantkou nastavována k vyšetření. Prs pacientky je vyzvednut tak vysoko, jak to dovolí jeho přirozená mobilita. Rozsah posunu prsu je ve většině případů od 1,5 do 6 cm. Laborantka vytahuje prs pacientky od hrudní stěny a bradavku umísťuje do středu detektoru pro zachycení co největšího rozsahu mediálních i laterálních částí prsu. Při použití obou rukou se dosahuje maximálního zachycení tkáně a také se eliminuje zobrazení kožních řas. Provedení správné komprese způsobí potřebnou tuhost tkáně prsu. Správně provedený kraniokaudální snímek se vyznačuje zachycením veškeré mediální části prsu, zachycením okraje prsního svalu v dorzálních partiích (až do 70 %) a uložením bradavky centrálně na konvexitě prsu včetně jejího zobrazení z profilu. (Daneš, 2002)

MEDIOLATERÁLNÍ ŠIKMÁ PROJEKCE

Mediolaterální šikmá projekce (z angl. mediolateral oblique projection – MLO) jako jediná zobrazuje největší část prsu. V případech, kdy se provádí pouze jedna projekce, se volí právě projekce mediolaterální šikmá kvůli zobrazení téměř celého prsu. Rameno mamografického přístroje se sklápí v úhlu držáku detektoru od třiceti do šedesáti stupňů od horizontální roviny. Přesný úhel se určuje u každé pacientky individuálně za dosažení paralelního postavení detektoru s průběhem prsního svalu. U silných žen se pro vyšetřování zvolí úhel nižší než u vysokých štíhlých žen. (Daneš, 2002)

Při provádění projekce stojí pacientka čelem k přístroji a otáčí tělo směrem ven od vyšetřovaného prsu. Laborantka pracuje s prsem čelem k pacientce z vnitřní strany. Pro úspěšný snímek by měla být pacientka uvolněná, její rameno by mělo být svěšeno na roh detektoru a paže je taktéž zrelaxována. U této projekce provádí laborantka specifický manévr, tzv. „out-and-up manevr“, který elevuje prs, vytáhne prsní sval od hrudní stěny ve směru dopředu a rozprostře prsní parenchym do celé plochy. Během komprese by mělo dojít k odtlačení břišní tkáně směrem dolů a otevření inframamárního úhlu. Je vhodné, aby si pacientka při provádění komprese mírně odtáhla nevyšetřovaný prs za účelem získání lepšího obrazu. Správně provedené snímky se vyznačují zrcadlově symetrickým zobrazením obou prsů, dobře patrnými okraji prsního svalu, dobře oddělenými strukturami prsu a zobrazením bradavky z profilu. (Daneš, 2002)

DALŠÍ PROJEKCE

Kraniokaudální a mediolaterální šikmá projekce se řadí mezi projekce základní. Kromě základních projekcí existují i projekce přídatné, které mohou poskytnout další informace při nejednoznačných výsledcích. (Daneš, 2002)

Existuje několik přídatných projekcí:

- a) Bočná projekce – patří mezi nejpoužívanější přídatnou projekci. Využívá se u duktografie jako třetí projekce z důvodu lepší představy o poloze intraduktální formace. Provedení bočné projekce může odhalit sumaci struktur nebo různé artefakty. V bočné projekci se také hodnotí posuny léze a uložení léze v určité části prsu.

- b) Mamografie se zvětšením – snímek se zvětšením poskytuje lepší zobrazení architektiky, okrajů a denzity léze. Díky projekci se zvětšením je možné posoudit mikrokalcifikace a jejich uspořádání včetně tvaru a velikosti.
- c) Bodová komprese – díky bodové kompresi se patologie odtlačí od okolní tkáně a dojde k jejímu lepšímu zobrazení. Může pomoci určit, zda je léze skutečná. Bodovou kompresi provádějí kompresní desky s různou velikostí.
- d) Projekce na axilární výběžek – projekce na axilární výběžek se také nazývá „Cleopatra view“ a umožňuje vizualizovat axilární výběžek žlázy a zevní část prsu.
- e) Projekce s rolovaným prsem – otočení prsu zajistí oddělení překrývající se struktury při denzní tkáni prsu. Prs je laborantkou otáčen na jednu a poté na druhou stranu při současné komprimaci.
- f) Mamografie preparátu – na operačním sále pacientce odeberou postiženou tkáň a na mamografickém přístroji se provede snímek resekované tkáně ve dvou projekcích. Mamograf pomáhá odhalit správnost odstranění nehmátné formace v prsu.
- g) Projekce na prsní implantáty – projekce za účelem detailního zobrazení žlázy v prsu s implantátem. Zobrazení prsních implantátů vyžaduje speciální pozornost lékařů i laborantek. Expozice se při kraniokaudálních a mediolaterálních projekcích volí manuálně a stupeň komprese je rozdílný. Kromě standardních projekcí se mohou provádět projekce modifikované. Maximum prsní tkáně laborantka vytahuje před implantát, přičemž je implantát posunut k hrudní stěně. V případě nemožnosti dostatečného odtažení implantátů se doplňuje ke standardním projekcím projekce bočná v 90 stupních. (Daneš, 2002)

U digitální mamografie se pořizuje dvourozměrný obraz (neboli mamogram) trojrozměrného (3D) objektu (prsu), jehož třetí rozměr (tloušťka prsu) je promítán do jedné roviny. Prvním faktorem, který omezuje interpretaci je překrývající se prsní parenchym na mamogramu, zejména u pacientek s hustší prsní tkání. Překrývající se parenchym prsu může zakrývat nádory, což vede k opožděné diagnóze. Naopak překryté struktury mohou způsobovat sumační artefakty a vést k falešně pozitivní diagnóze a zbytečné biopsii a stresu pacientky. (Moseley, 2016)

Zpětné volání pacientkám k došetření vede k dalším zobrazovacím metodám jako je diagnostická mamografie, magnetická rezonance, ultrazvuk či biopsie. Další

zobrazování může vést ke zvýšené úzkosti pacientky, další radiační dávce a zvýšeným nákladům na diagnostiku. U některých vysoce rizikových populací mohou být účinky dlouhodobých následků radiační expozice v souladu se zvýšeným výskytem karcinomu prsu. Přesto je digitální mamografie mnohem přesnější než mamografie analogová, zejména u žen mladších padesáti let, žen s heterogenně denzním poprsím a premenopauzálních či perimenopauzálních žen. (Pisano, 2005)

Poměr zjištěných karcinomů prsu vyjadřuje citlivost a specifčnost mamografie. Zvýšená citlivost vede k menšímu počtu nedetekovaných nádorů, což je velmi důležité. Odhaduje se, že je při screeningové mamografii vynecháno cca 20 % karcinomů prsu. Přehlédnuté nádory prsu jsou definovány jako biopsií prokázané nádory, které se asymptomaticky nacházejí na screeningovém mamogramu, ale předchozí screeningový mamogram byl prospektivně interpretován jako negativní s nádory zpětně viditelnými. (Moseley, 2016)

4.2 MAMOGRAFICKÝ SCREENING

Rakovina prsu je v současné době jeden z nejzávažnějších epidemiologických problémů v České republice a je jedním z nejčastějších důvodů úmrtí žen. V ČR se každoročně diagnostikuje okolo 7 200 případů a zemře zhruba 1 600 pacientek za rok. Rizikový faktor, který by způsoboval karcinom prsu nebyl dodnes rozpoznán, proto je pro ženy důležitá včasná diagnostika a následná léčba. Čím dříve je diagnóza odhalena, tím větší existují šance na příznivější výsledky. V roce 2002 zahájila Česká republika preventivní screeningový program, který zajišťuje pravidelná vyšetření žen od 45 let s intervalem 2 let. Mamografický screening je hrazen ze zdravotního pojištění a ženy s genetickou rodinnou zátěží mohou podstoupit preventivní vyšetření již v mladším věku. (mamo.cz, 2019)

Aby byla screeningová mamografie a případná doplňující vyšetření hrazena z prostředků veřejného zdravotního pojištění, je nutné splnit několik podmínek:

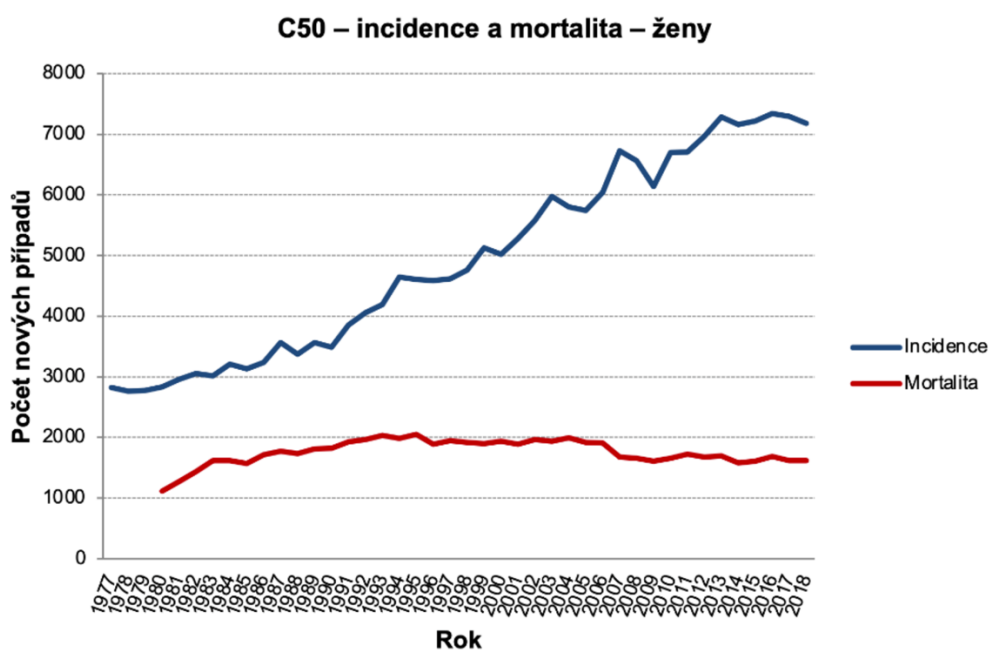
- Vyšetření se musí provést ve screeningovém centru
- Vyšetřovaná žena musí být starší 45 let a její interval 2 roky mezi screeningu musí být dodržen
- Pokud se jedná o vyšetření žen s vysokým rizikem, po léčbě karcinomu prsu, v tom případě indikaci stanovuje lékař (ve většině případů onkolog)
- Žena musí přinést žádanku na screeningovou mamografii od svého praktického lékaře, gynekologa, chirurga či onkologa (mamo.cz, 2019)

Populační screening by se měl provádět pouze tehdy, pokud je prokázáno, že přínos screeningového programu převažuje nad rizikem. Mezi nejžádanější výsledek se řadí zlepšení celkového přežití, ale také snížení mortality specifické pro onemocnění. Screeningový program je funkční pouze v případě, kdy je onemocnění v populaci poměrně časté a obvykle fatální, pokud není odhaleno. Screening musí mít také nízkou míru falešné pozitivivity, aby byl přijatelný pro většinu jedinců. (Euhus, 2015)

Rakovina prsu je poměrně heterogenní onemocnění a screening odhaluje nádory, u nichž je největší pravděpodobnost detekování pravidelným screeningem a nejmenší pravděpodobnost způsobení úmrtí pacientky. Screeningový program může také odhalit malý primární karcinom prsu, který je schopný okultně metastázovat. V tomto případě je postup posouzen jako účinný, protože je zde reálná šance, že prodloužil přežití v jakémkoliv časovém období. Screening se považuje za účinný u podskupiny nádorů,

kteře představují určité riziko úmrtnosti a díky včasnému zásahu se zastaví progresi karcinomu. (Euhus, 2015)

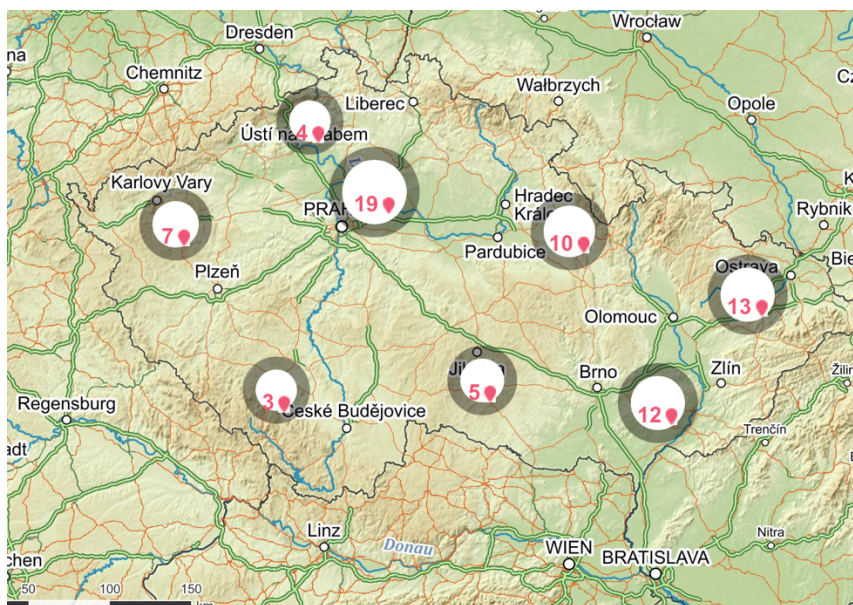
Screening se v současné době považuje jako nejefektivnější metoda, která včas zvládne detekovat nádory prsu. Pomocí screeningu je možno nalézt léze velikost několika milimetrů a mikrokalciфикации, které se v určitém poměru považují za známku časného stádia karcinomu prsu. Mikrokalciфикации mohou být tzv. nehmatné léze a jejich histologie odpovídá mikroinvazi nebo nádoru stádia „in situ“. V průběhu věku ženy senzitivita mamografie stoupá se stupněm involučních změn v prsu. Optimální věk ženy pro podstoupení screeningu karcinomu prsu je mezi 40 až 49 lety. Je prokázáno, že v uvedeném věku prudce stoupá incidence sporadických karcinomů. Pomocí metaanalýz a randomizovaných studií byl prokázán pokles mortality v 10. až 13. roce screeningového sledování o 25 %. (Strnad, 2014)



Obrázek 9 Incidence a mortalita v počtu nových případů s karcinomem prsu (mamo.cz, 2019)

Mamografický screening je nedílnou součástí v systému detekce nádorů prsu a důležitá je také metodika detekce, která snižuje mortalitu na karcinom prsu více než u zemí, které systém včasné detekce nemají. (Strnad, 2014)

4.2.1 SCREENINGOVÁ CENTRA V ČR



Obrázek 10 Mapa screeningových center v ČR (mamo.cz, 2022)

V současné době Česká republika disponuje 73 screeningovými centry. Olomouc nabízí provedení screeningového vyšetření na třech místech – Radiologická klinika Fakultní nemocnice Olomouc, Mammacentrum Olomouc s.r.o a EUC Mamocentrum Olomouc. V Ostravě jsou čtyři místa, která nabízí screening – Fakultní nemocnice Ostrava, Vítkovická nemocnice, Silesia Medical a EUC Mamocentrum Ostrava. (mamo.cz, 2019)

4.2.2 SCREENINGOVÉ TECHNIKY A MOŽNOSTI

Existuje několik zobrazovacích modalit, které nabízí zobrazení prsu pomocí různých způsobů. Nejrozsáhlejší metodou je mamografie. Ultrasonografie se používá jako doplnění mamografie při nejasném výsledku nebo jako další hodnocení podezřelých oblastí. Také se hojně využívá jako doplňující vyšetření denzních prsů pacientek. (Euhus, 2015)

Mezi měřítko užitečnosti screeningového programu se řadí fakt, zda jeho použití zlepšuje míru přežití specifickou pro karcinom prsu. Hodnotí se úspěch citlivosti a míry detekce rakoviny a počet žen, které se musí zúčastnit dalšího hodnocení nálezu neboli biopsie pro správnou diagnostiku. Ke screeningovému hodnocení se řadí specifita a pozitivní prediktivní hodnota (PPV). (Euhus, 2015)

Mezi prvky měření kvality screeningu se řadí:

- a) Recall rate – míra vyšetřených pacientek pomocí mamografie, které jsou volány na doplňující vyšetření
- b) Further assessment rate – podíl žen, které mají doplňující vyšetření v den screeningové mamografie
- c) Sensitivita – míra úspěšně odhalených karcinomů prsu
- d) Míra detekce rakoviny – počet pacientek, u kterých byl detekován karcinom prsu v proběhlém screeningu o počtu 1000 lidí
- e) Specificita – míra žen bez karcinomu prsu s negativním výsledkem screeningu
- f) PPV1 – míra žen s pozitivním výsledkem ze screeningu diagnostikovaných s karcinomem prsu
- g) PPV2 – míra žen s neobvyklým výsledkem screeningu diagnostikovaných s karcinomem prsu
- h) PPV3 – míra žen, které podstoupily bipsii za účelem diagnostiky karcinomu prsu (Euhus, 2015)

4.2.3 KLASIFIKACE NÁLEZŮ MAMOGRAFICKÉHO SCREENINGU

Tabulka 1 Klasifikační hodnocení nálezů mamografického screeningu

BI-RADS 0 Není možné rozhodnout	Na základě screeningového výsledku není možné rozhodnout o diagnóze. Je potřeba doplňujícího vyšetření.
BI-RADS 1 Negativní	Výsledek je negativní – na screeningové mamografii nebyly zjištěny žádné známky malignity.
BI-RADS 2 Benigní	Na screeningové mamografii byly zjištěny benigní změny. Žádné známky malignity.
BI-RADS 3 Suspektně benigní	Screeningová mamografie odhalila změny, které budou pravděpodobně benigní. Je potřeba dalšího vyšetření po 6 měsících.
BI-RADS 4 Suspektně maligní	Screeningová mamografie pravděpodobně objevila podezřelý nález – je nutné provést doplňující vyšetření.
BI-RADS 5 Maligní	Známky pravděpodobně maligního nálezu na screeningové mamografii – provádí se doplňující vyšetření.

BI-RADS 6	Nález je maligní a je potvrzen histologicky.
-----------	--

(Strnad,2014)

4.2.4 MAMOGRAFICKÝ SCREENING ČESKÉ REPUBLIKY

Mamografický screening byl v České republice zaveden od roku 2002 a od té doby se zde vybuďovala síť kvalitních pracovišť splňující náročná kritéria na kvalitu, provoz a bezpečnost. Údaje a činnosti screeningového programu včetně jeho výsledků musí být přísně sledovány. (Strnad, 2014)

Byl vytvořen přehled stádií onemocnění:

- a) Stadium 0 – řadí se zde preinvazivní či intraduktální karcinomy. Nemoc je možné vyléčit, riziko recidivy je zhruba 5 %.
- b) Stadium I – nádor má velikosti menší než 20 mm, regionální lymfatické uzliny nejsou postiženy. Ideální pro provedení biopsie sentinelové uzliny. Pacientky mají pětileté přežití kolem 95 %. Stadium I je ideální cíl screeningu v mamografii.
- c) Stadium IIA – nádor postihuje jednu až tři regionální lymfatické uzliny. Velikost nádoru může být od 20 do 50 mm, ale takový nádor nepostihuje lymfatické uzliny.
- d) Stadium IIB – nádor je velký 20 až 50 mm s postižením regionálních lymfatických uzlin nebo je nádor velký nad 50 mm, ale nepostihuje lymfatické uzliny. Pětileté přežití pacientek se pohybuje okolo 85 %.
- e) Stadium IIIA – nádor je menší než 20 mm a infiltruje regionální LU nebo metastazuje do regionálních LU, kde prorůstá skrz kapsulu uzliny extrakapsulární a vytvoří zde pakety navzájem fixovaných uzlin. Do stadia IIIA se může řadit i nádor větší než 50 mm s podobným postižením uzlin či s postižením parasternálních uzlin.
- f) Stadium IIIB – nádor různé velikosti, který prorůstá do stěny hrudní či kůže. Řadí se zde inflamatorní karcinom.
- g) Stadium IIIC – nádor je jakékoliv velikosti a prorůstá do stěny hrudní, kůže včetně postižení 10 a více regionálních lymfatických uzlin. Pětileté přežití pacientek u stadia III již kolísá kolem 60 %.

- h) Stadium IV – nádor má prokazatelné vzdálené metastázy. Nádor stadia IV často metastazuje do kostí, plic, jater a CNS. Pětileté přežití je kolem 20 %, avšak pacientky přežívají spíše měsíce než roky.
- i) Ostatní – zde se řadí případy karcinomu prsu, které nelze nikam zařadit.
- j) Meta – podskupina stadia IV, zde se řadí případy vzdálených metastáz.

Mamografický screening zajistil v průběhu prvních let významné zvýšení zachytu časných stádií nádorů prsu (konkrétně stadium I). Evidence malignit se zlepšila a pokročilá stadia III a IV lze pouze zpomalit. Problém nejen českého screeningu spočívá v rozhodnutí žen, které nechtějí podstoupit toto vyšetření a přicházejí pozdě. (Strnad, 2014)

Od roku 2012 vyšla v platnost vyhláška Ministerstva zdravotnictví ČR díky které je možno vykazovat screeningovou mamografií u žen mladších 45 let v častějším intervalu než je dané u screeningu. Řadí se zde ženy zvýšeného rizika nádorů prsu (prokázaná zárodečná mutace genů BRCA a non BRCA, ženy s histologickým nálezem lobulárního karcinomu in situ či atypické hyperplazie a ženy, které podstoupily radioterapii na oblast hrudníku do 18 let věku). (Strnad, 2014)

4.3 SROVNÁNÍ DIAGNOSTICKÉ A SCREENINGOVÉ MAMOGRAFIE

Diagnostická mamografie se využívá k vyšetřování symptomatických pacientek s příznaky nemoci prsu (jako např. bolest prsu, zarudnutí a otok, sekrece z mamily, axilární lymfadenopatie, hmatná rezistence). Diagnostické mamografii předchází klinické vyšetření prsu lékařem a úkol diagnostické mamografie spočívá v určení, jestli hmatná rezistence suspektní, její přítomnost v jednom či obou prsech a přesná lokalizace. V některých případech je však vyšetření mamografií obtížné, a to zejména v submamilární oblasti, axilárním výběžku a hranic vnitřních kvadrantů prsu parasternálně. (Strnad, 2014) Diagnostickou mamografií je možno použít k vyhodnocování pacientů s podezřelými klinickými nálezy a získávání doplňkových mamografických pohledů. Mezi doplňující zobrazovací modalitty lze zařadit ultrasonografii a speciální projekce či zvětšené snímky. Pozitivní hodnota abnormální mamogramové interpretace se pohybuje od 21 do 36 %. (Fiorica, 2016)

Screening patřící do sekundární prevence vyhledává karcinomy v počátečním stadiu. Screeningová mamografie se používá k vyhodnocení prsů asymptomatických žen daného věku (od 45 let v intervalu každé dva roky). Požadavky na zobrazovací modalitu jsou následující: jednoduchost, musí být relativně levná a rychlá, schopna opakovaných vyšetření velkého množství pacientek, dobrá dostupnost. Speciální screeningový program je v České republice od roku 2002 a provádí se ve specializovaných akreditovaných screeningových centrech, která musí splnit přísná kritéria kvality a vyhodnocování celého diagnostického procesu. (Daneš, 2021)

Screening zahrnuje pojmy jako je „overdiagnosis“ a „overtreatment“, které hrají velkou roli při plánování a modifikaci programů. Tyto termíny definují fakt, že jsou detekovány a léčeny ženy s nálezy, které by v budoucnu nezpůsobovaly projevení příznaků nemoci, smrt nebo podstatné strádání. To znamená, že „overdiagnosis“ a „overtreatment“ patří mezi vedlejší nežádoucí efekt screeningového programu. Z mamografického screeningu profitují zejména ženy, které mají nádory postupně pomalu rostoucí – včasná detekce přeruší vývoj a případné metastázy. Ženy s rychle rostoucím karcinomem, který má krátkou preklinickou fázi včetně vysoké agresivity již tolik ze screeningu neprofitují. Ve screeningu, kde se detekuje cca 5 karcinomů na 1000 pacientek může být jeden z pěti „overdiagnosis“. Při overdiagnosis se zjišťují karcinomy, které by v průběhu života ženy nevedly ke komplikacím, ale takové

karcinomy vedou obvykle ke zbytečnému léčení a mohou přinést obavy, strach a stigmatizaci ženy. Vedle pojmu overdiagnosis existuje tzv. falešná pozitivita. Falešná pozitivita ve screeningovém programu zapříčiní označení výsledku jako nejednoznačného, podezřelého či pozitivního a v dalším průběhu vyšetřování ženy se karcinom nezjistí – přesto falešná pozitivita způsobí negativní účinky zejména na psychiku ženy (stres, úzkosti a diskomfort). Je nutné zdůraznit, že správný screening karcinomu prsu výrazně převyšuje uvedené nevýhody. (Daneš, 2021)

5 TOMOSYNTÉZA OBECNĚ

Digitální mamografie je základem v zobrazování karcinomu prsu, avšak přes občasné problémy s interpretací byla vyvinuta digitální tomosyntéza za účelem zlepšení přesnosti mamografie díky zachycení 3D snímků vyšetřovaných prsou. Tomosyntéza (z angl.. digital breast tomosynthesis, 3D mamografie, DBT) má prakticky eliminovat oblasti, ve kterých se překrývá prsní parenchym. (Moseley, 2016)

Tomosyntéza, která je známá jako trojrozměrná (3D) mamografie byla patentována v roce 1999 a Úřad pro potraviny a léčiva ji schválil v roce 2012. Tomosyntéza je používána ve spojení se standardní mamografií. Dostupné studie prokázaly, že díky přidání tomosyntézy do vyšetření se míra detekce rakoviny zvyšuje o 4 až 51 %. Přínos je nejvíce patrný u žen, které jsou mladší 50 let. (McCarthy, 2014)

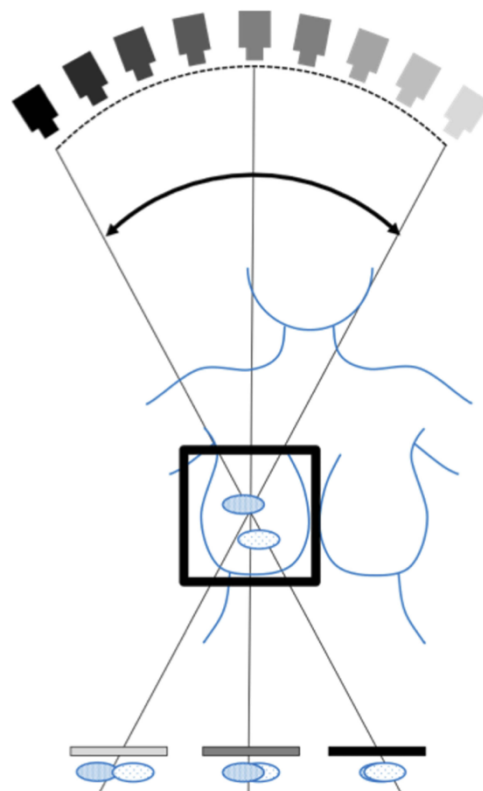
Digitální tomosyntéza neboli 3D mamografie stále častěji přispívá ke standardu diagnostiky zobrazování prsů a zlepšuje screeningové i diagnostické výsledky. Přídavná informace, kterou tomosyntéza poskytne, snižuje matoucí efekt překrývající se tkáně a zlepšuje detekci lézí, vysvětluje lépe jejich charakteristiku a lokalizaci. Nabízí trojrozměrnou rekonstrukci ze získaných dat, což zefektivňuje proces zobrazování prsu oproti digitální mamografii, která poskytuje pouze dvourozměrný obraz. Díky tomosyntéze je možné přesněji zobrazit prs, odlišit jeho struktury a drobné nádorové změny oproti pouhému překrytí struktur prsní žlázy na mamografickém snímku. (Chong, 2019)

Bylo prokázáno, že screeningová vyšetření karcinomu prsu pomocí doplňující digitální tomosyntézy prsu jsou spojena se snížením počtu falešně pozitivních výsledků a zvýšenou detekcí karcinomu prsu oproti vyšetření pouze digitální mamografií. (Chong, 2019)

Národní programy screeningu prsu v určitých zemích usilují o zavedení tomosyntézy do screeningu karcinomu prsu. Nezávislé postupy screeningu by mohly vytvořit vlastní prováděcí protokoly. Avšak v současní době neexistuje standardizace toho, jak zavést digitální tomosyntézu do screeningu karcinomu prsu. Aby samotná digitální tomosyntéza nahradila digitální mamografii, musela by poskytovat minimálně stejné diagnostické schopnosti a podobné úrovně dávek. Momentálně se průměrná hladina glandulárních dávek pohybuje o 1krát až 1,5krát výše než u digitální mamografie. (Hadjipanteli, 2019)

5.1 PRINCIP TOMOSYNTÉZY

Digitální tomosyntéza umožňuje získávání více projekcí z různých úhlů, které jsou zrekonstruovány do výsledného obrazu. Při pořizování obrazu se rentgenka otáčí v pomyslném oblouku o rozsahu 15 až 60 stupňů v rovině s hrudní stěnou pacientky. Obecně platí, že větší úhlový rozsah, po kterém se přemísťuje rentgenka, má za následek získání více tomografických informací, přináší také lepší průřezové a vertikální rozlišení. (Vedantham, 2015) Skládané snímky poskytují lepší lokalizační informaci a potenciálně snižují až eliminují potřebu dalších diagnostických postupů. Tomosyntéza je spojena s prodloužením doby snímání prsu a rekonstrukce z důvodu vyššího počtu obrazů. (Dang, 2014)



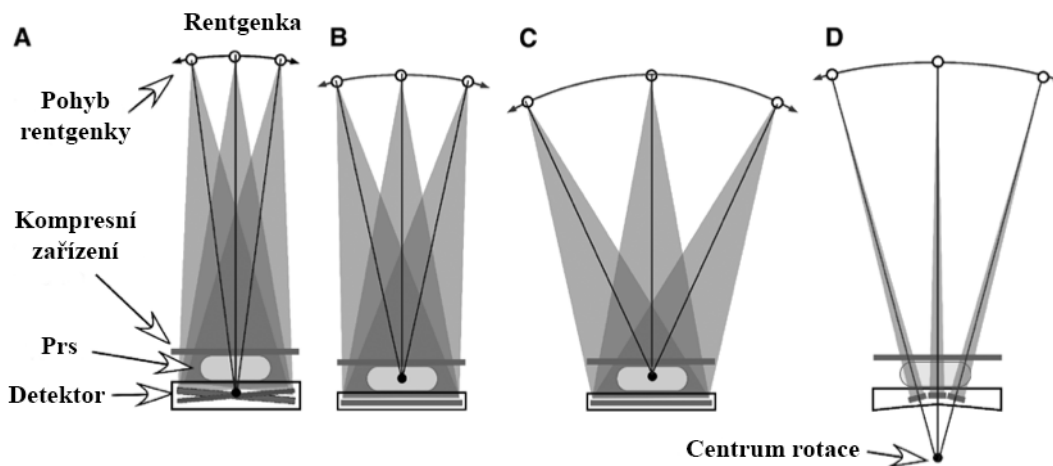
Obrázek 11 Princip tomosyntézy – zdroj rtg záření rotuje kolem kompresí stlačených prsou v omezeném úhlovém rozsahu (Vedantham, 2015)

5.2 TECHNIKA

Současné klinické systémy se vyznačují zejména zobrazovací geometrií, úhlovým rozsahem pohybu rentgenky, počtem projekcí, délkou skenování a metodou akvizice. Klinické systémy využívají akvizici step and shoot (rentgenka získá v určené pozici snímek a poté se posune dále) nebo kontinuální pohyb rentgenky. První způsob může zabraňovat rozmazání obrazu v důsledku sekvenčního pohybu. Kontinuální pohyb může vést k rozmazání, ale je možné jej řešit použitím pulzního rentgenového zdroje s co nejmenší délkou pulsu. (Engen, 2014)

Obecně platí: čím větší je rozsah úhlu, po kterém se pohybuje rentgenka, tím lze získat větší počet tomografických informací, které poskytnou lepší odlišení struktur prsu. Je nutné získat co nejvíce projekcí v krátkém časovém úseku, aby se minimalizoval pohyb pacienta způsobující rozmazání snímku. (Singla, 2018) Pro udržení dávky srovnatelné s mamografií se tomosyntéza odlišuje v geometrii zobrazovacího systému.

(Bernardi, 2018) Detektory jsou speciálně konfigurovány pro tomosyntézu. Používají se buď detektory s nepřímou konverzí jodidu cesného aktivovaného thaliem nebo detektory s přímou konverzí z amorfního selenu. (Gilbert, 2016)



Obrázek 12 Variabilní geometrie zobrazovacího systému (Vedantham, 2015)

Pro přístroje GE se k rekonstrukci obrazu nejvíce osvědčila iterativní rekonstrukce obrazu. Existuje také filtrovaná zpětná projekce, která nabízí dobrý výsledek vzhledem k poměru signál-šum a dobré zobrazování mikrokalcifikací. (Powel, 2017)

Existuje několik druhů výrobců, mezi něž je možné zařadit Siemens, Hologic, General Electric nebo Internazionale Medico Scientifica. V uvedené tabulce jsou uvedeny specifikace zmíněných výrobců. (Good, 2008)

Specifikace digitálních systémů různých výrobců pro provádění tomosyntézy

Specifikace digitálních systémů pro tomosyntézu				
Firma	General Electric*	Hologic	Internazionale Medico Scientifica	Siemens
Model	SenoClaire/Senographe Essential	Selenia Dimensions	Giotto Tomo	MAMMOMAT Inspiration
Vzdálenost detektorů od zdroje (cm)	66	70	68	65.5
Vzdálenost zdroje od centrální rotace (cm)	62	70	66	60.8
Vzdálenost zdroje od podpěrné plochy (cm)	63.8	67.5	65.8	63.8
Úhlový rozsah rentgenky	$\pm 12.5^\circ$	$\pm 7.5^\circ$	$\pm 20^\circ$	$\pm 25^\circ$
Pohyb rentgenky	Step and shoot	Kontinuální	Step and shoot	Kontinuální
Úhlový rozsah detektorů	Stacionární	$\pm 2.1^\circ$	Stacionární	Stacionární
Materiály terčiku rentgenky	Mo/Rh	W	W	W
Materiály filtru rentgenky	Mo/Rh	Al	Rh/Ag	Rh
Množství projekcí	9	15	13	25
Rovnoměrné rozložení projekcí	Ano	Ano	Ne	Ano
Skenovací čas (sekundy)	Typicky <10	3.7	12	25
Typ detektoru	a-Si nepřímá konverze	a-Se přímá konverze	a-Se přímá konverze	a-Se přímá konverze
Velikost obrazových bodů detektoru	100	70	85	85
Rovnost miliampersekunda/projekce	Ano	Ano	Ne	Ano
Rekonstrukční metoda	Iterativní	FBP/iterativní kontrast	Iterativní	FBP/filtrovaná

Obrázek 13 Specifikace digitálních systémů pro tomosyntézu (Vedantham, 2015)

Radiační dávka v prsu z rentgenového záření je stanovena využitím střední glandulární dávky (MGD). Stanovuje se z měření kermu či expozice v prsu nebo na ekvivalentním fantomu prsou pomocí konverzního faktoru odvozeného ze simulace Monte Carlo, jež se prezentuje jako normalizovaný koeficient dávky žláz a je specifickým prvkem pro kvalitu rentgenového paprsku. (Sumkin, 2015)) Mnohé systémy DBT využívají wolframový terč opatřený hliníkovým, stříbrným nebo rhodiovým filtrem a pracují s mírně vyšším napětím. Dozimetrické protokoly využívané v Evropě a Velké Británii se liší od protokolů používaných ve Spojených státech. Obecně je střední glandulární dávka v prsu vyšší u tomosyntézy než u digitální mamografie z důvodu řízení automatické expozice. (Upadhyay, 2018)

5.3 MÍRA DOPLŇUJÍCÍCH VYŠETŘENÍ

Míra doplňujících vyšetření recall rate (vyšetření se doplňuje jiný den) i further assessment rate (vyšetření se doplňuje v jeden den, konkrétně v den screeningu) se díky prospektivním a retrospektivním screeningovým studiím digitální tomosyntézy prokázala jako nižší než u klasické mamografie. V retrospektivní analýze 13 akreditovaných mamografických centrech Spojených států (Friedewald, 2015)) se prokázal významný pokles míry doplňujících vyšetření o 15 % díky digitální tomosyntéze. Ve většině prospektivních evropských studiích se rovněž prokázalo, že míra doplňujících vyšetření a obvolaných pacientek klesá. Celkové snížení „recall rate“ je ovšem nižší než u amerických studií, avšak v České republice je spíše nižší právě „further assessment rate“. (Friedewald, 2015)

5.4 DIGITÁLNÍ TOMOSYNTÉZA V KOMBINACI S DIGITÁLNÍ MAMOGRÁFIÍ

Výrobci často navrhují, aby se provádění digitální mamografie kombinovalo s digitální tomosyntézou při screeningu karcinomu prsu. Omezení mohou zahrnovat delší dobu čtení nebo kapacitu úložiště pro výsledné obrazy prsu. Ohledy se musí také brát na požadavek radiační ochrany, která udává, že dávka musí být tak nízká, jak jí lze rozumně dosáhnout za účelem dostatečné diagnostické informace. Diagnostická

výhoda digitální tomosyntézy musí být taková, aby převážila dodatečnou dávku pacienta. (Tucker, 2017)

5.4.1 SENSITIVITA

Pilotní studie byla provedena s pokročilejšími Hologic modely mamografů a zjistila, že při charakterizaci invazivních lobulárních nádorů se významně zvyšuje citlivost ve srovnání se samotnou digitální mamografií. (Cancer Management and Research, 2019)

Na základě statistických údajů studie Tuckera a kol. (2017) dospěla k výsledku, že citlivost byla zvýšena u diagnostiků s méně než desetiletou zkušeností pomocí přidání digitální tomosyntézy ke screeningu. (Tucker, 2017)

Celkově většina provedených studií prokázala, že přidání digitální tomosyntézy (výrobce Hologic) vede k patrnému zvýšení citlivosti. U výrobců GE bylo provedeno méně studií, ale statisticky významné zvýšení citlivosti bylo zjištěno i v tomto případě. (Ohashi, 2018)

5.4.2 SPECIFICITA

Některé studie (Alakhras, 2014, Conant, 2016) prokazují výrazně vyšší specifčnost díky přidání digitální tomosyntézy k digitální mamografii v průběhu screeningu žen. V případě extrémně denzních prsou byl zjištěn statisticky významný rozdíl u společnosti GE pro kombinaci digitální mamografie a tomosyntézy. (Ohashi, 2018)

5.4.3 RECALL RATE

Studie prokazují konzistentní shodu u Hologic systémů, a to v případě poklesu doplňujících vyšetření po tomosyntéze. (Lourenco, 2018)

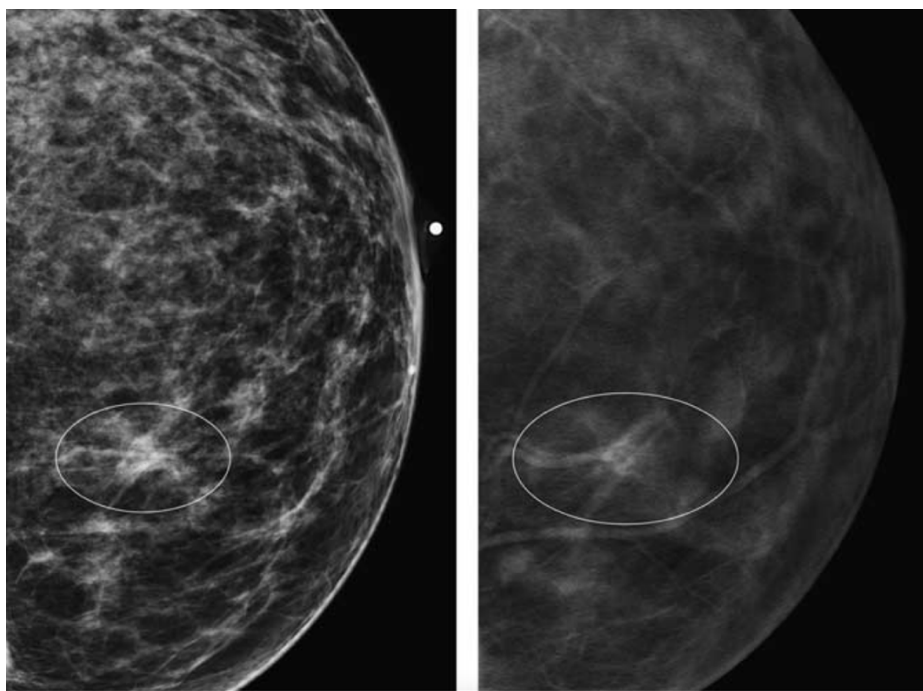
Ve studii Raffertyho et al. (2014) bylo prokázáno, že díky přidání jedné či dvou projekcí z digitální tomosyntézy se obecně sníží počet doplňujících vyšetření ve srovnání se samotnou digitální mamografií. U systémů GE byla zjištěn výrazně nižší poměr pacientek volaných k doplňujícím vyšetřením v kombinaci mamografie a jedné projekce tomosyntézy. (Kang, 2016)

6 TOMOSYNTÉZA SOUČÁSTÍ SCREENINGU KARCINOMU PRSU

Míra detekce rakoviny je zvýšena díky kombinaci mamografického screeningu + digitální tomosyntézy v rozmezí od 1,2 do 4,6 na tisíc vyšetření. Došlo ke zvýšení detekce karcinomů v denzních prsou v důsledku lepšího zobrazení lézí a jejich tzv. rozprojikování napříč všemi denzitami prsní tkáně. V prospektivních evropských studiích se CDR zvýšila z 27 % na 91 % s přidáním digitální tomosyntézy.

(Houssami, 2013)

Některé studie (Ren, 2005, Baker, 2011) prokázaly, že nárůst počtu detekovaných nádorů pomocí mamografického screeningu za užití digitální tomosyntézy, je způsoben zvýšením detekce spíše invazivních nádorů než duktálního karcinomu in situ. Detekce dalších invazivních nádorů s digitální tomosyntézou má potenciál ovlivňovat nemocnost propojenou s karcinomem prsu. V případě zjištění rakoviny v dřívějším stádiu a menší velikosti se zvyšuje šance přežití pacientky s diagnózou karcinomu prsu. Přínosy přežití u karcinomu prsu lze obtížněji prokázat bez dlouhodobého sledování či randomizovaných kontrolovaných studiích. (Badano, 2007)



Obrázek 14 Digitální mamografie (vlevo) a tomosyntéza (vpravo) – pseudo-léze či sumační artefakt označen kruhem, který je překryt normálními strukturami (Moseley, 2016)

6.1 VÝHODY TOMOSYNTÉZY VE SROVNÁNÍ S DM

Tomosyntéza přináší jako nová perspektivní mamografická technika několik výhod:

- 1) Zlepšení viditelnosti léze (vizibilita)
- 2) Snadnější hodnocení okrajů a rozsahu léze (může pomoci rozhodnout, zda je léze benigní či maligní)
- 3) Snížení tzv. recall rate (redukuje se sumace struktur a provádění doplňujících vyšetření)
- 4) Lokalizace léze je přesnější (určení hloubky léze)
- 5) Lepší detekce invazivních karcinomů (parametr „cancer detection rate“ se zvýšil)
- 6) Snížení počtu provedených biopsií

(Daneš, 2021)

6.2 NEVÝHODY TOMOSYNTÉZY VE SROVNÁNÍ S DM

Je možné uvést také několik nevýhod, které může poskytovat tomosyntéza:

- 1) Nižší kontrast
- 2) Hodnocení snímků má delší čas (o 30 až 50 %), prodloužení času však není tak významné
- 3) Vyšší dávka při kombinaci využití digitální mamografie (2D) s tomosyntézou
- 4) Vyšší pořizovací cena zařízení včetně ceny vyšetření
- 5) Delší čas skenování a možné pohybové artefakty

(Daneš, 2021)

Včasné údaje o screeningu karcinomu prsu s využitím digitální tomosyntézy se standardní digitální mamografií prokázaly zlepšení u výskytu falešně pozitivních i falešně negativních screeningů ve srovnání se screeningovou digitální mamografií. Prospěšnost digitální tomosyntézy je založena zejména na retrospektivních studiích, které porovnávaly tomosyntézu v kombinaci s mamografií oproti samotné digitální mamografii. (DBT)

VÝZKUMNÁ ČÁST

7 VÝZKUMNÉ TÉMA VČETNĚ CÍLŮ A HYPOTÉZ

Teoretická část diplomové práce popsala obecnou mamografii, její techniku, mamografický přístroj, charakterizovala moderní digitální mamografii a tomosyntézu včetně současného pravidelného screeningu žen od 45 let. Na základě dohledaných informací a studií je tomosyntéza možnou budoucností ve screeningu karcinomu prsu nejen v České republice. Ve výzkumné části se práce věnuje časovému zatížení vyšetření pomocí tomosyntézy, druhému čtení snímků lékařem a zároveň porovnáním dávek na jednotlivé prsy z obou modalit. Podle některých studií by tomosyntéza mohla buď samostatně či v kombinaci s mamografií přispět ke zvýšení míry detekce karcinomu prsu. (Haas et al., 2013) Digitální tomosyntéza dle provedených výzkumných analýz zlepšuje senzitivitu i specifitu na mamografických snímcích, což by mohlo vést ke zlepšení účinnosti celého screeningového programu. (Rafferty et al. 2014) Tato diplomová práce by mohla přispět doplněním informací o době vyšetření tomosyntézou zařazené do screeningu karcinomu prsu a také o časovém zatížení druhého čtení snímků lékaře včetně porovnání dávek na každý prs z tomosyntézy i digitální mamografie. V dnešní době pacientek pravidelně podstupujících screening neustále přibývá a je důležité dbát na kvalitní vyšetření za dobrý časový úsek a dávku, která bude úměrná pro přiměřený diagnostický výsledek.

7.1 CÍLE PRÁCE

Cílem diplomové práce je zjistit a porovnat časové zatížení při vyšetřování pacientek pomocí digitální mamografie a tomosyntézy, následně také porovnat časové zatížení při druhém čtení snímků lékařem z mamografie a tomosyntézy a ve třetí části porovnat obdržené dávky na každý prs oběma modalitami.

Mezi dílčí cíl v této diplomové práci se řadí analýza dostupné literatury, včetně srovnávání digitální mamografie a digitální tomosyntézy ve screeningu karcinomu prsu u žen nad 45 let.

7.2 HYPOTÉZY

K výzkumné části diplomové práce byly stanoveny následující hypotézy.

- 1) Doba vyšetření v mediolaterální projekci je u tomosyntézy stejná nebo kratší než u vyšetření digitální mamografií v kranikaudální+mediolaterální projekci.
 - H_01 : Doba vyšetření tomosyntézou v MLO projekci není rozdílná ve srovnání s digitální mamografií v mediolaterální projekci.
 - H_{A1} : Doba vyšetření tomosyntézou v MLO projekci je rozdílná ve srovnání s digitální mamografií v mediolaterální projekci.

- 2) Provedené snímky z tomosyntézy prodlouží dobu druhého čtení lékařem.
 - H_02 : Druhé čtení lékaře snímků z tomosyntézy se významně prodloužilo.
 - H_{A2} : Doba druhého čtení lékaře snímků z tomosyntézy se významně nezměnila.

- 3) Obdržené dávky z tomosyntézy si budou rovny s dávkami z mamografie.
 - H_03 : V dávkách obdržených při tomosyntéze a při digitální mamografii bude významný rozdíl.
 - H_{A3} : V dávkách obdržených při tomosyntéze a při digitální mamografii nebude významný rozdíl.

8 METODIKA VÝZKUMU

Kapitola metodiky výzkumu diplomové práce charakterizuje výzkumný soubor žen, typ přístroje a akvizice, ve které výzkum probíhal, metodu sběru dat včetně provedené statistické analýzy vedoucí ke splnění cílů práce a výzkumných hypotéz.

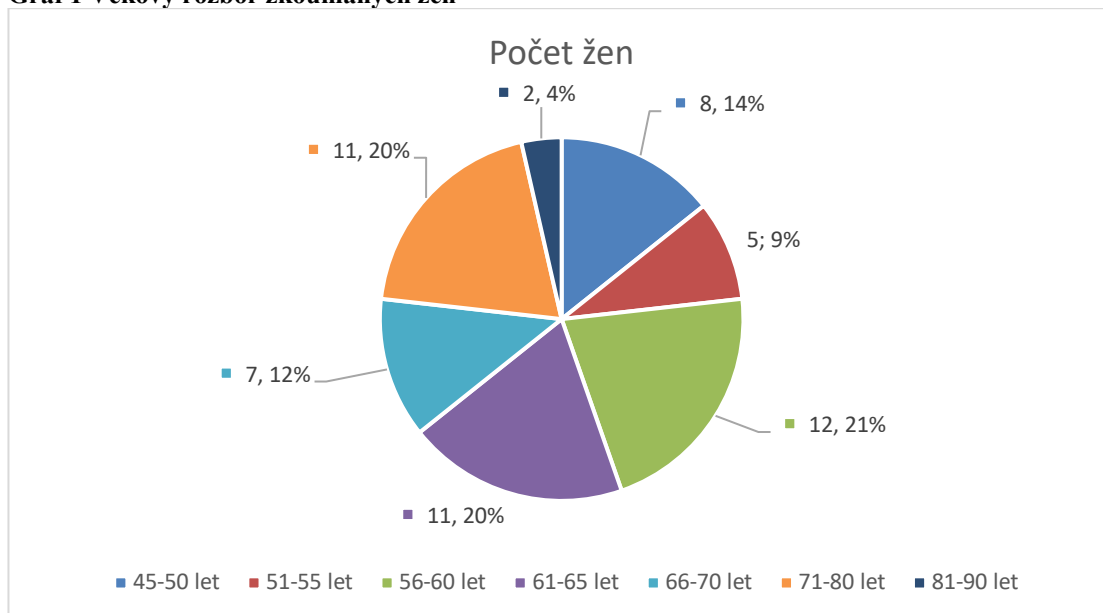
8.1 CHARAKTERISTIKA VÝZKUMNÉHO SOUBORU

Výzkumný soubor se skládá z 56 pacientek od 45 do 86 let, které podstoupily screeningové vyšetření na mamografické klinice Fakultní nemocnice Olomouc. Pacientky byly vyšetřovány pomocí digitální mamografie v kraniokaudální a mediolaterální projekci a následně pomocí tomosyntézy v mediolaterální projekci v jeden den. Všechny pacientky byly v den screeningového vyšetření asymptomatické, to znamená, že na mamografickou kliniku dorazily v rámci prevence. Ženám se vyšetřoval levý i pravý prs. Do výzkumu bylo zařazeno provádění CC i MLO projekce v rámci srovnání časové vytíženosti vyšetření a následného druhého čtení lékařem. Druhé čtení lékařem bylo prováděno na 112 mamografických obrazech a 112 obrazech z tomosyntézy. Ve stejném případě bylo prováděno porovnávání dávek ze 112 obrazů z mamografie a 112 obrazů z tomosyntézy.

8.1.1 ROZBOR VĚKU VÝZKUMNÉHO SOUBORU

Do výzkumného souboru se zařadily pacientky starší 45 let, které podstoupily pravidelný mamografický screening. V této části je rozebrán věk výzkumného souboru do koláčového grafu.

Graf 1 Věkový rozbor zkoumaných žen



8.2 TYP PŘÍSTROJE, AKVIZICE

Všech 56 zkoumaných pacientek bylo vyšetřeno na mamografickém přístroji GE na oddělení mamární diagnostiky Fakultní nemocnice Olomouc. Mamografický přístroj je opatřen anodou rtg trubice z wolframu a rhodiového filtru. Každý prs se při vyšetření stlačuje pomocí kompresní desky o síle 8-10 N, jelikož komprese zlepšuje výsledné rozlišení a snižuje obdrženou dávku. Během vyšetřování byla použita expoziční automatika (AEC) regulující expoziční hodnoty. Na přístroji byla nejprve měřena digitální mamografie v mediolaterální šikmé projekci a následně doplňující tomosyntéza v mediolaterální šikmé projekci. Přístroj GE prováděl při tomosyntéze tzv. akvizici „step and shoot“ a opisoval kolem pacientky pomyslný půlkruh k získání devíti řezů z vyšetření poskládaných do snímku. Stopky měřily dobu vyšetření v sekundách.

8.3 METODA SBĚRU DAT

Sběr dat probíhal pomocí prospektivní studie na skupině 56 asymptomatických pacientek v listopadu a prosinci roku 2021 a lednu až březnu roku 2022. Nejdříve probíhalo měření doby vyšetření při screeningu karcinomu prsu a následně se měřila doba druhého čtení snímků lékařem. Následně se retrospektivně posbíraly obdržené dávky na každý prs, které se také statisticky porovnály. Při výzkumu byl použit PACS – archivační a komunikační systém k zobrazení snímků z vyšetření a stopky měřící dobu vyšetření. Data byla zapisována do sešitu programu Microsoft Office Excel, který byl použit i pro zpracování popisné statistiky. Soubor Microsoft Office Excel byl se zapsanými daty zabezpečen heslem.

Pro statistickou analýzu byl použit Studentův párový t-test a Wilcoxonův párový test.

8.4 ETICKÁ PROBLEMATIKA VÝZKUMU

Pro možnost provádění výzkumného šetření na oddělení mamární diagnostiky pod radiologickou klinikou Fakultní nemocnice Ostrava bylo nutné písemně požádat o souhlas Etické komise Fakulty zdravotnických věd Univerzity Palackého Olomouc. Etická komise vydala souhlasné stanovisko pro tento výzkum. Pro výzkum bylo nutné získat i souhlas zdravotnického zařízení – konkrétně FNOL a radiologické kliniky pro sběr dat v nemocnici. Oba souhlasy jsou součástí diplomové práce a jsou zařazeny do příloh. Všechna data zařazena do výzkumu byla anonymizována a výzkum byl prováděn v souladu s pravidly o ochraně osobních údajů.

9 VÝSLEDKY VÝZKUMNÉHO ŠETŘENÍ

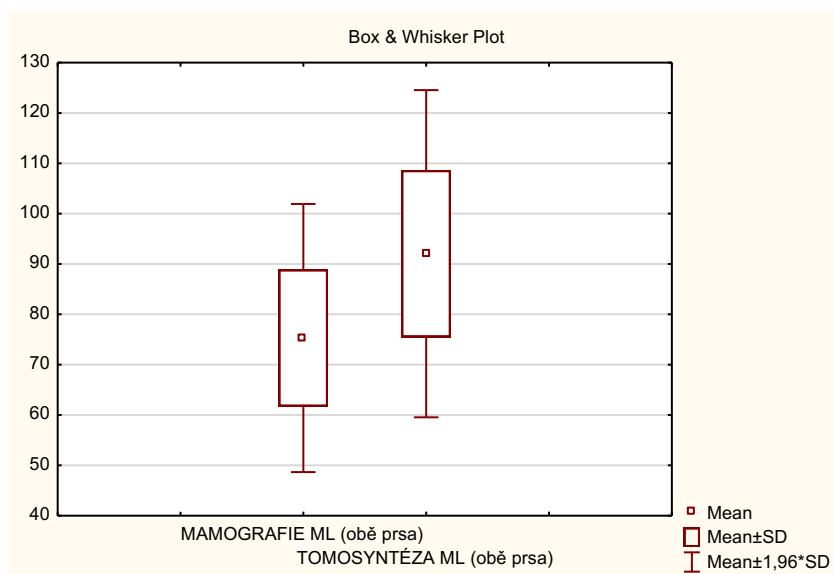
Pro statistické zpracování byl použit Studentův párový t-test, jehož souborem bylo 56 asymptomatických pacientek. Pro srovnání 112 dávek z vyšetření na mamografii a 112 dávek na tomosyntéze se použil Wilcoxonův párový test. V této kapitole jsou popsány výsledky výzkumného šetření včetně popisné statistiky a statistických grafů.

9.1 POROVNÁNÍ ČASU VYŠETŘENÍ

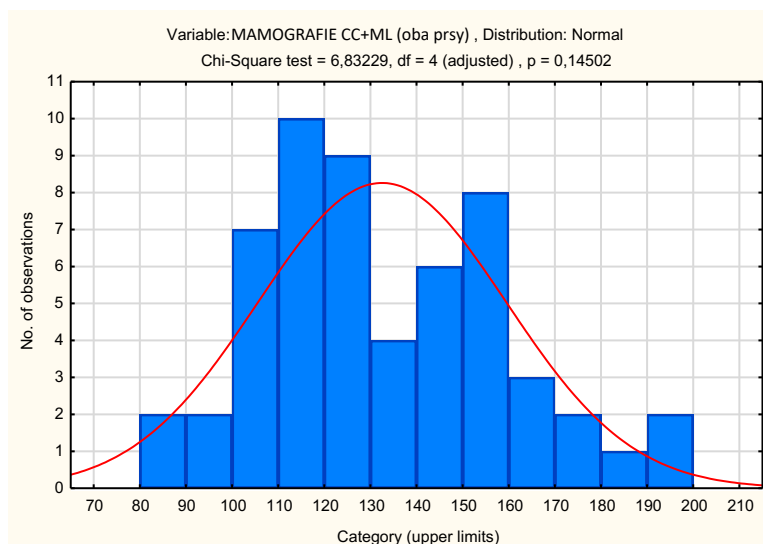
V první části výzkumného šetření byla porovnávána doba vyšetření pacientek pomocí digitální mamografie v kraniokaudální a mediolaterální šikmé projekci a tomosyntézy v mediolaterální šikmé projekci.

Tabulka 2 Popisná statistika měření doby vyšetření (v sekundách)

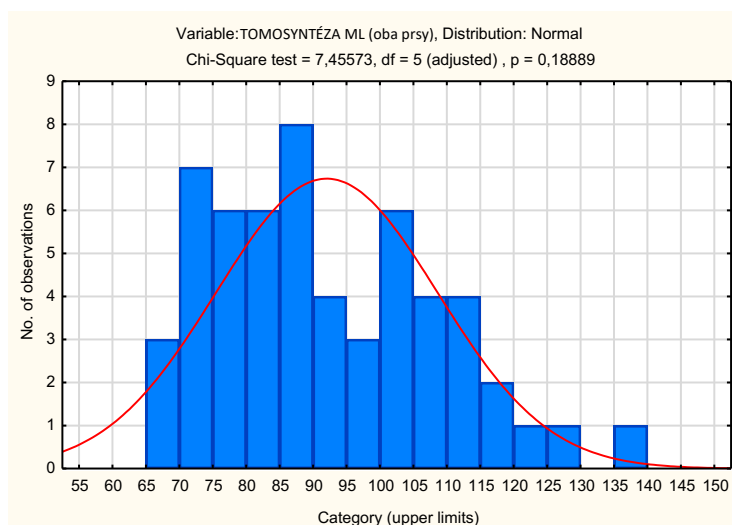
Typ vyšetření	Počet	Průměr	Minimum	Maximum	Střední hodnota
Mamografie oba prsy (CC+MLO) v sekundách	56	132,5482	87,50000	198,7000	27,04205
Tomosyntéza oba prsy (MLO) v sekundách	56	92,05356	66,40000	139,8000	16,57977



Graf 2 Porovnání doby vyšetření pomocí mamografie a tomosyntézy (v sekundách)



Graf 3 Test normality rozložení (mamografie)



Graf 4 Test normality rozložení (tomosyntéze)

Výsledkem byla skutečnost, že proměnné vykazují normální rozložení četností, a proto byl ke statistické analýze použit Studentův párový t-test.

Tabulka 3 Studentův párový t-test (výsledky)

Typ vyšetření	Průměr	Rozptyl	Směrodatná odchylka	t	df	p
Mamografie (CC+ML)	132,5482					
Tomosyntéza (ML)	92,0536	40,49464	19,38444	15,63286	55	0,000000

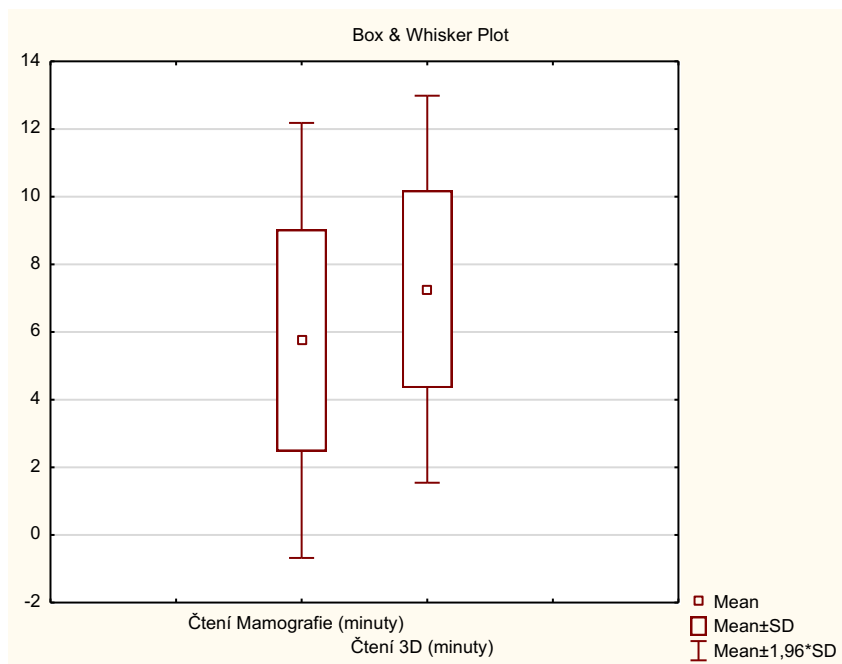
Na základě statistické analýzy existuje mezi průměry proměnných velmi vysoce signifikantní rozdíl ($p < 0,001$). Výhoda tomosyntézy tedy spočívá v tom, že se provádí pouze v MLO projekci, oproti mamografii, která se musí provádět min. ve dvou projekcích (CC+MLO).

9.2 POROVNÁNÍ ČASU DRUHÉHO ČTENÍ SNÍMKŮ LÉKAŘEM

Ve druhé části výzkumného šetření probíhal sběr dat z doby druhého čtení snímků lékařem. Druhé čtení snímků se provádí jako kontrola prvního čtení snímků lékařem a velice důležitou roli hraje také zkušenost lékaře. Měřen byl minimální čas nutný k přečtení snímků. Nejdříve byly otevřeny mamografické snímky, zapnul se stopky a nastalo měření času. Poté si lékař řekl, že je to zkontrolováno, stopky byly vypnuty. V případě tomosyntézy se otevřely snímky ke čtení, stopky byly zapnuty a zkontroloval se jeden a druhý prs. Po uvážení lékaře, že je čtení ukončeno se stopky vypnuly. Doba čtení snímků byla naměřena prospektivní metodou v sekundách. Doba čtení byla měřena bez srovnávání s předchozími snímky ze starší tomosyntézy, jelikož předchozí tomosyntéza nebyla provedena, tudíž se měřila pouze čistá doba čtení aktuální mamografie a tomosyntézy ve vteřinách. Mamografie byla čtena ve 4 snímcích (oba prsy ve dvou projekcích) a tuto modalitu je lékař schopný přečíst za vteřinu při plně tukovém prsu. Při výzkumu se počítala minimální doba nutná k vyhodnocení snímků. Do uvedeného měřeného času se nezapočítalo otevírání snímků. Manipulace se snímky byla do výzkumu zahrnuta pouze v případě, kdy bylo nutné vyhodnotit snímek pomocí přiblížování, oddalování funkcí lupy. Časy čtení snímků lékařem by se určitě různily v případě odlišných lékařů, ale v tomto případě šlo o měření rozdílů mezi dvěma zobrazovacími metodami čtením jednoho konkrétního lékaře, což lze v tomto smyslu práce považovat za výhodu.

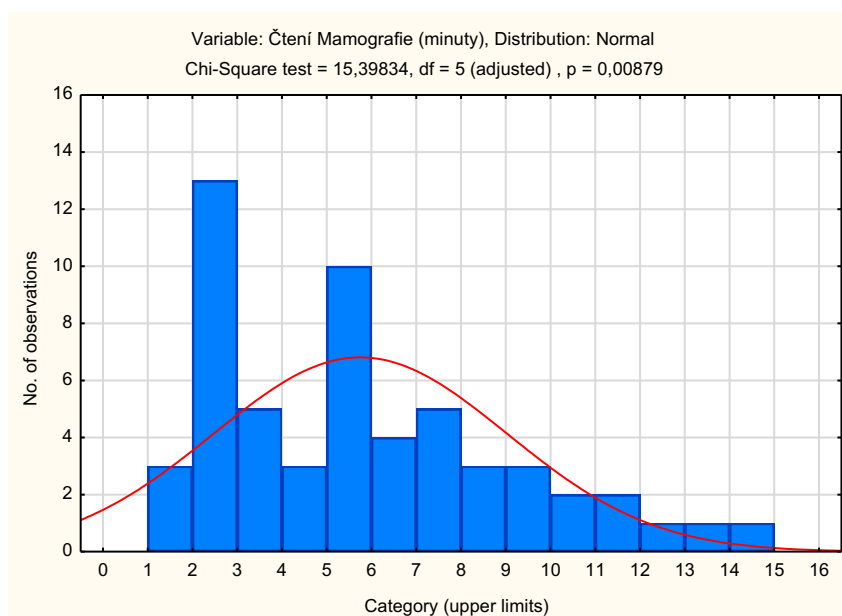
Tabulka 4 Popisná statistika druhého čtení snímků lékařem (v sekundách)

Typ vyšetření	Počet	Průměr	Minimum	Maximum	Střední hodnota
Mamografie oba prsy (CC+MLO) v sekundách	56	5,751786	1,320000	14,52000	3,280943
Tomosyntéza oba prsy (MLO) v sekundách	56	7,266429	2,790000	17,60000	2,918510

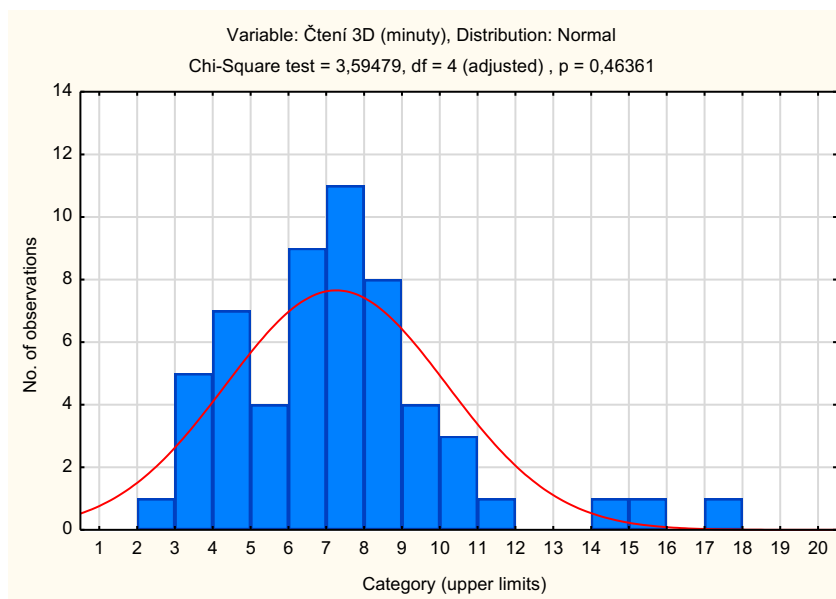


Graf 5 Krabicový graf pro oba typy čtení

Krabicový graf poukazuje na boxy určující 25. a 75. percentil včetně střední hodnoty uvnitř boxu. Rozpětí pokračující z boxů poukazuje na 5. a 95. percentil hodnot.



Graf 6 Test normality rozložení (mamografie)



Graf 7 Test normality rozložení (tomosyntéza)

Jelikož proměnná z doby čtení mamografie nevykazuje normální rozložení četností ($p < 0,01$), tak proto byl použit neparametrický Wilcoxonův test.

Tabulka 5 Wilcoxonův párový test (výsledky)

Typ vyšetření	Počet	T	Z	p
Čtení MG a čtení TM	56	253,5000	4,441532	0,000009

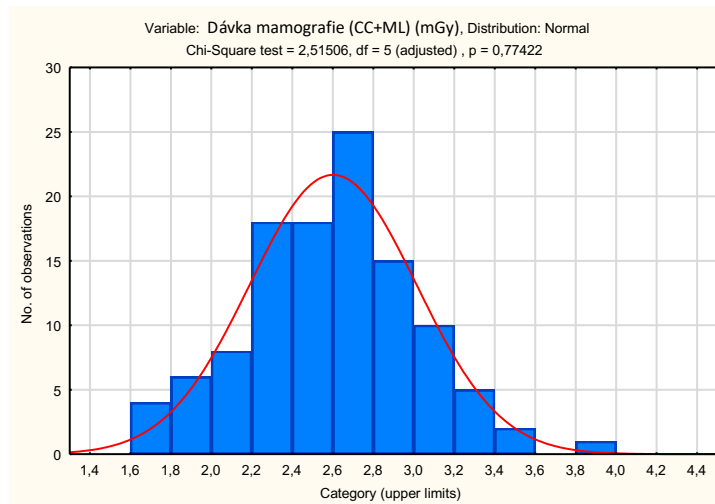
Na základě statistické analýzy byl zjištěn velmi vysoce signifikantní rozdíl mezi měřeními ($p < 0,001$). V této části testování hovoří statistika spíše proti tomosyntéze, ale v případě čtení denzních prsou se doba čtení mamografie výrazně prodlužuje.

9.3 POROVNÁNÍ OBRŽENÝCH DÁVEK PŘI VYŠETŘENÍ

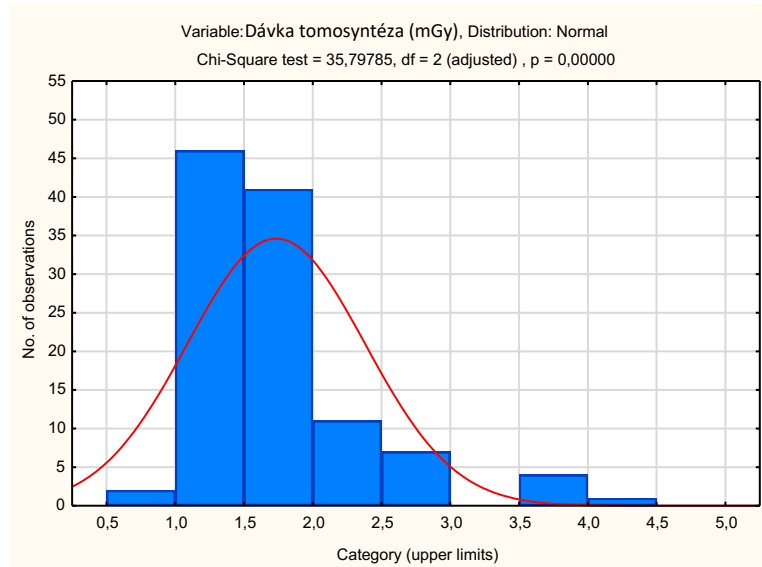
Ve třetí části výzkumu došlo ke sběru dat z obdržených dávek při vyšetření pomocí mamografie a tomosyntézy. Jednotlivé dávky na každý prs se porovnávaly pomocí Wilcoxonova párového neparametrického testu.

Tabulka 6 Popisná statistika srovnání obdržených dávek

Typ vyšetření	Počet	Průměr	Minimum	Maximum	Střední hodnota
Dávka z mamografie (CC+MLO) (mGy)	112	2,601473	1,668000	3,978000	0,412286
Dávka z tomosyntézy (MLO) (mGy)	112	1,734509	0,882000	4,234000	0,645770



Graf 8 Test normality rozložení (mamografie)



Graf 9 Test normality rozložení (tomosyntéza)

Tabulka 7 Wilcoxonův párový neparametrický test (výsledky)

Typ vyšetření	Počet	T	Z	p
Dávka mamografie a dávka z tomosyntézy	112	95,00000	8,909699	0,000000

Mezi průměry proměnných existuje velmi vysoce signifikantní rozdíl ($p < 0,001$). V tomto případě statistická analýza poukazuje na skutečnost, že dávka je v případě tomosyntézy při vyšetření pouze v MLO projekci nižší, než dávka z mamografie ve dvou projekcích na každý prs.

DISKUSE

V této kapitole jsou popsány výsledky výzkumného šetření včetně srovnání výsledků s uvedenými studii. Diskuse potvrdí či vyvrátí hypotézy uvedené na začátku výzkumné části diplomové práce a zhodnotí, zda byly splněny všechny cíle včetně cílů dílčích. Je zde úvaha nad praktickou využitelností této diplomové práce včetně otázky, zda by mohla přispět k zavedení tomosyntézy do screeningu karcinomu prsu.

Existuje již několik studií, které se zabývají tomosyntézou, jejími schopnostmi a možnostmi zavedení její role do screeningu karcinomu prsu. Na prvním místě stojí studie z roku 2017 „One-view digital breast tomosynthesis as a stand-alone modality for breast cancer detection: do we need more?“ (Rodriguez-Ruiz, Gubern-Merida, Ingvar Andersson etc., 2017), která se zabývá digitální tomosyntézou v jedné projekci jako jedinou modalitou pro detekci karcinomu prsu (a nejen tím). Studie byla zpracována statistickou analýzou pomocí Studentova párového t-testu. Průměrná doba čtení byla vyšší pro digitální tomosyntézu provedenou v jedné projekci ve srovnání s digitální mamografií provedenou ve dvou projekcích, byl zde zjištěn statisticky významný rozdíl ($p < 0,001$). To znamená, že se studie (Rodriguez-Ruiz etc, 2017) shoduje s výzkumem v této práci. Čtení z digitální tomosyntézy trvalo v průměru o 25 % déle než z digitální mamografie. Je také možné, že určitou roli hraje i načítání obrazů z digitální tomosyntézy, které trvá déle. Studie dospěla k názoru, že při vhodném systému a školení radiologů může být zařazení tomosyntézy v MLO projekci do screeningu proveditelné. (Rodriguez-Ruiz etc, 2017)

Práce se také shoduje se studií, která se zabývala dávkou u jedнопohledové digitální tomosyntézy a mamografie ve dvou projekcích. (Sophia Zackrisson etc, 2018) Průměrná dávka z ozáření byla u digitální mamografie 2,7 mGy a u tomosyntézy 2,3 mGy. Výzkum této práce uvádí průměrnou dávku z mamografie 2,6 mGy a tomosyntézy 1,7 mGy. Použití pouze jedné projekce u tomosyntézy ve screeningu by mohlo být kompromisem ve vyšetřování, jelikož přístup skrz jeden pohled by mohl mírně zvýšit citlivost a specifčnost vyšetření. (Sophia Zackrisson, 2018) Ve studii bylo detekováno o 34 % více karcinomů pomocí digitální tomosyntézy oproti mamografii. (Sophia Zackrisson, 2018)

Mezi hlavní cíle práce se řadí porovnání celkové doby vyšetření ze screeningové mamografie i tomosyntézy. Bylo zjištěno, že pokud jsou prsy vyšetřeny v kraniokaudální a mediolaterální projekci při mamografii, doba vyšetření z mamografie je delší než u tomosyntézy, u které probíhá skenování pouze v mediolaterální šikmé projekci v 9 pozicích. Mezi průměry proměnných byl vysoce signifikantní rozdíl. Dalším cílem práce bylo změření druhého čtení lékařem, jehož výsledek hovoří spíše proti tomosyntéze, jelikož je čtení snímků u tomosyntézy delší než u mamografie. Mezi proměnnými byl zjištěn vysoce signifikantní rozdíl. V průměru trvalo čtení mamografie necelých 6 vteřin a čtení z tomosyntézy přes 7 vteřin. V některých případech denzních prsů byl čas čtení u tomosyntézy kratší než u mamografie nebo téměř shodný. Avšak tato skutečnost má další aspekty, na které je důležité přihlédnout: závisí také na zkušenosti lékaře, na denzitě prsů (více denzní prsy se z mamografických snímků čtou obtížněji a tím pádem je delší i celková doba čtení mamografie). Posledním cílem bylo porovnat dávky na jednotlivé prsy u mamografie a tomosyntézy. Pokud se sečetla dávka z kraniokaudální a mediolaterální šikmé projekce u mamografie, v konečném důsledku je dávka z mamografie vyšší než z tomosyntézy. Při statistické analýze se zjistil vysoce signifikantní rozdíl mezi průměry proměnných.

Cíle práce byly splněny ve třech krocích výzkumného šetření.

Ve výzkumu byly stanoveny 3 hypotézy, které se buď potvrdily nebo vyvrátily. První hypotéza tvrdila, že doba vyšetření v MLO šikmé projekci bude u tomosyntézy stejná nebo kratší než u digitální mamografie v CC a MLO šikmé projekci. Potvrdila se alternativní hypotéza, která hovoří, že doba vyšetření při tomosyntéze je rozdílná ve srovnání s DM v MLO šikmé projekci. Druhou hypotézou byla skutečnost, že provedené snímky z tomosyntézy prodlouží dobu druhého čtení lékařem. Potvrdilo se, že druhé čtení snímků z tomosyntézy lékařem se významně prodloužilo. Třetí hypotéza pomohla k zamyšlení nad obdrženy dávkami. Obdržené dávky z tomosyntézy si budou rovny s dávkami z mamografie. Potvrdil se fakt a nulová hypotéza, že v obdržených dávkách při tomosyntéze a mamografii bude významný rozdíl, a to v dobrém slova smyslu pro tomosyntézu, jelikož vyšetření proběhlo pouze v MLO šikmé projekci na každý prs.

Mezi možné limity výzkumu lze zařadit menší zkoumaný soubor v práci (56 pacientek) oproti uvedeným studiím, kde bylo zkoumáno 181 žen. Dalším limitem může být pouze jedna zobrazovací modalita značky GE, která je používána ve Fakultní

nemocnici Olomouc. Práce by mohla sloužit jako základ pro další prováděné studie zabývající se postupným implementováním digitální tomosyntézy do screeningů karcinomu prsu, jelikož se až tolik studií dosud neprovedlo. Neexistuje zatím žádná shoda, ohledně toho, zda a jak implementovat digitální tomosyntézu do screeningů. V každém případě zde existuje reálná šance, že se tomosyntéza, ať již v kombinaci s digitální mamografií nebo bez ní, do screeningového programu opravdu zahrne, ale to je již otázka budoucích let a dalších výzkumných šetření.

ZÁVĚR

Karcinom prsu se celosvětově řadí mezi nejrozšířenější maligní onemocnění u žen. Je důležité provádět postupy k včasné diagnostice a správné léčbě. Vedle prevence primární stojí prevence sekundární, do které se řadí pravidelný screeningový program žen nad 45 let. Ženy jej podstupují co dva roky a provádí se pomocí digitální mamografie. Avšak s postupem času se čím dál více provádí také digitální tomosyntéza jakožto možné doplňující vyšetření. Otázkou, kterou se zabývala diplomová práce, bylo zavedení tomosyntézy do screeningu karcinomu prsu, ať již v kombinaci s mamografií nebo bez ní.

V teoretické části byla popsána mamografie obecně, její technické a fyzikální možnosti včetně konstrukce digitálního mamografu, který je alfou a omegou celého mamografického vyšetřování. Byl probrán také screeningový program v České republice a tomosyntéza jako samostatná vyšetřovací metoda včetně teoretického srovnání s digitální mamografií. Praktická část se věnovala porovnáním doby vyšetření u digitální mamografie (ve dvou projekcích) a digitální tomosyntézy (v jedné projekci). Dalším postupem bylo srovnání doby druhého čtení lékaře, které hovořilo spíše proti digitální tomosyntéze, ale i přes tuto skutečnost by tomosyntéza dokázala zvýšit možnou specifitu a senzitivitu. V poslední části výzkumného šetření byly srovnány obdržené dávky na jednotlivé prsy z mamografie a tomosyntézy, u kterých se zjistilo, že dávky z jedné projekce při tomosyntéze jsou opravdu nižší. Pomocí výzkumu lze odpovědět na výzkumné otázky:

Tomosyntéza by významně neprodloužila dobu vyšetření. Druhé čtení snímků lékařem by se významně prodloužilo, avšak vše záleží na zkušenostech jednotlivých radiologů a systému, se kterým pracují. Avšak první čtení by se také prodloužilo, v rámci výzkumu bylo měřeno pouze čtení druhé. Diagnostická výtěžnost tomosyntézy by dorovnála prodlouženou dobu čtení. Obdržené dávky z tomosyntézy by se významně nezvýšily, jelikož byly ve výzkumu porovnávány dávky na jednotlivé prsy z kraniokaudální i mediolaterální šikmé projekce u digitální mamografie a u tomosyntézy u mediolaterální šikmé projekce, která by pro screeningovou diagnostiku stačila.

Digitální tomosyntéza může být v budoucích letech reálnou alternativou digitální mamografie. Vždy je nutné přemýšlet nad diagnostickým přínosem a radiační ochranou pacientů.

REFERENČNÍ ZDROJE

1. Alakhras MM, Brennan PC, Rickard M, Bourne R, Mello-Thoms C. Effect of radiologists' experience on breast cancer detection and localization using digital breast tomosynthesis. *Eur Radiol*. 2014. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25192796>. Accessed September 25, 2014.
2. Åslund M, Cederström B, Lundqvist M, et al (2007) Physical characterization of a scanning photon counting digital mammography system based on Si-strip detectors. *Med Phys* 34(6):1918–1925
3. Badano A, Kyprianou IS, Jennings RJ, Sempau J. Anisotropic imaging performance in breast tomosynthesis. *Med Phys* 2007;34(11):4076–4091
4. Baker JA, Lo JY. Breast tomosynthesis: state-of-the-art and review of the literature. *Acad Radiol* 2011;18(10):1298–1310
5. Berg WA. Current status of supplemental screening in dense breasts. *J Clin Oncol* 34(2016),1840–1843
6. Bernardi D, Li T, Pellegrini M, et al. Effect of integrating digital breast tomosynthesis (3D-mammography) with acquired or synthetic 2D-mammography on radiologists' true-positive and false-positive detection in a population screening trial: A descriptive study. *Eur J Radiol*. 2018;106:26–31. doi:10.1016/j.ejrad.2018.07.008
7. Bick, U. a F. Diekmann, *Digital Mammography* [online]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010, Medical Radiology. ISBN 978-3-540-78449-4. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-540-78450-0
8. Bissonnette M, Hansroul M, Masson E, Savard S, et al (2005) Digital breast tomosynthesis using an amorphous selenium flat panel detector. In: Flynn MJ (ed) *Medical imaging 2005: physics of medical imaging*, Proceedings of SPIE Vol. 5745. SPIE, Bellinham, WA, pp 529–540
9. Conant EF, Beaber EF, Sprague BL, et al. Breast cancer screening using tomosynthesis in combination with digital mammography compared to digital

- mammography alone: a cohort study within the PROSPR consortium. *Breast Cancer Res Treat.* 2016;156 (1):109–116. doi:10.1007/s10549-016-3695-1
10. CHONG, Alice, Susan P. WEINSTEIN, Elizabeth S. MCDONALD a Emily F. CONANT. Digital Breast Tomosynthesis: Concepts and Clinical Practice. *Radiology.* 2019, **2019**(292), 1-14. Dostupné z: doi: <https://doi.org/10.1148/radiol.2019180760>
 11. DANEŠ, Jan. *Screening a diagnostika karcinomu prsu: pro každodenní praxi.* Praha: Grada Publishing, 2021. ISBN 978-80-271-1239-5
 12. DANEŠ, Jan. *Základy mamografie: vybrané kapitoly pro lékaře a laborantky.* Praha: X-Egem, 2002. ISBN 80-7199-062-0
 13. Dang PA, Freer PE, Humphrey KL, Halpen EF, Rafferty EA. Addition of tomosynthesis to conventional digital mammography: effect on image interpretation time of screening examinations. *Radiology* 2014, 270, 49–56
 14. Destounis S, Arieno A, Morgan R, Roberts C, Chan A (2017) Qualitative versus quantitative mammographic breast density assessment: Applications for the US and abroad. *Diagnostics (Basel)*
 15. Gilbert FJ, Tucker L, Young KC. Digital breast tomosynthesis (DBT): a review of the evidence for use as a screening tool. *Clin Radiol.* 2016;71(2):141–150. doi:10.1016/j.crad.2015.11.008
 16. Good WF, Gordon AS, Victor CJ, et al. Digital breast tomosynthesis: a pilot observer study. *Am J Roentgenol.* 2008;190(4):865– 869. doi:10.2214/AJR.07.2841
 17. Houssami N, Skaane P. Overview of the evidence on digital breast tomosynthesis in breast cancer detection. *Breast* 2013;22(2): 101–108
 18. Kang H-J, Chang JM, Lee J, et al. Replacing single-view medio-lateral oblique (MLO) digital mammography (DM) with synthesized mammography (SM) with digital breast tomosynthesis (DBT) images: comparison of the diagnostic performance and radiation dose with two-view DM with or without MLO-DB. *Eur J Radiol.* 2016;85(11):2042–2048. doi:10.1016/j.ejrad.2016.09.007
 19. Kerlikowske K, Ma L, Scott CG et al (2017) Combining quantitative and qualitative breast density measures to assess breast cancer risk. *Breast Cancer Res*
 20. Lazzaria B, Belli G, Gori C, et al (2007) Physical characteristics of five clinical systems for digital mammography. *Med Phys* 34:2730–2743

21. Lourenco AP, Barry-Brooks M, Baird GL, Tuttle A, Mainiero MB. Changes in recall type and patient treatment following implementation of screening digital breast tomosynthesis. *Radiology*. 2014;274(2):337–342. doi:10.1148/radiol.14140317
22. Májek, O., Daneš, J., Skovajsová, M., Ngo, O., Šnajdrová, L., Mužík, J., Dušek, L., Hejduk, K.: Mamo.cz – Program mamografického screeningu v České republice [online]. Masarykova univerzita, Brno, 2019. [cit. 2022-02-09]. Dostupný z: <https://www.mamo.cz>. ISSN 1804-0861
23. McCarthy AM, Kontos D, Synnestvedt M, et al. Screening outcomes following implementation of digital breast tomosynthesis in a general-population screening program. *J Natl Cancer Inst* 2014;106(11)
24. Monnin P, Gutierrez D, Bulling S, et al (2007) A comparison of the performance of digital mammography systems. *Med Phys* 34:906–914
25. Oeffinger KC, Fontham ET, Etzioni R et al (2015) Breast cancer screening for women at average risk: 2015 guideline update from the american cancer society. *JAMA* 314:1599–1614
26. Ohashi R, Nagao M, Nakamura I, Okamoto T, Sakai S. Improvement in diagnostic performance of breast cancer: comparison between conventional digital mammography alone and conventional mammography plus digital breast tomosynthesis. *Breast Cancer*. 2018;25(5):590–596. doi:10.1007/s12282-018-0859-3
27. Pisano ED, Gatsonis C, Hendrick E, et al. Diagnostic performance of digital versus film mammography for breast-cancer screening. *N Engl J Med*. 2005;353:1773–1783
28. Powell JL, Hawley JR, Lipari AM, Yildiz VO, Erdal BS, Carkaci S. Impact of the addition of Digital Breast Tomosynthesis (DBT) to Standard 2D digital screening mammography on the rates of patient recall, cancer detection, and recommendations for short-term follow-up. *Acad Radiol*. 2017;24(3):302–307. doi:10.1016/j.acra.2016.10.001
29. Rafferty EA, Park JM, Philpotts LE, et al. Diagnostic accuracy and recall rates for digital mammography and digital mammography combined with one-view and two-view tomosynthesis: results of an enriched reader study. *Am J Roentgenol*. 2014;202(2):273–281. doi:10.2214/AJR.13.11240

30. Ren B, Ruth C, Stein J, Smith A, Shaw I, Jing Z. Design and performance of the prototype full field breast tomosynthesis system with selenium based flat panel detector. In: Flynn MJ, ed. Proceedings of SPIE: medical imaging 2005—physics of medical imaging. Vol 5745. Bellingham, Wash: International Society for Optics and Photonics, 2005; 550–561
31. RODRIGUEZ-RUIZ, Alejandro, Albert GUBERN-MERIDA, Mechli IMHOF-TAS, Sophia ZACKRISSON, Ingvar ANDERSSON, Alexander J. T. WANDERS a Susanne LARDENOIJE. One-view digital breast tomosynthesis as a stand-alone modality for breast cancer detection: do we need more?. *European Radiology* [online]. 2018, **2018**(28), 1938-1948 [cit. 2022-04-26]. Dostupné z: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s00330-017-5167-3.pdf>
32. Sardanelli F, Aase HS, Álvarez M et al (2017) Position paper on screening for breast cancer by the European Society of Breast Imaging (EUSOBI) and 30 national breast radiology bodies from Austria, Belgium, Bosnia and Herzegovina, Bulgaria, Croatia, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Israel, Lithuania, Moldova, The Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Romania, Serbia, Slovakia, Spain, Sweden, Switzerland and Turkey. *Eur Radiol* 27:2737–2743
33. SEIDL, Zdeněk. *Radiologie pro studium i praxi*. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4108-6
34. Shaw J, Albagli D, Wei C-Y, et al (2004) Enhanced a-Si/CsI– based flat panel X-ray detector for mammography. In: Yaffe MJ, Flynn MJ (eds) Medical imaging 2004: physics of medical imaging, Proceedings of SPIE Vol. 5368 SPIE, Bellingham, WA, pp 370–378
35. Sickles EA, D'Orsi CJ, Bassett LW et al (2013) ACR BI-RADS Mammography. In: D'Orsi CJ, Sickles EA, Mendelson EB, Morris EA (eds) ACR BI-RADS Atlas, Breast Imaging Reporting and Data System. American College of Radiology, Reston, VA
36. Singla D, Chaturvedi AK, Aggarwal A, Rao SA, Hazarika DVM. Comparing the diagnostic efficacy of full field digital mammography with digital breast tomosynthesis using BIRADS score in a tertiary cancer care hospital. *Indian J Radiol Imaging*. 2018;28(1):115-122

37. Strnad, Pavel. *Nemoci prsu v každodenní praxi*. Praha: Maxdorf, 2014. Jessenius. ISBN 978-80-7345-390-9
38. Sumkin JH, Bandos AI, Shinde DD, et al. Recall rate reduction with tomosynthesis during baseline screening examinations. *Acad Radiol*. 2015;22(12):1477–1482. doi:10.1016/j.acra.2015.08.015
39. Tabár L, Yen AM, Wu WY et al (2015) Insights from the breast cancer screening trials: how screening affects the natural history of breast cancer and implications for evaluating service screening programs. *Breast J* 21:13–20
40. Tucker L, Gilbert FJ, Astley SM, et al. Does reader performance with digital breast tomosynthesis vary according to experience with two-dimensional mammography? *Radiology*. 2017;283(2):371380. doi:10.1148/radiol.2017151936
41. Upadhyay N, Soneji N, Stewart V, Ralleigh G. The effect of the addition of tomosynthesis to digital mammography on reader recall rate and reader confidence in the UK prevalent screening round. *Clin Radiol*. 2018;73(8):744–749. doi:10.1016/j.crad.2018.03.013
42. Van Engen R, Young KC, Bosmans H, et al (2006) The European protocol for the quality control of the physical and technical aspects of mammography screening. In: *European Guidelines for Quality Assurance in Breast Cancer Screening and Diagnosis, 4th Edition*. European Commission, Luxembourg
43. Van ENGEN, R BOSMANS H, BOUWMAN R, et al. EUREF Draft QC protocol for breast tomosynthesis systems. Version 0.15. <http://www.euref.org/downloads?download547:euref-tomo-protocol-version-015>, 2014
44. Vedantham S, Karellas A, Vijayaraghavan GR, Kopans DB. Digital breast tomosynthesis: state of the art. *Radiology* 2015;277(3):663–68
45. ZACKRISSON, Sophia, Kristina LÅNG, Aldana ROSSO, Kristin JOHNSON, Magnus DUSTLER, Daniel FÖRNVIK a . *One-view breast tomosynthesis versus two-view mammography in the Malmö Breast Tomosynthesis Screening Trial (MBTST): a prospective, population-based, diagnostic accuracy study* [online]. [cit. 2022-04-26].

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

CC – kraniokaudální (projekce)

CDR – míra detekce rakoviny (cancer detection rate)

CR – nepřímá radiografie (computed radiography)

DBT – digitální tomosyntéza (digital breast tomosynthesis)

DM – digitální mamografie

MGD – střední glandulární dávka (medium glandular dose)

MLO – mediolaterální šikmá (projekce)

MRI – magnetická rezonance

PPV – pozitivní prediktivní hodnota (positive predictive value)

RTG – rentgenový

SID – ohnisková vzdálenost vůči detektoru

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Příklady jednotlivé hustoty prsů: a) tukové, b) rozptýlené fibroglandulární struktura, c) heterogenně denzní, d) extrémně denzní, e) heterogenně denzní v jednom kvadrantu (Vourtsis, 2018).....	13
Obrázek 3 Konstrukce mamografu (KALPANA M. Kanal, Mammography).....	15
Obrázek 4 Vliv komprese na prs (Kalpana, 2005).....	17
Obrázek 5 Srovnání celoplošné a bodové komprese (Kalpana, 2005).....	18
Obrázek 2 Fotoelektrický jev (přeloženo autorem DP)	20
Obrázek 6 Schéma digitální a analogové mamografie (Kalpana, 2005).....	23
Obrázek 7 A - analogová mamografie a B - digitální mamografie v CC projekcích.	24
Obrázek 8 Analogová a digitální mamografie v ML projekcích (Moseley, 2016)....	24
Obrázek 9 Incidence a mortalita v počtu nových případů s karcinomem prsu (mamo.cz, 2019).....	30
Obrázek 10 Mapa screeningových center v ČR (mamo.cz, 2022).....	31
Obrázek 11 Princip tomosyntézy – zdroj rtg záření rotuje kolem kompresí stlačených prsou v omezeném úhlovém rozsahu (Vedantham, 2015)	38
Obrázek 12 Variabilní geometrie zobrazovacího systému (Vedantham, 2015)	39
Obrázek 13 Specifikace digitálních systémů pro tomosyntézu (Vedantham, 2015) .	39
Obrázek 14 Digitální mamografie (vlevo) a tomosyntéza (vpravo) – pseudo-léze či sumační artefakt označen kruhem, který je překryt normálními strukturami (Moseley, 2016)	42

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Klasifikační hodnocení nálezů mamografického screeningu.....	32
Tabulka 2 Popisná statistika měření doby vyšetření (v sekundách)	50
Tabulka 3 Studentův párový t-test (výsledky)	52
Tabulka 4 Popisná statistika druhého čtení snímků lékařem (v sekundách).....	53
Tabulka 5 Wilcoxonův párový test (výsledky)	55
Tabulka 6 Popisná statistika srovnání obdržných dávek.....	56
Tabulka 7 Wilcoxonův párový neparametrický test (výsledky)	57


SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Věkový rozbor zkoumaných žen	48
Graf 2 Porovnání doby vyšetření pomocí mamografie a tomosyntézy (v sekundách)	51
Graf 3 Test normality rozložení (mamografie)	51
Graf 4 Test normality rozložení (tomosyntéze)	51
Graf 5 Krabicový graf pro oba typy čtení	54
Graf 6 Test normality rozložení (mamografie)	54
Graf 7 Test normality rozložení (tomosyntéza)	55
Graf 8 Test normality rozložení (mamografie)	56
Graf 9 Test normality rozložení (tomosyntéza)	57

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Žádost o poskytnutí informace pro studijní účely/sběr dat.....	72
Příloha 2 Souhlasné stanovisko Etické komise.....	74
Příloha 3 Naměřená doba vyšetření (mamografie a tomosyntéza)	75
Příloha 4 Doba druhého čtení lékařem.....	77
Příloha 5 Posbírané dávky z mamografie a tomosyntézy v mGy	79

Příloha 1 Žádost o poskytnutí informace pro studijní účely/sběr dat

 **FAKULTNÍ NEMOCNICE[®]
OLMOUC**
I. P. Pavlova 185/6, 779 00 Olomouc
Tel. 588 441 111, E-mail: info@fnol.cz
iČ: 00098892

Fm-MP-G015-05-ZADOST-001
ODBOR KVALITY
verze č. 1, str. 1/2

Žádost o poskytnutí informace pro studijní účely/sběr dat

Jméno a příjmení žadatele: Vendula Molinová

Datum narození: 17.5.1996 Telefon: 608541238 E-mail: molive01@upol.cz

Kontaktní adresa: Gen. Sochora 6213/12A Ostrava 708 00

Přesný název školy/fakulty: Fakulta zdravotnických studií Univerzity Palackého v Olomouci

Obor studia: Zobrazovací technologie v radiodiagnostice

Forma studia: prezenční kombinovaná distanční

Téma závěrečné práce:
Tomosyntéza ve screeningu karcinomu prsu

Žadatel ve FNOL koná odbornou praxi:
 ANO na pracovišti: _____ v termínu od: _____ do: _____
 NE

Žadatel je zaměstnancem FNOL:
 ANO na pracovišti: _____
 NE

Pracoviště FNOL dotčená průzkumem: Oddělení mamární diagnostiky, Radiologická klinika

Účel žádosti:
 sběr dat/zjišťování informací pro zpracování diplomové/bakalářské práce
 sběr dat/zjišťování informací pro zpracování seminární/odborné práce
 sběr dat/zjišťování informací pro jiný účel: (uveďte): _____

Požadavek na (zaškrtněte):
V případě, že žadatel potřebuje získat informaci o počtech vyšetření/ošetření a předem má souhlas konkrétního pracoviště, že tato data mu budou poskytnuta vedením tohoto pracoviště bez nutnosti jeho nahlížení do zdravotnické dokumentace pacientů, vyplní oddíl „Ostatní – statistická data“. Jinak vyplní oddíl „Nahlížení do zdr. dokumentace“.

Dotazníková akce pro pacienty FNOL pro zaměstnance FNOL

Počet respondentů, kteří budou vyplňovat dotazník: _____
Termín, kdy proběhne vyplnění dotazníků: od: _____ do: _____

K vyplněné žádosti je nutno doložit vzor vašeho dotazníku.

Nahlížení do zdravotnické dokumentace
Předpokládaný počet kusů zdravotnické dokumentace, do které bude žadatel nahlížet: 100
Termín, ve kterém bude žadatel nahlížet do zdravotnické dokumentace: od: 15.10.2021 do: 31.5.2022

Přesná specifikace co bude žadatel vyhledávat ve zdravotnické dokumentaci: Snímky z mamografického vyšetření

Při nahlížení do zdravotnické dokumentace bude do každé dokumentace vložen formulář Fm-MP-G015-05-NAHLED-001 Záznam o nahlédnutí do zdravotnické dokumentace pro účely výzkumu/studie.

Ostatní

kazuistika – počet:

vedení rozhovoru s pacientem FNOL – počet pacientů: _____

vedení rozhovoru se zaměstnancem FNOL – počet zaměstnanců: _____ povolání: _____

K vyplněné žádosti je nutno doložit vzor rozhovoru (orientační okruh otázek).

statistická data – informace o počtech např. zdravotnických výkonů, vyšetření, určité agendy (např. porodnost), přístrojích

jiné (specifikujte):

Za které období budou data zjišťována: _____

Kdy proběhne sběr dat žadatelem: od: _____ do: _____

Přesná specifikace co bude žadatel zjišťovat:

Způsob zveřejnění závěrečné/seminární práce: Práce bude zaslána na portál UPOL za autorizovaného přístupu a vyhotovena v tištěné podobě

Budete FNOL uvádět jako „zdroj dat“ ve své práci? ANO NE

Poučení:


Žadatel souhlasí se zpracováním jeho osobních údajů dle zásad GDPR pro účely evidence této žádosti. Zavazuje se zachovat mlčenlivost o skutečnostech, o nichž se dozví v souvislosti s prováděným výzkumem a sběrem dat/informací.

Žadatel (datum podpis): 30.9.2021 *Lucie Veverková*

Schválil (datum podpis): _____

Poznámky: Výzkum bude zahájen pouze na základě získání souhlasu s šetřením od vedení zdravotnického zařízení. Výzkum bude prováděn za přítomnosti vedoucí diplomové práce paní MUDr. Lucie Veverkové, Ph.D., který je zaměstnancem FNOL. Veškerá data z výzkumu budou anonymizována a nikdo další datům nebude mít přístup.

Příloha 2 Souhlasné stanovisko Etické komise



Fakulta
zdravotnických věd

UPOL - 205227/1070-2021

Vážená paní
Bc. Vendula Molinová

2021-11-03


Vyjádření Etické komise FZV UP

Vážená paní bakalářko,

na základě Vaší Žádosti o stanovisko Etické komise FZV UP byla Vaše výzkumná část diplomové práce posouzena a po vyhodnocení všech zaslaných dokumentů Vám sdělujeme, že diplomové práci s názvem „**Tomosyntéza ve screeningu karcinomu prsu**“, jehož jste hlavní řešitelkou, bylo uděleno

souhlasné stanovisko Etické komise FZV UP .

S pozdravem,



Mgr. Lenka Mazalová, Ph.D.
předsedkyně
Etické komise FZV UP

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI
Fakulta zdravotnických věd
Etická komise
Hněvotinská 3, 775 15 Olomouc

Fakulta zdravotnických věd Univerzity Palackého v Olomouci
Hněvotinská 3 | 775 15 Olomouc | T: 585 632 880
www.fzv.upol.cz

Genius loci ...

Příloha 3 Naměřená doba vyšetření (mamografie a tomosyntéza)

	Doba vyšetření v sekundách: mamografie (CC+MLO)	Doba vyšetření v sekundách: tomosyntéza (CC+MLO)
1.	176,0	139,8
2.	147,0	125,4
3.	167,5	112,5
4.	197,1	121,8
5.	183,3	114,3
6.	140,2	114,7
7.	156,7	101,5
8.	198,7	119,2
9.	147,3	107,1
10.	117,6	106,9
11.	101,2	91,2
12.	87,5	80,6
13.	102,9	70,6
14.	131,4	102,7
15.	126,3	86,3
16.	105,3	111,3
17.	111,5	82,7
18.	122,6	95,6
19.	113,1	79,7
20.	119,4	84,9
21.	88,2	79,7
22.	107,6	75,3
23.	93,7	72,2
24.	101,4	73,5
25.	113,0	72,7
26.	101,4	94,9
27.	118,5	77,5

28.	113,6	74,8
29.	103,6	66,4
30.	160,6	86,3
31.	142,8	69,8
32.	92,1	69,8
33.	128,5	73,2
34.	155,7	91,4
35.	121,0	96,3
36.	131,7	80,3
37.	158,1	97,6
38.	155,9	102,4
39.	146,2	88,3
40.	159,4	116,1
41.	151,5	109,3
42.	177,1	105,5
43.	153,6	103,9
44.	127,3	91,5
45.	128,8	85,3
46.	164,8	88,3
47.	132,3	84,2
48.	151,1	102,9
49.	133,6	78,3
50.	117,0	78,6
51.	111,1	74,9
52.	120,9	86,1
53.	146,9	100,4
54.	112,5	86,3
55.	125,2	88,5
56.	123,4	83,7

Příloha 4 Doba druhého čtení lékařem (sekundy)

	Mamografie (v sekundách)	Tomosyntéza (v sekundách)
1.	5,06	10,01
2.	12,01	14,20
3.	5,45	6,35
4.	10,50	9,65
5.	11,71	11,61
6.	4,25	8,99
7.	2,06	5,38
8.	2,93	8,40
9.	9,56	7,46
10.	13,1	15,43
11.	8,75	9,16
12.	3,01	5,23
13.	5,18	3,62
14.	8,62	10,95
15.	3,89	7,17
16.	6,00	7,85
17.	3,35	7,86
18.	8,70	8,35
19.	7,35	6,6
20.	2,10	3,5
21.	2,56	4,31
22.	6,21	6,35
23.	5,33	8,64
24.	7,50	10,2
25.	5,53	7,11
26.	2,23	7,7
27.	9,52	6,52
28.	5,68	7,21

29.	10,26	8,29
30.	7,26	9,13
31.	2,41	7,85
32.	2,32	6,13
33.	2,89	6,32
34.	4,40	5,19
35.	1,75	3,46
36.	7,62	7,13
37.	5,26	6,14
38.	2,09	5,43
39.	5,31	4,94
40.	6,27	7,14
41.	14,52	17,6
42.	1,94	4,76
43.	9,62	8,71
44.	2,93	4,79
45.	1,32	3,21
46.	3,09	3,28
47.	2,41	2,79
48.	5,27	6,42
49.	6,17	8,21
50.	2,91	4,47
51.	3,89	4,21
52.	7,41	6,15
53.	2,01	4,71
54.	4,51	9,21
55.	6,92	7,13
56.	11,20	8,31

Příloha 5 Posbírané dávky z mamografie a tomosyntézy v mGy

	Dávka z mamografie (CC+MLO) (mGy)	Dávka z tomosyntézy (MLO) (mGy)
1.	2,08	1,55
2.	2,85	1,60
3.	2,63	1,57
4.	2,27	1,22
5.	2,08	1,55
6.	2,36	1,25
7.	2,36	1,79
8.	3,03	2,66
9.	3,56	2,65
10.	2,55	1,97
11.	2,14	1,37
12.	2,65	1,22
13.	2,63	1,31
14.	2,38	1,24
15.	2,80	1,80
16.	2,63	1,58
17.	2,79	1,42
18.	2,60	1,23
19.	2,71	1,57
20.	2,30	1,36
21.	2,63	1,99
22.	2,70	1,32
23.	2,25	1,11
24.	2,12	1,78
25.	2,16	1,43
26.	2,63	1,95
27.	1,82	1,37
28.	2,36	1,71

29.	2,19	1,19
30.	2,40	1,56
31.	1,76	0,88
32.	2,52	1,22
33.	3,27	2,06
34.	3,98	4,23
35.	2,60	1,38
36.	1,94	1,08
37.	2,39	1,63
38.	2,47	1,49
39.	2,53	1,58
40.	2,97	2,25
41.	2,40	1,36
42.	2,84	1,70
43.	3,10	2,98
44.	2,53	1,51
45.	3,06	2,92
46.	2,11	1,30
47.	3,02	1,61
48.	2,80	1,98
49.	3,06	1,56
50.	2,56	1,35
51.	2,87	1,83
52.	3,02	3,78
53.	2,40	1,16
54.	3,21	1,84
55.	2,14	1,08
56.	2,92	2,50
57.	1,78	1,58
58.	2,69	1,52
59.	2,84	1,63

60.	1,91	1,15
61.	1,78	1,58
62.	2,42	1,33
63.	2,58	2,11
64.	3,16	2,14
65.	3,59	3,63
66.	2,75	2,30
67.	2,37	1,30
68.	2,81	1,30
69.	2,35	1,44
70.	2,43	1,26
71.	2,84	1,94
72.	2,63	1,50
73.	2,85	1,54
74.	2,44	1,40
75.	2,80	1,85
76.	2,74	1,40
77.	3,04	1,42
78.	2,75	1,46
79.	2,23	1,20
80.	1,94	1,34
81.	1,97	1,52
82.	2,57	1,58
83.	2,82	1,36
84.	2,91	1,59
85.	2,24	1,10
86.	2,38	1,31
87.	1,67	0,93
88.	2,74	2,32
89.	3,26	2,44
90.	3,38	3,93

91.	2,37	1,55
92.	1,94	1,15
93.	2,38	1,56
94.	2,52	1,30
95.	2,76	1,47
96.	2,91	2,78
97.	2,54	1,54
98.	2,65	1,61
99.	2,49	2,93
100.	2,51	1,51
101.	2,67	2,78
102.	2,41	1,13
103.	3,16	1,77
104.	2,67	2,49
105.	2,84	1,90
106.	2,70	1,25
107.	2,77	1,90
108.	3,35	3,66
109.	2,67	1,44
110.	3,05	2,04
111.	2,36	1,16
112.	2,94	2,39