

Metodika ultrazvukového vyšetření prsou

Příloha k průběžné zprávě za rok 2017

Číslo projektu: TA04011392

Název projektu: Časná detekce karcinomu prsu ultrazvukem

Předkládá: MUDr. Jan Vydra, Prof. MUDr. Jan Daneš, CSc., Ing. Michal Bartoš, Ph.D., Doc. Ing. Filip Šroubek, Ph.D. DSc., Ing. Luboš Petr, RNDr. Barbara Zitová, PhD.

Název organizace: Medico spol.s r.o.

Ústav teorie informace a automatizace AV ČR, v. v. i.

Tato metodika je výsledkem řešení výzkumného projektu č. TA04011392 s názvem „Časná detekce karcinomu prsu ultrazvukem“,

T A

Č R

Obsah

1 Cíl metodiky.....	3
2 Úvod	4
2.1 Ultrazvuk.....	4
2.2 Módy zpracování UZ obrazu.....	4
2.3 Ultrarychlé zobrazování	7
3 Popis metodiky	8
3.1 Ultrazvuková anatomie prsu	8
3.2 Technické vybavení, nastavení a kontrola kvality	10
3.3 Postup při UZ vyšetření prsů	12
3.3.1 Poloha vyšetřované ženy	13
3.3.2 Celkové systematické vyšetření	13
3.3.3 Cílené vyšetření	15
3.3.4 Poznámky ke komunikaci před vyšetřením a v jejím průběhu	15
3.3.5 Technika.....	16
3.3.6 Během vyšetření celého prsu se snažíme zjišťovat následující skutečnosti:.....	16
3.3.7 Popis ultrazvukového vyšetření.....	17
3.4 Zobrazení jednotlivých tkání a ložisek	17
3.4.1 Normální tkáň.....	17
3.4.2 Narušení architektury a strukturální poruchy	18
3.4.3 Ložiskové projevy	18
3.5 Klasifikace UZ nálezu	21
3.6 Vyhodnocování pohybu sondy a 3D modelování	22
4. Navazující metody	24
4.1 Invazivní ultrasonografie	24
4.2 Sonografie prsních implantátů	24
4.3 Elastografie	25
4.4 Ultrazvuk a DCIS	26
4.5 Ultrazvuk a screening	26

T A Č R

4.6 Vyšetření ultrazvukem s kontrastem	26
4.7 Automatizovaný 3D systém (ABUS)	26
5. Srovnání novosti postupů metodiky	27
6. Popis uplatnění metodiky	27
7. Seznam použité související literatury	28
8. Seznam publikací, které předcházely metodice	29
9. Další relevantní informace a přílohy	30
A. Příloha – Souhrnná studie	31
B. Příloha – Popis softwaru pro sledování pohybu UZ sondy	34
C. Příloha – Obrazová příloha jednotlivých typů lézí	38

1 Cíl metodiky

Cílem metodiky je optimalizace ultrazvukového vyšetření prsu tak, aby umožnila zlepšit záchyt časných stadií karcinomu prsu.

Rakovina prsu je nejčastější malignitou u žen a druhou nejčastější příčinou úmrtnosti související s rakovinou. Každý rok je v ČR diagnostikováno přibližně 7000 pacientek a z nich téměř 2000 zemře na karcinom prsu (www.svod.cz). Zavedení mamografického screeningu do klinické praxe vede ke snížení úmrtnosti na rakovinu prsu, většinou kvůli zachycení nižších stadií karcinomu. Nicméně 6,5 % karcinomů prsu je stále v České republice zjištěno ve stadiu IV a v časném stadiu I je zachyceno jen 47,6 % pacientek. Pouze nízké stadium zaručuje úplné vyléčení. V absolutních počtech může profitovat ze zlepšení metodiky vyšetření prsu více než 3 500 pacientek jen v České republice.

Ultrazvuk je v současnosti používán především k diagnostice při přítomnosti palpačních abnormalit a/nebo jako doplňující vyšetření k mamografii při nejednoznačném či podezřelém nálezů na mamografii. Hlavní výhodou je možnost zpřesnění diagnostiky u vyšetření denzních prsů, kde může být léze skryta v hutném stínu žlázy.

Stále se hledá význam ultrazvukového vyšetření ve screeningu. Některé typy nádorů bez mikrokalcifikací a intervalové karcinomy mohou být lépe zobrazeny při ultrazvukovém vyšetření. Je však nutné zabezpečit jistotu vyšetření celého prsu při dodržení optimální kvality zobrazení.

Cílem této metodiky je tedy optimalizace vyšetření tak, aby byl zachycen celý prs a byly správně zobrazeny a charakterizovány jednotlivé typy ložisek.

2 Úvod

2.1 Ultrazvuk

Ultrazvuk je mechanické vlnění nad pásmem slyšitelnosti. Pro lékařská zobrazovací vyšetření se však využívá mnohem vyšších frekvencí obvykle 2 – 15 MHz, pro vyšetření prsu nad 7,5 MHz. Ultrazvuk se v orgánech těla na rozhraních tkáňových prostředí s odlišnou akustickou impedancí odráží zpět (obdobně jako např. světlo na odrazivé polopropustné ploše) a získané údaje o odrazech a jejich intenzitě (označované v sonografické terminologii jako echogenita) jsou následně pomocí počítačového zpracování sestaveny do výsledného virtuálního sonografického obrazu. Vysílač a zároveň detektor ultrazvukového vlnění je sonografická sonda, kterou lékař při vyšetření pohybuje po povrchu kůže pacienta. Obraz vzniká převedením amplitudy odražených signálů do stupňů šedi. Ve 2D zobrazení se tak vytváří průřezy vyšetřovanou tkání, které lze složit v 3D prostorový obraz sledované části tkáně.

Ultrazvukové vyšetření prsu (UZ prsu, sonografie, ultrasonografie) je významnou technikou vyšetření prsu. Nejvíce rozšířenou metodou je v současné době ručně vedený způsob vyšetřování (Handheld Ultrasound Technology). Používají se zpravidla širokopásmové lineární multifrekvenční sondy o střední frekvenci minimálně 10 MHz. Tyto sondy umožňují vyšetřit prs až do hloubky k hrudní stěně při optimálním rozlišení.

Nejstarší popis použití sonografie prsu je z roku 1951 [Wild]. Při použití A modu popsali charakteristiky jedné benigní a jedné maligní léze prsu. Řada pokusů byla věnována vývoji automatického nebo vícesondového skeneru určeného k detekci subklinických lézí (screeningu) stejně jako lepší charakterizaci ložisek v prsu [Dempsey]. Od sedmdesátých let byl pozorován pokles zájmu o ultrazvukové vyšetření prsu pro diagnostiku časných stádií karcinomu, použití ultrazvuku se omezovalo na rozlišení solidních a cystických lézí a dominantní postavení zaujímala mamografie [Lawrence].

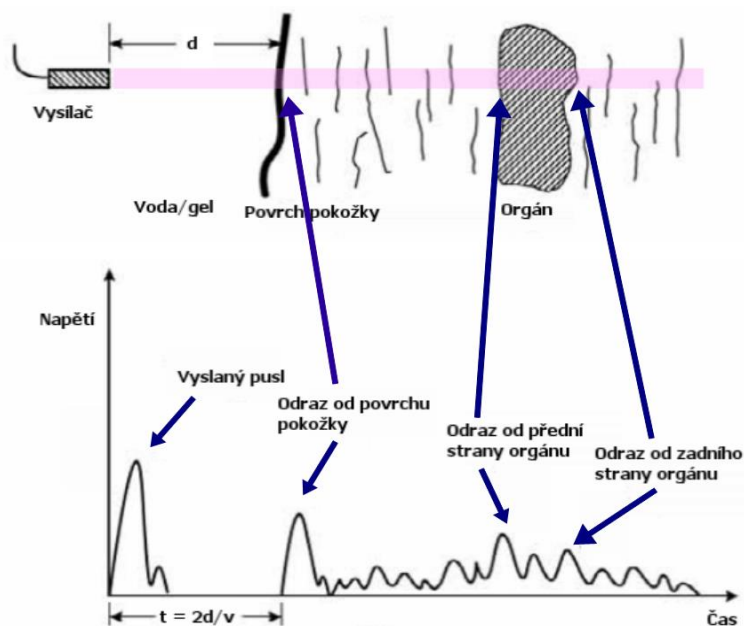
V současnosti s rozvojem nových technik zpracování obrazu a dalších převratných technologií (ultrafast imaging, nové sondy, automatické skenery) je opět věnována ultrazvukovému vyšetření prsů nová a větší pozornost. Pro přehlednost nejprve uvedeme souhrn konvenčních zobrazovacích módů a pak následuje popis nové technologie ultrarychlého ultrazvuku.

2.2 Módy zpracování UZ obrazu

Mód A

V módu A sonda vysílá puls do jednoho směru a zaznamenává odrazy od rozhraní, která stojí v cestě (viz Obr. 1).

T A Č R

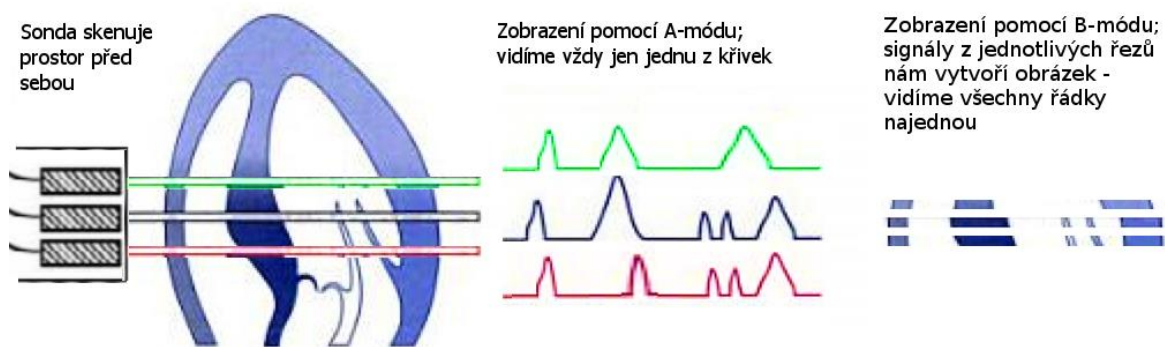


Obr. 1 Schématické zobrazení módu A.

Zobrazení módu A má formu grafu, kde na osu Y je vynesena síla odraženého signálu, osa X značí časové zpoždění odraženého signálu, které odpovídá vzdálenosti rozhraní od sondy. Ultrazvuk pohybující se prostředím rychlostí v se od rozhraní vzdáleného d vrátí v čase $t = 2d/v$.

Mód B

Mód B dává dvojrozměrný obraz tkáně. Vzniká seskládáním několika signálů módu A vyslaných do různých směrů. Odezva z každého směru se zobrazí jako jeden sloupec výsledného 2D obrazu. Síla signálu se převádí na jas (silnější odezva - světlejší bod).

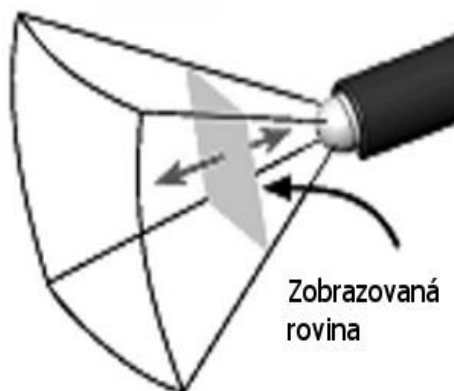


Obr. 2 Rozdíl mezi módem A a B.

T A Č R

Mód C

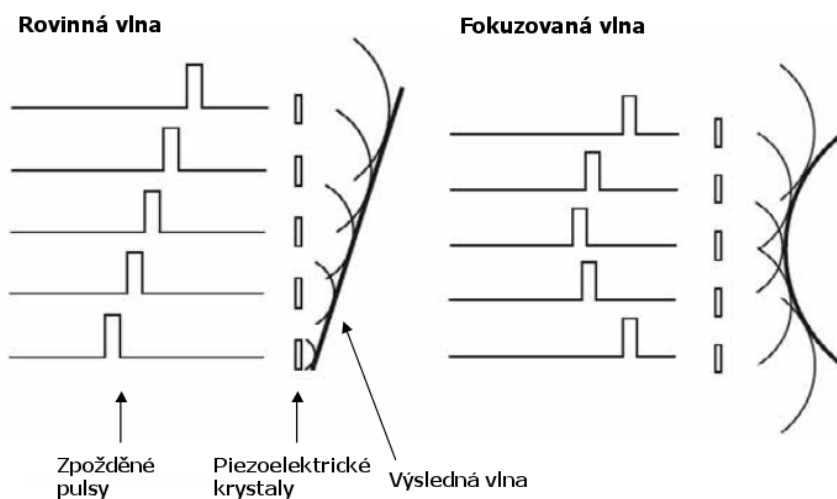
V módu C sonda skenuje celý objem tkáně. Výsledný obrázek zobrazuje řez tkání, přičemž řez je vodorovný s pokožkou (na rozdíl od módu B, kde řez je kolmý na pokožku).



Obr. 3 Zobrazování pomocí módu C.

Fokusace

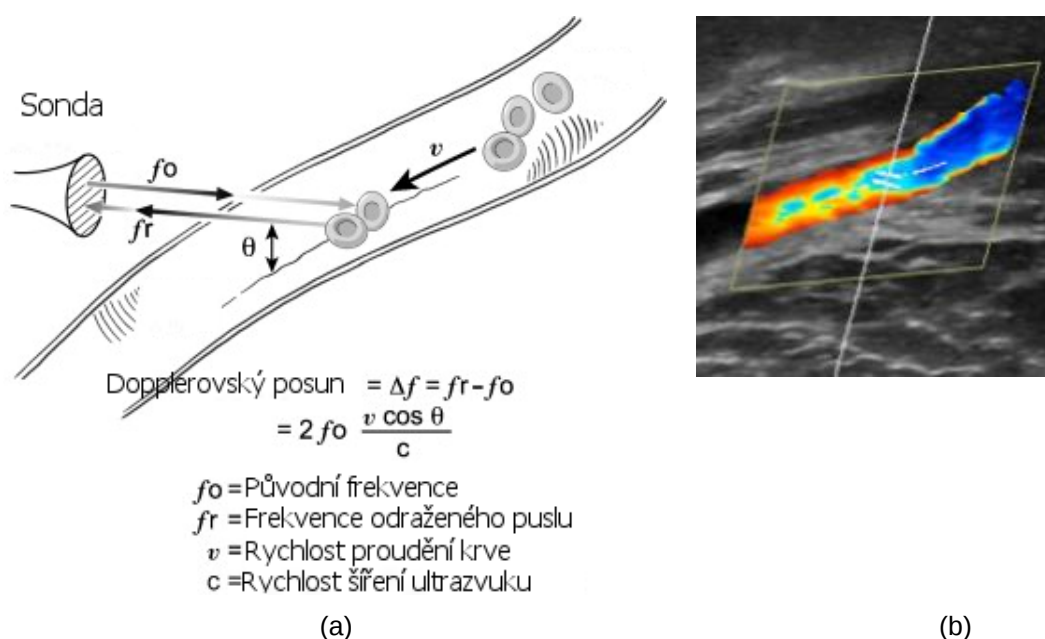
V typickém případě signál ze sondy nemá tvar paprsku, ale kuželu, což snižuje rozlišení výsledného obrazu. Pro zúžení paprsku a získání kvalitnějšího obrazu se proto používá tzv. fokusace. Cílem je zúžit oblast, do které vysíláme puls, výsledkem je kvalitnější a detailnější obraz. Obr. 4 zobrazuje jedno z možných technických řešení. Sonda obsahuje pole piezoelektrických krystalů, přičemž jednotlivé krystaly mohou posílat pulz nezávisle na ostatních - v jiný čas. Pokud pulzy zpozdíme vhodným způsobem, můžeme změnit směr, do kterého je vyslán pulz. Pro fokusaci nastavíme pulzy jednotlivých krystalů tak, aby se dostaly do jednoho místa (fokusační vzdálenost) ve stejný



Obr. 4 Dynamická fokusace u lineární sondy

Dopplerovská ultrasonografie

Dopplerovská ultrasonografie se používá pro získání informací o krevním zásobení, o rychlosti a charakteru proudění krve v cévách. Dopplerův jev popisuje změnu frekvence a vlnové délky odraženého signálu oproti vysílanému signálu v případě, že objekt, od kterého se signál odráží, je v pohybu. Pokud krev proudí proti sondě, výsledný signál bude mít vyšší frekvenci, v opačném případě dojde k snížení frekvence. (Pokud krev proudí kolmo na šíření signálu, ke změně frekvence nedojde.) Oblasti, ve kterých došlo ke zvýšení frekvence, jsou zobrazovány červeně a snížení frekvence je zobrazeno odstíny modré (viz Obr. 5).



Obr. 5 Dopplerův jev v ultrasonografii: (a) fyzikální princip, (b) barevné zobrazení žíly.

2.3 Ultrarychlé zobrazování

Rozmach paralelních výpočtů pomocí grafických karet umožňuje v současnosti použití složitějších rekonstrukčních postupů v ultrasonografii [Souquet], [Tanter]. Jedním z nich je tzv. ultrarychlé zobrazování pomocí rovinné vlny. Na rozdíl od konvenčního ultrazvukového zobrazování, kdy jsou jednotlivé měniče buzeny sekvenčně po jednom či po malých skupinách (focusace) a poté jsou opět sekvenčně zpracovány jako sloupce výsledného obrazu, se při ultrarychlém zobrazování vybudí všechny měniče najednou tak, aby vytvořili puls rovinné vlny šířící se do tkáně (viz levé schéma na Obr. 4). Pro příjem odražených ech se opět použijí všechny měniče a tato data jsou paralelně zpracována, aby vytvořila výsledný obraz. Základní možností rekonstrukce je tzv. „Delay and Sum“ metoda [Montaldo], která vychází z teoretické mapy zpoždění UZ pulzu. Pokud by byl pulz přijat

T A Č R

měníčem x_1 a byl odražen od bodu (x, z) , platí pro výsledný obraz:

$$s(x, z) = \sum_{x_1=1}^N RF(x_1, \tau(x_1, x, z))$$

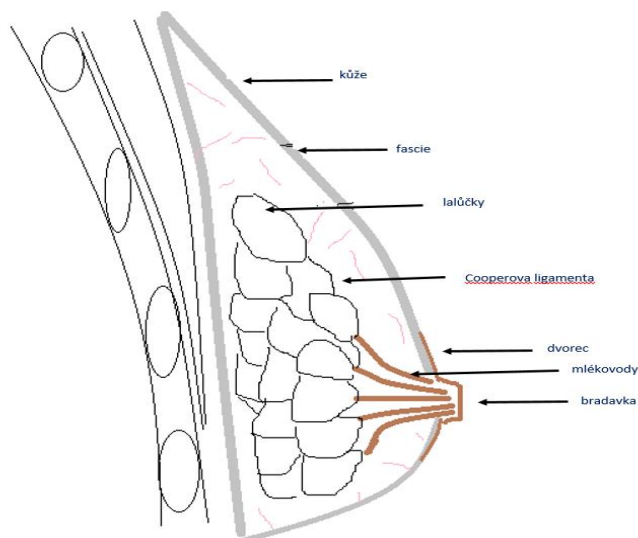
Výsledný obraz s na pozici (x, z) je dán superpozicí všech přijatých RF dat (1D echo signálů) pro jednotlivé měniče x_1 , která jsou ovšem zpožděna o teoretické zpoždění $\tau(x_1, x, z)$. N značí počet měničů.

Pro dosažení vyššího rozlišení jsou rovinné vlny vysílány pod různým úhlem a výsledný obraz je dán součtem těchto obrazů zrekonstruovaných pomocí různých zpožďovacích map τ pro různé úhly [Montaldo]. Touto technikou je možno získat lepší rozlišení než u konvenčních ultrazvuků s násobnou fokusací. Základní zobrazení pomocí jednoho úhlu umožňuje pořizovat snímky rychlostí vyšší než 15000 snímků za sekundu a při skládání z více úhlů se rychlost pohybuje kolem 1000 snímků/s ve srovnání s cca 30 snímky/s při konvenčním zobrazování. Tyto opakovací frekvence umožňují nejen vylepšit stávající Dopplerovské zobrazování, ale i získat nové dosud těžko dostupné informace o tkáni. Jednou z možností zobrazení elasticity tkáně je využití šíření příčných vln tkání při elastografii [Souquet]. Tato příčná vlna je obvykle vybudena vysokoenergetickým UZ pulzem a šíří se rovnoběžně s pokožkou rychlostí 1-10 m/s. Tato relativně nízká rychlost spolu s vysokou snímkovací frekvencí ultrarychlého ultrazvuku umožňuje zachytit, jak se čelo této vlny pohybuje tkání. Z těchto dynamických dat je možno vypočítat lokální posuny tkáně, což lze převést na rychlosti šíření vlny v jednotlivých bodech obrazu [McLaughlin]. Tento 2D obraz je možno zobrazit případně jej přepočítat na obraz Youngova modulu pružnosti tzv. Tsukuba elasticity score, viz Obr. 10. Další možností je zobrazení cévního průtoku. V současnosti se Dopplerovské měření rychlosti pomocí ultrazvuku stalo standardním nástrojem, jenž je součástí všech UZ systémů. Především se jedná o barevný Doppler, který barvou kóduje rychlost toku krve ve vyšetřované tkáni. Velikost oblasti zájmu je ovšem při konvenčním sekvenčním zobrazování limitována na malou část obrazu a i v tomto případě je opakovací frekvence zobrazení průtoku nízká (1-3 snímky/s). Při použití ultrarychlých ultrazvukových technik se oblast zájmu přirozeně rozšíří na celý prozvučený objem, při zachování zobrazení v reálném čase, a kvalita odhadu průtoků je mnohem vyšší [Bercoff]. To se týká i nízkých průtoků vyskytujících se v nádorové tkáni.

3 Popis metodiky

3.1 Ultrazvuková anatomie prsu

Prsa jsou modifikovaná potní žláza umístěná mezi dvěma vrstvami povrchové hrudní fascie na předním hrudníku, mezi druhým a šestým žebrem (viz Obr. 6).



Obr. 6 Ultrazvuková anatomie prsu

V prsu je 12-20 mlékovodů a jejich lalůčky spolu s tukem a stromatem vytváří tkáň prsu. Mlékovody se sbíhají na bradavce na jednom konci a na druhém konci se rozvětvují a končí v lalůčkách. Velikost mlékovodů se pohybuje od 1 mm u lalůčku až po 5-8 mm v blízkosti bradavky. Lalůčky mají okolo 3 mm v největším průměru. Poměr parenchymu k tuku je různý u různých jedinců a u stejné ženy se mění s věkem a během těhotenství a laktace.

Při ultrazvukovém vyšetření je referenční tkání tuk a ostatní struktury jsou označovány jako hypo-, izo- nebo hyperechogenní ve srovnání s tukem.

Ultrazvukový obraz umožňuje rozlišit následující struktury od povrchu do hloubky:

- **Kůže:** je zřetelná jako tenká hyperechogenní vrstva mezi dvěma tenčími hyperechogenními liniemi. Obvyklá tloušťka je do 2 mm, je lehce silnější v oblasti dvorce.
- **Podkožní tuk (premammární):** Je referenční tkání. Je více hypoechogenní než tuk jinde, má lobulární strukturu s tukovými lalůčky obklopenými velmi tenkou echogenní vrstvou.
- **Žlázová tkáň:** se zobrazí jako echogenní vrstva. Ta může být homogenní, u některých, zejména u mladých žen, je heterogenní až tygrovaná. Echogenita je též proměnná od obvykle hyperechogenní až k izoechogenní u laktujícího prsu. Uvnitř tkáně je možné příležitostně zachytit mlékovody a koncové ducto-lobulární jednotky (TDLU). U přístrojů s velmi vysokým rozlišením jsou TDLU někdy zřetelné jako malé hypoechogenní podlouhlé nebo zaoblené útvary. Ty se obvykle nacházejí v periferních oblastech žlázové vrstvy, početnější jsou v přední části než zadní části [Stavros].
- **Mlékovody** se mohou zobrazit jako tenké echogenní linie představující zhroucené a

T A Č R

přiléhající stěny kanálků nebo linky obklopené hypoechogenní zónou, která je volnou stromální tkání obklopující mlékovody. Často je vidět pouze izoechogenní periduktální stromální tkáň, která dává vzhled téměř proužkovaného (tygrovitého) vzhledu. Při postupné akumulaci intraduktální tekutiny se kanály mohou objevit jako anechogenní rourky, které mohou mít průměr až 5 mm. Téměř polovina žen ve věku 50 let má rozšířené dukty, ductectasie přibývají s věkem. Ektázie kanálků je většinou náhodným nálezem, ale mohou být spojeny s výtokem a periduktální mastitidou.

- **Cooperova vlákna** jsou navázána k parenchymálnímu povrchu z přední prsní fascie a mohou být vidět na ultrazvuku jako tenké echogenní proužky, které se šíří do předního povrchu žlázové tkáně. Několik málo Cooperových vazů může být zachyceno i pod žlázou.

3.2 Technické vybavení, nastavení a kontrola kvality

Nezbytností je ultrazukový přístroj s lineární sondou s vysokým rozlišením. Nejlepší jsou multifrekvenční sondy se střední frekvencí minimálně 10 MHz (optimálně 12 MHz) 7,5 – 12 MHz, neboť mají lepší rozlišení u prsů rozdílné velikosti a struktury uložených v různých hloubkách. Příliš hluboké zaostření (fokusace) způsobuje artefakty zpřůměrováním denzity. Lepší výsledky dosahují maticové sondy schopné zaostření také v krátké ose. Pro sondy s vysokým rozlišením je nutné zaostření na oblast léze nebo na hloubku odpovídající uložení léze.

Přístroje s panoramatickým snímkem umožňují zahrnout rozsáhlejší oblasti do jednoho snímku. Některé přístroje nabízejí rozšířená zobrazovací pole (trapezoid imaging), zatímco u jiných mohou být ke snímku přidány 2 přídatná pole. U těchto typů polí ale není zaručena přesnost měření.

Současné ultrazukové přístroje nabízejí počítačové zpracování obrazu včetně prostorového rozložení, redukci artefaktů a šumu, harmonické zobrazení, velmi rychlé zobrazení. Tyto moderní techniky umožňují výrazné zlepšení rozlišovací schopnosti [Hooley]. Další možností je využití elastografie (výstupem je zobrazení, případně kvantitativní či semikvantitativní měření tuhosti (elasticity) tkáně), která představuje doplněk ke klasickému B-způsobu zobrazení. Zobrazení mikrokalcifikací s využitím speciálních postupů a technik zvyšuje záchyt suspektních lézí.

Důležité je nastavení přístroje, optimalizované pro ultrazuk prsu: vhodná ohnisková hloubka, optimální zisk, časové zpoždění (TGC), vysoký dynamický rozsah, kontrast, zvýraznění rozhraní (okrajů). Hloubka pole by měla být až k hluboké fascii. Je-li obraz optimalizován, tuk se zobrazí jako středně šedý v premamárním i retromamárním prostoru, cysty jsou anechogenní bez vnitřních artefaktů a s ostrou konturou bez rozmazání, ve všech hloubkách.

V praxi se nastavení provádí na živé tkáni v součinnosti technika a vyšetřujícího, a to na základě subjektivního dojmu vyšetřujících, jejich znalostí a zkušeností.

Součástí procesu nastavení by však vždy měla být i optimalizace obrazu s využitím fantomu. Je nutná kontrola kvality a stálosti obrazu, jak dále uvedeno. Kontrolu nutno provést i při změně

T A Č R

nastavení, subjektivní změně obrazu, výměně sondy a jiných prvků se vztahem ke kvalitě obrazu.

Existuje několik typů fantomů. U tzv. tréninkových „antropometrických“ fantomů se kombinuje výuka (hlavní účel) i volba správného nastavení. Fantomy obvykle mají tvar prsu (někdy velmi věrně – viz <http://www.gaumard.com/s230-52>) a obsahují simulované hlavní normální i patologické struktury prsu, například subkutánní tuk, žebra, klíček, prsní sval, plíci, axilu s uzlinami, dále pak struktury různé echogenity, cysty, benigní i maligní tumory (<https://www.kyotokagaku.com/products/detail03/us-6.html>).

U tzv. akreditačních fantomů je kromě volby nastavení nejdůležitější právě kontrola kvality. Tyto fantomy mají struktury, body a linie nutné pro měření a hodnocení nejdůležitějších parametrů. Typicky jsou to: objekty s odstupňovanou echogenitou od anechogenních po hyperechogenních (např. 10 objektů) k optimalizaci zisku (gain) a nastavení škály šedi, objekty anechogenní od velikosti 1 mm do 4 mm ke zhodnocení šumu a kontrastu, dále bodové objekty pro zjišťování horizontálního a vertikálního rozlišení (ve vzdálenosti od sebe od 0,5 mm do 3 mm) a bodové a liniové 45 stupňové struktury k posouzení šíře vrstvy a jejího vlivu na obraz.

Kontrolu kvality a stálosti ultrazvukových přístrojů a obrazů považujeme za zásadní, v Česku doposud opomíjenou oblast. Pracoviště nemusí mít svůj fantom (je možné si jej sdílet), na větších mamodiagnostických pracovištích a pracovištích akreditovaných pro mamární screening (dle Věstníku MZ ČR č. 4/2010) je však striktně doporučováno.

Řada renomovaných organizací a odborných společností má kontrolu kvality součástí širšího akreditačního systému či protokolu, například American College of Radiology (<http://www.acraccreditation.org/modalities/breast-ultrasound>).

Při akreditaci se hodnotí především odbornost, znalosti a zkušenosti vyšetřujícího lékaře, kvalita zařízení (přístroje), kvalita obrazů cestou prováděných testů a jejich vyhodnocování (vlastní kontrola kvality, Quality Control – QC). Na základě našich zkušeností jsme sestavili soubor následujících doporučení ke kontrole kvality ultrasonografie prsu:

a) **Zařízení**

Je vyžadován přístroj vysoké třídy s kvalitním černobílým obrazem, multifrekvenční lineární sondou (real-time linear array) s vysokým rozlišením, střední frekvencí minimálně 10 MHz a elektronickou fokusací (měněnou vyšetřujícím i automaticky). Při vyšetřování by měly být zobrazovány a archivovány všechny důležité údaje o pacientovi, zdravotnickém zařízení, vyšetřujícím lékaři, zdravotnickém prostředku (identifikace zařízení a druhu připojené sondy), nastavení, typu zobrazení a použité škále šedi, datu a času vyšetření. Obrazy, použité při testech a měřeních uvedených níže, by měly být archivovány zvlášť či by měly být jednoduše dohledatelné.

b) **Přejímací zkoušky**

Zabezpečují se před klinickým použitím (nejlépe lékařským fyzikem) u nového zařízení či výměně podstatných součástí, zejména sondy, a to v zásadě v rozsahu

ročních testů. Cílem je zjistit, zda kvalita zařízení odpovídá deklarovaným skutečnostem a stanovit výchozí hodnoty k průběžným testům v rámci zkoušek provozní stálosti.

c) **Roční zkoušky (v rámci provozní stálosti)**

Roční interval je nejzazší. Tvoří minimum opatření v zabezpečování kvality, řada testů je zde prováděna technikem servisní organizace či lékařským fyzikem. Zjištění se vždy zaznamenávají a zároveň se uvádějí nápravná opatření při zjištění nesouladu či nedostatků. Skládají se alespoň z

- vizuální kontroly integrity, bezpečnosti pro personál a pacienta, správnosti fungování mechanických a ovládacích prvků.
- kontroly na přítomnost artefaktů a homogenity obrazu. Provádí se obvykle na homogenní části fantomu.
- přesnost elektronických měření. Zkoumá přesnost (soulad) velikosti a vzdáleností objektů na fantomu s elektronickým měřením.
- senzitivita systému. Zkouška je založena na kvantitativním měření poměru signál/šum (S/N ratio) a maximální hloubce dostatečné vizualizace fantomových objektů různé echogenity a velikosti.
- kontrola kvality zobrazování. Zde se testuje monitor, hledají vadné pixely a provádí kalibrace a korekce v nastavení. Součástí je také kontrola zobrazování v rámci celého zobrazovacího řetězce včetně PACS.
- test rozlišení kontrastu (na fantomových objektech)
- test axiálního a laterálního rozlišení

d) **Denní rutinní zkoušky (v rámci provozní stálosti)**

Obsahují základní zkoušky nutné před zahájením denního provozu, minimálně pak vizuální kontrolu, kontrolu na přítomnost artefaktů a homogenity (jak je uvedeno u ročních zkoušek). Kontroly rozlišení a senzitivity a případně další testy uvedené u ročních zkoušek se pak provádějí při změnách nastavení a subjektivní změně kvality (zhoršování) obrazu.

3.3 Postup při UZ vyšetření prsů

Podmínkou kvalitního vyšetření je kromě technologických předpokladů, znalostí a zkušeností vyšetřujícího také dostatečná vrstva sonografického gelu (eliminuje artefakty - akustické stíny), ke kůži kolmé vedení sondy a dostatečný tlak na ni. Změna tlaku může pomoci v diferenciální diagnostice ložiskových změn, při větším tlaku na sondu se určité typy útvarů oplošťují (cysty, lipomy či formace s vyšším podílem tuku), zatímco například maligní tumory se prakticky nemění.

3.3.1 Poloha vyšetřované ženy

Žena leží na zádech, s rukou na vyšetřované straně pod hlavou. Při vyšetření zevních částí prsu a axily je vhodné lehké pootočení na druhou stranu, výhodné je podložení trupu polohovacími klíny. U podklíčkové a hlavně nadklíčkové oblasti je možné k podrobnějšímu zhodnocení zvolit i polohu vsedě. Některá místa uložení změn (lézí) vyžadují individuální přístup.

- Mediální léze: žena leží na zádech se stejnostrannou rukou za hlavou, pomáhá lehké pootočení k vyšetřujícímu.
- Laterální léze: žena leží na zádech se stejnostrannou rukou za hlavou, je pootočena na druhou stranu, šikmost polohy závisí na velikosti prsu, pohyblivosti, pendulaci, lokalizaci léze v prsu.
- U povrchové léze, hmatné jen ve vzpřímené pozici, by měla být žena aspoň částečně vyšetřena v této pozici.
- Horní léze: žena je na zádech, leží lehce šikmo, ne úplně horizontálně, se stejnostrannou rukou za hlavou či v abdukci (vhodné pro dobré vyšetření horní zevní části prsu).
- Dolní léze: žena je na zádech a prs může být držen nahoře (druhou sondu nedržící rukou vyšetřujícího či ženou)

Různá míra tlaku se využije k vyrovnaní tkáně prsu a převedení konického tvaru do víceméně ortogonální roviny. Vzhledem k dynamické povaze ultrazvukového zobrazování v reálném čase a tendenci prsů měnit svůj tvar gravitací by měla být pozice pacienta přizpůsobována aktuální konkrétní situaci. Pozice pacientky může být měněna opakovaně, aby bylo možné získat vysoce kvalitní reprodukovatelné obrázky, jedno místo v prsu se někdy vyšetřuje při různých pozicích pacienta. Různé pozice jsou zvláště užitečné u velkých celkově obtížně vyšetřitelných prsou. Nedostatečné polohování může způsobit, že části prsu se stanou nepřístupnými, prsa přepadávající přes sondu mohou vést k tomu, že není určena přesná poloha léze – při případném opakovaném vyšetření, biopsii či excizi se pak nemusí znovu najít.

Vyšetření je možné rozdělit na dvě fáze, které nelze pominout: systematické vyšetření obou prsů a cílené vyšetření na oblast nejednoznačného či pozitivního mamografického či klinického (zejména palpačního) nálezu.

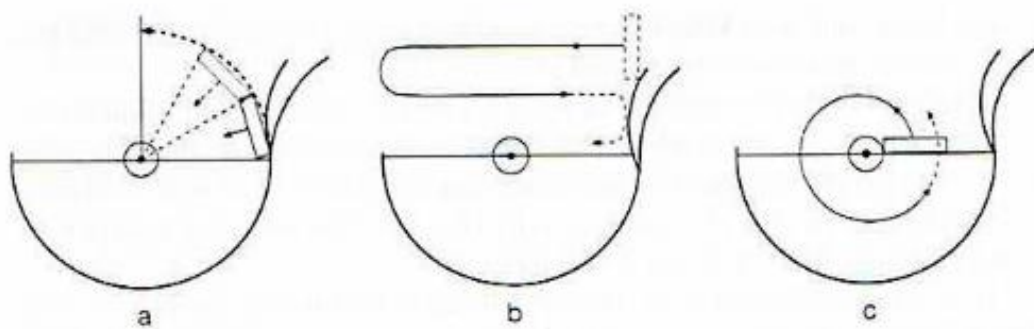
3.3.2 Celkové systematické vyšetření

Vyšetřují se vždy systematicky oba prsy včetně axily. Během systematického celkového vyšetření je vždy důležité zachytit všechny části prsu, nevynechat žádnou oblast s potencionální možností nálezu významnější změny. Zásadní chybou zejména u méně zkušených lékařů je přeskokování z jedné oblasti na druhou, zásadní je vždy pečlivě vyšetřit jednu část prsu a teprve potom jít na další. Nejvíce se při systematickém vyšetřování osvědčil radiální postup (po výsečích), meandrovitá či spirální technika je z praktického hlediska méně vhodná, využíváme ji hlavně u cílených vyšetření,

T A Č R

tedy jen pro určitou oblast zájmu (Obr. 7).

U vyšetření po výsečích prs rozdělíme na výseče podobné dělení koláče, hranice výsečí tvoří jakoby loukotě kola, přičemž ve středu je bradavka. Ideální je mít poměrně malé výseče, u prsů střední a větší velikosti by mělo být výsečí dvanáct.



Obr. 7 Postup při systematickém vyšetření prsu a) po výsečích (radiálně) b) meandrovitě c) po spirále. Převzato z [Daneš].

Zahajujeme vždy na určitém místě: například na rozhraní horních či laterálních kvadrantů a to vždy co nejdále periferně. Sondu držíme kolmo na radiální osu výseče, postupujeme až k bradavce. Postupně tak od periferie do středu (dostředně) vyšetříme po výsečích dokola celý prs. Jednotlivé exkurze sondou provádíme tak, aby se zobrazovací roviny vždy překrývaly. Pokud zachytíme určitou změnu, zastavíme se nad místem a vyšetříme v různých rovinách a směrech a při různém tlaku sondy - podobně jako při cíleném vyšetření na oblast zájmu (viz dále).

Po vyšetření celého prsu po výsečích dokola dovyšetříme ještě centrální část prsu, oblast za dvorcem a bradavkou. Zde musíme aplikovat více gelu a kromě centrálního směru volíme i vyšetření při sklonu sondy, abychom se vyhnuli dvorci a bradavce - může způsobovat artefakty.

Poslední oblastí systematického vyšetření prsu je axila, u žen s nálezem zhoubného nádoru či s podezřením na něj bychom neměli zapomenout ani na podklíčkovou a nadklíčkovou oblast. Kromě axily ještě jednou vyšetříme i axilární výběžek prsu, také zde aplikujeme větší množství gelu. Axilu vyšetřujeme po krátkých výsečích odstředivým směrem, techniku kombinujeme i s jiným vedením sondy a s občasným otočením roviny sondy, podobně jako u cíleného vyšetření. Gel a dostatečný tlak jsou důležité, je třeba maximálně (ale bez nepříjemných pocitů) vyhladit nerovný povrch v podpaží. V podpažní jamce se zaměříme zejména na zhodnocení velikosti, tvaru a struktury lymfatických uzlin. Při pochybnostech, zda je o uzlinu či cévu, využijeme barevné dopplerovské zobrazení.

Stejným způsobem vyšetříme i prs druhý. Před vyšetřením druhé strany je dobré požádat ženu o utření gelu z již vyšetřené strany a axily, jinak gel při pootočení steže na její bok či na záda, případně masivně znečistí lůžko.

V praxi však, může docházet k nedostatečnému vyšetření prsu – některé části prsu zůstanou nevyšetřeny, není dosaženo úplného pokrytí. Jedná se o jednu ze zásadních nevýhod tohoto způsobu

T A Č R

provádění vyšetření. Naše studie v letech 2015-2017 sledovala intenzitu vyšetření a dosaženého pokrytí jednotlivých částí prsu u erudovaných lékařů, ukázala, že celková doba trvání vyšetření může být nedostačující a v důsledku dochází k nedostatečnému vyšetření některých částí prsu. Postup vyšetření byl sledován zařízením 3D Guidance trakSTAR, který umožňuje zaznamenávat 3D polohu a orientaci ultrazvukové sondy s přesností 1,4 mm a rychlostí 80 vzorku za sekundu, což jsou dostačující parametry na podrobné sledování průběhu vyšetřování prsu. K dispozici bylo 150 měření levého a pravého prsu. Průměrný čistý čas systematického vyšetření jednoho prsu se pohyboval okolo 80 sekund. Další vyhodnocované veličiny, průměrný čas strávený v jednotlivých částech prsou a pravděpodobnost nedostatečného vyšetření ukázaly, že i u některých oblastí vnitřních částí prsu docházelo k nedostatečnému pokrytí UZ vyšetřením. Další detaily studie jsou uvedeny v příloze A.

3.3.3 Cílené vyšetření

Následuje zpravidla až po vyšetření obou prsů. Zaměřujeme se na oblast nejednoznačného či podezřelého nálezu, vyšetřujeme nejenom dané místo, ale také okolí. Kombinujeme různé metody vedení sondy, náklony a odstupňovanou kompresi. Také při cíleném vyšetření je však třeba postupovat systematicky. U pohmatového nálezu vždy kombinujeme UZ s palpací druhou rukou. Doporučuje se dostat ukazováčkem druhé ruky těsně k místu maximálních klinických příznaků a zde pečlivě sondou oblast vyšetřit.

Zhodnocení oblastí zájmu doplňujeme různými měřeními v rovinách kolmých - je vhodné mít u ložiskových změn tři míry (hloubku a měření ve dvou rovinách na sebe kolmých). U speciálních případů jsou výhodná i volumetrická měření, která jsou nyní standardní výbavou moderních přístrojů (například monitorování neadjuvantní terapie u karcinomu, invazivní perkutánní terapeutické výkony apod.).

Zásadní je ukládání všech digitálních obrazů a měření do paměti přístroje, lépe pak ihned i do PACS ve formátu DICOM. Ze série zhotovených a uložených obrazů by mělo být zřejmé, že byly vyšetřeny oba prsy včetně axily a oblast klinického nálezu. Z obrazu zachycené léze je třeba vyčíst přesnou polohu, stranu, znázornění polohou sondy na schématu prsu (body mark) je samozřejmostí, pro přesnější popis polohy malé významné změny se osvědčilo napsat v komentáři přímo do obrazu další doplňující údaje (například 5 cm od bradavky, těsně kaudálně pod pigmentovým névem apod.).

3.3.4 Poznámky ke komunikaci před vyšetřením a v jejím průběhu

Je vhodné, aby se lékař ženě před svlečením v převlékací kabině představil a uvítal ji. Ultrasonografie prsu je považována za vyšetřování pro ženu intimní oblasti, je vhodné získat důvěru, být vstřícný a ohleduplný. V místnosti by mělo být šero, z hlediska dosažení intimity prostředí, samozřejmě také jako prevenci oslňování vyšetřujícího lékaře. Některé ženy, zejména ze zahraničí, vyžadují jednoduchý oděv, který zakrývá druhý, nevyšetřovaný prs či dokonce nevyšetřovanou oblast prsu – mějte k dispozici a ochotně zrealizujte.

T A Č R

Cílenými dotazy je třeba předem zjistit všechny z hlediska diagnostiky důležité informace a subjektivní stesky. Také během vyšetření je důležité komunikovat, vysvětlovat vyšetřovací postup, ukazovat v případě hmatné rezistence její sonografický korelát. Současně pak zjišťovat pocity pacientky, zejména lokální bolestivost, opětovně se také ubezpečit o přesném místě vnímané maximální rezistence. Při bolestivosti a negativním UZ nálezů pak jednoduchými manévry potvrdit či vyvrátit vertebrogenní příčinu. Při strachu a stresu vyšetřované je dobré i odvrátit pozornost k jiným věcem, vždy citlivě a nevtíravě, aby pacient neměl pocit špatně provedeného vyšetření a naší menší soustředěnosti.

Zcela zásadní je přesvědčivé a srozumitelné vysvětlení výsledku a navržení dalšího postupu (v prevenci či v případě nějakého abnormálního nálezu v diagnostice). Odstrašujícím případem je mlčící lékař, který jen předá či pošle písemný nález. Pacient pak doma luští často pro něj nesrozumitelný nález, například s pomocí internetu, stává se, že nález interpretuje zcela odlišně, než bylo míněno.

3.3.5 Technika

Pacient je vyšetřen v již popsané vhodné poloze. Prsa jsou vyšetřována definovaným postupem, tak aby bylo zajištěno zobrazení celého orgánu. Měříme dlouhé a krátké osy lézí a také podél mlékovodů.

Zvláštní pozornost je nutno věnovat bradavce a subareolární oblasti. Obvyklou technikou není možné vidět mlékovody v bradavce a bezprostředně v její blízkosti. Bradavka je obvykle stlačena během skenování a zobrazuje se jako špatně stínící uzlík uvnitř nebo dokonce hluboko pod kůží, když je vtlačena do prsu tlakem sondy.

Příznivější geometrii s ultrazvukovým paprskem získáme zatlačením bradavky a jejích mlékovodů sondou různým stupněm periferního tlaku na jednu stranu. Prsa mohou být podepřena druhou rukou, aby se dokonale zploštl obrys prsou.

3.3.6 Během vyšetření celého prsu se snažíme zjišťovat následující skutečnosti:

Jaký je typ prsu, odpovídá typ věku a jak koreluje s mamografií, pokud byla provedena?

Jsou přítomna nějaká ložiska nebo abnormální změny (například narušení pravidelné textury žlázy, ztlustění kůže apod.)?

V případě ložisek popis ložisek standardizovanou terminologií s následnou kategorizací (v Evropě ve většině zemí podle systému BI-RADS [D'Orsi] s jejími kategoriemi, vyjadřujícími zároveň i navržený další postup (je třeba vyšetření další zobrazovací metodou či speciálním postupem v rámci stejné metody nebo není třeba žádná akce nebo doporučení kontroly za asi 6 měsíců nebo je vhodné provedení biopsie).

Jak spolehlivé je v tomto konkrétním případě vyšetření (spolehlivost můžou snižovat extrémně velké

T A

Č R

prsy, výrazné hormonálně podmíněné změny, aktuální difuzní patologické změny v prsu – například současná mastitida může zakrýt současnou přítomnost nádoru).

3.3.7 Popis ultrazvukového vyšetření

Popis (nález) musí být stručný, jasný, nejlépe standardizovaný, se zdůrazněním důležitých a nepodstatných nálezů.

Každý popis by měl obsahovat následující části, většinou odstavce: přesný název vyšetření s uvedením rozsahu (např. ultrasonografie obou prsů včetně axil), krátké shrnutí klinického nálezu či účelu vyšetření, typ prsu (věku a stavu přiměřený či nikoliv), popis podstatných změn, případně ložisek (lézí), jejich přesné určení místa uložení (lokalizace), závěr s doporučením dalšího postupu, pokud je nutný. Je jasné, že stejně jako v jiné součásti zdravotnické dokumentace musí být uvedeno datum, jméno vyšetřujícího lékaře (jmenovka) a jeho podpis, pokud je dokumentace vedena v papírové formě. Měl by být také jednoznačně identifikován přístroj – použitý zdravotnický prostředek (název, výrobce, výrobní číslo).

Jak již bylo řečeno, u zjištěné změny musí být správně uvedena strana a co nejpřesněji poloha, kvadrant a další zpřesňující údaje, například vzdálenost od bradavky (jak je uvedeno výše). Alternativou je zonace prsu. Typicky je prso rozdělena do 5 zón obsahujících subareolární zónu [SA], 3 kruhové soustředné zóny mimo SA a axilární zónu [AX]). Rovněž je nezbytné uvést orientaci sondy, která může být horizontální, vertikální, radiální nebo tangenciální (v pravém úhlu k radiálnímu směru v tomto bodě). Jsou často vhodné další šikmé úseky. Změření hloubky léze od kůže je užitečné, hlavně u nehmátných změn, pro plánování biopsie či chirurgického výkonu. Všechny léze by měly být přesně změřeny alespoň ve dvou na sebe kolmých směrech (optimálně třech) a měl by být uveden nejdelší a nejkratší rozměr.

3.4 Zobrazení jednotlivých tkání a ložisek

3.4.1 Normální tkáň

Prsní žláza může vypadat jako tenká membranózní vrstva ve stáří nebo hustá a téměř izoechogenní tkáň během laktace. Prsa mladé ženy, která nikdy nebyla těhotná, mají velké rozdíly v echogenitě, vzoru a struktuře, která se pohybuje od homogenně echogenní až po difusně heterogenní, téměř proužkovaný vzhled je kvůli duktům a peridukální hypoechogenní tkáni. Parenchym žlázy též může obsahovat ložisková ztlustění (rozšíření vrstvy), která mohou být i podstatou hmatné rezistence.

Změny související s věkem zahrnují cysty různé velikosti, duktální rozšíření (ektazie) – většinou asymptomatické, případně spojené s výtokem z bradavky. Tekutina v ektatických mlékovodech může být čirá, hypoechogenní, případně i obsahovat bílkovinné sraženiny. Solidní komponenta je naopak podezřelá z intradukálního papilomu nebo maligního nádoru.

3.4.2 Narušení architektury a strukturální poruchy

- **Architekturní narušení (zkreslení):** termíny původně používané v mamografii, v sonografii popisují významnou známku malignity – linie žlazových struktur či tukových lalůčků, harmonicky na sebe navazujících, je přerušena anechogenní nebo hypoechogenní nepravidelnou lézí.
- **Strukturální porucha:** je méně zřejmá a více difusní lokální změna echotextury žlázy. Echogenita je najednou více průzračná, okraje nejsou jasně definované. Může zobrazovat lokální nepravidelný průběh mlékovodů. Takový obraz může znamenat jen lokální mastopatické změny nebo preinvasivní lézi jako duktální karcinom in situ (DCIS), případně i invazivní karcinom např. triple negativní (občas i skrytý mamografií). K nalezení lokálních strukturálních poruch je nezbytné srovnat obě strany. Specifická takovýchto nálezů není velká, ale koresponduje s variabilitou klinických nálezů. Nalezení a popis takových poruch vyžaduje co nejlepší techniku a dlouhodobou zkušenost. Tyto často diskrétní nálezy však znamenají směr rozvoje ultrazvukové diagnostiky, jen obtížně nahraditelný jinou technikou (MRI, mamografie).

3.4.3 Ložiskové projevy

Zahrnují jednoduché a komplexní cysty (cystoidy) a solidní ložiska.

U těchto lézí vyhodnocujeme:

- Velikost - měříme v dlouhých a krátkých osách, pro ověření stability, regresi nebo progresi
- Tvar - vyšší než širší, nebo širší než vyšší, prodloužení podél kanálků
- Povrch - hladký, nepravidelný, s velkými nebo drobnými lalůčky, počet lobulací (až 3 jsou hodnoceny jako nesuspektní), úhly okrajů, větvení, pouzdro
- Vnitřní struktura - isoechogenní, hyperechogenní nebo hypoechogenní; Heterogenní nebo homogenní, komplexní, přítomnost cystického centra, kalcifikace
- Okolní tkáň – Echogenní halo, radiální větvení a akustické stínování a/nebo akustické zesílení a/nebo laterální refrakční stín (typický pro cysty)
- Fixace k okolním strukturám, svalům, kůži, strukturám hrudní stěny – na druhou stranu úplná či částečná posunlivost vůči okolí

Výběrově sledujeme další atributy léze, zejména elasticitu (rigiditu) a cévní zásobení při dopplerovském zobrazení.

Obecně platí:

- Benigní léze bývají méně vaskularizované a měkké, stlačitelné (elastické).

T A

Č R

- Barevné signály směřující do léze mohou být známkou malignity, zatímco vaskularita okolo hrany léze nikoliv. Záleží též na intenzitě vaskularizace. Vaskularizace uvnitř léze zvětšuje podezření z malignity, ale nepřítomnost vaskularizace není průkazem benignity.
- Normální lymfatické uzliny mají vaskularizaci v hilu, patologické typicky po obvodu uzliny.
- Barevné Dopplerovské zobrazení může pomoci při plánování vhodné trajektorie vedení jehel, aby se zabránilo výraznějšímu krvácení, stejně tak zjistí vztah k větším cévám v axile před plánovaným intervenčním výkonem.

Jednoduché cysty

Jednoduché cysty mají tenkou stěnu, žádné nástěnné uzly, žádná septa. Obvykle je charakterizuje prakticky anechogenní obsah, zadní zesílení (enhancement) a někdy i laterální okrajové refrakční zadní stíny. Takové cysty jsou jednoznačně benigní. Asymptomatické cysty se nemusí aspirovat, ani nejsou indikací k mamografii. Pokud se cysta zvětšuje, obtěžuje či je bolestivá, pomáhá úplné odsátí tekutiny pod sonografickou kontrolou – reziduum snižuje pravděpodobnost vymizení. Cytologické vyšetření tekutiny nebývá přínosné.

Komplikované cysty

Mají echogenní ložiska ve vnitřní tekutině, ale jinak vykazují známky jednoduchých cyst. Jsou většinou benigní, ale kontrola v kratším intervalu může být přínosná k potvrzení neměnnosti či tendenci k regresi. Při diferenciálně diagnostických rozpacích je vhodné provést punkci tenkou jehlou a odsátí obsahu. Zejména malé cysty s hustým sekretem mohou napodobovat solidní lézi.

Komplexní cysty

Cysty s nástěnnými uzly nebo se silnými septy musí být dále vyšetřeny aspirací na cytologii nebo v současné době raději jehlovou biopsií solidní složky ztlustělé stěny nebo septa. Detekovatelné lineární vascularity mohou být cévní stopkou intracystické solidní složky.

Solidní uzly

U solidních uzlů hodnotíme tvar, okraje, lobulaci, lem, fixace, stínování, echogenitu, a stlačitelnost.

3.4.4 Vlastnosti ložiskových lézí

Maligní charakteristiky (s pozitivními prediktivní hodnotou)

Odkazy na obrázky uvedeny níže jsou v příloze C.

- sonografické spikulace (cípy) : 87-90% (Obr. C16)
 - o střídavé hypo-hyperechogenní linie paprskovitě vybíhající kolmo od povrchu uzlů (je-li

T A Č R

léze je obklopena echogenní tkání, budou zobrazeny hypoechogenní vlákna, je-li léze obklopena tukem, mohou být vlákna echogenní)

- hlubší (vyšší) než širší: 74-80% (Obr. C 11 – C14)
 - o s výjimkou některých duktálních invazivních karcinomů G III
- microlobulace : 75% (Obr. C13-C14)
 - o Malá zvlnění (lobulace) velikosti asi 1-2 mm na povrchu; riziko malignity stoupá s rostoucím počtem
- široký hyperechogenní lem (tzv. halo): 74% (Obr. C11)
- nepravidelné okraje: 70% (Obr. C11-C16)
- výrazně hypoechogenní uzel: 70% (Obr. C11 – C16)
- zadní akustický stín: 50% (Obr. C11 – C16)
- větvení: 30% (Obr. C15)
 - o mnohočetné výstupky z uzle uvnitř či kolem mlékovodů probíhající od bradavky, obvykle patrné u větších nádorů
- tečkovité kalcifikace: 25% (Obr. C13)
 - o obvykle nemají stín
- rozšíření mlékovodů: 25%
- heterogenní echotextura (Obr. C13)
- stlačitelnost (Obr. C16)
 - o obecně benigní léze je možné komprimovat sondou, maligní léze spíše otláčují tkáň prsu beze změny výšky; rozdílná elasticita je základem pro tzv. elastografii

Benigní charakteristiky (s negativní prediktivní hodnotou)

- dobře ohraničená, hyperechogenní či izoechogenní tkáň: ~ 100% (Obr. C7-C8)
- širší než hlubší: 99% (Obr. C7-8)
- případné lobulace jsou mírně zakřivené a plynulé (<3 v uzlu, který je širší než hlubší, tedy poměr hloubka/šířka <1): 99% (Obr. C7)
- úzká echogenní pseudo-kapsula (pouzdro) v širším než hlubším uzlu: 99% (Obr. C8)
 - o je nejlépe vidět na předním/zadním okraji, kolmo k paprsku
 - o pravděpodobně představuje normální stlačenou tkáň při neinfiltrativním procesu

Prediktivní hodnoty podle <http://radiopaedia.org/articles/benign-and-malignant-characteristics-of-breast-lesions-at-ultrasound>

Lymfatické uzliny

Uzliny můžeme zachytit jak v axile tak i jinde v prsu. Znamky benignity zahrnují: ovoidní tvar,

T A

Č R

nápadný centrální echogenní hilus. Maligní uzliny mají tendenci ke kruhovému tvaru a uniformní nízké echogenitě, případně s periferní vaskularizací.

Přehled hodnocených vlastností ložiskových lézí

Vlastnost	benigní	Maligní
tvar	kulatý, širší než vyšší	vyšší než širší
okraje	hladké	nepravidelné, ostré, s výběžky
lobulace	žádné až 3	vícečetné
pouzdro	tenká pseudokapsula	bez pouzdra
lem	není	hyperechogenní
fixace	není	okolní tkáň a svaly
stínování	okrajové	za lézí
echogenita	hyperechogenní (cysty anechogenní)	hypoechogenní, calcifikace

3.5 Klasifikace UZ nálezu

Klinický význam léze klasifikujeme podle Breast Imaging Reporting and Data System Atlas (BI-RADS® Atlas). American College of Radiology. Available at <http://www.acr.org/Quality-Safety/Resources/BIRADS/MRI>.

Ultrazvukové BIRADS kategorie a doporučený management

BIRADS kategorie	Význam	Vzhled	Management
BIRADS 0	nekompletní vyšetření		vyžaduje další hodnocení
BIRADS 1	normální	normální tkáň ložisková kondenzace	rutinní screening
BIRADS 2	benigní	prosté cysty duktální ektazie intramamární uzliny lipomy	kontrola k dokumentaci stability pokud klinický stav nevyžaduje více intenzivní sledování
BIRADS 3	pravděpodobně benigní riziko < 2%	komplexní cysty malé intraduktální papilomy fibroadenomy	časná kontrola nebo biopsie
BIRADS 4	podezřelé 2% < riziko < 95%	jeden rys malignity	biopsie
BIRADS 5	maligní riziko > 95%	více rysů malignity	biopsie
BIRADS 6	biopsií prokázaná malignita		

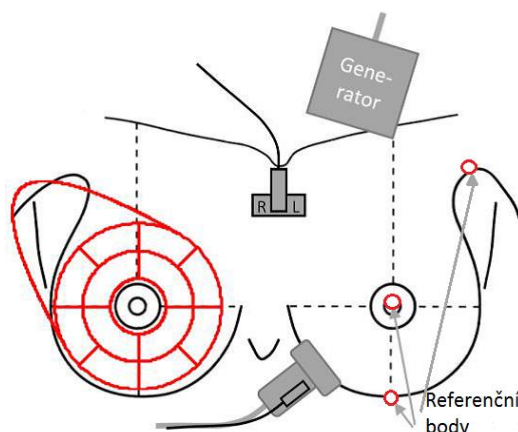
3.6 Vyhodnocování pohybu sondy a 3D modelování

Základním nedostatkem vyšetření pomocí ručně držené sondy je nejistota, zda byly všechny oblasti prsu vyšetřeny. Předkládaná metodika umožňuje v reálném čase sledovat pokrytí jednotlivých částí prsu a tím výrazně zvyšuje pravděpodobnost, že bude vyšetřeno celé prso. Pohyby sondy jsou průběžně sledovány a jsou zanášeny do 3D normalizovaného modelu prsa. 3D poloha a orientace ultrazvukové sondy je vyhodnocována s přesností 1,4 mm a rychlostí 80 vzorku za sekundu, což jsou dostačující parametry na podrobné sledování průběhu vyšetřování prsu. Získané prostorové informace jsou dále zpracovány a mohou posloužit pro vytváření 3D modelů zvolených oblastí zájmu, kdy se na základě sousedních skenů a znalosti jejich vzájemné polohy geometricky sesadí a následně zrekonstruuje 3D objem tvořený blízkým okolím místa, kde se sonda v daném okamžiku nachází.

Program umožňuje lékařovi, provádějícímu ultrazvukové vyšetření, zaznamenávat a následně vyhodnotit prostorovou trajektorii sondy během celého vyšetření. Informace o poloze sondy je

T A Č R

v reálném čase aktualizována a vykreslována v okně programu (viz. Obr. 9). Program ze získaných dat o pohybu sondy vyhodnocuje dobu, po kterou se sonda v daném místě pohybovala a případně upozorní na nedostatečné pokrytí.



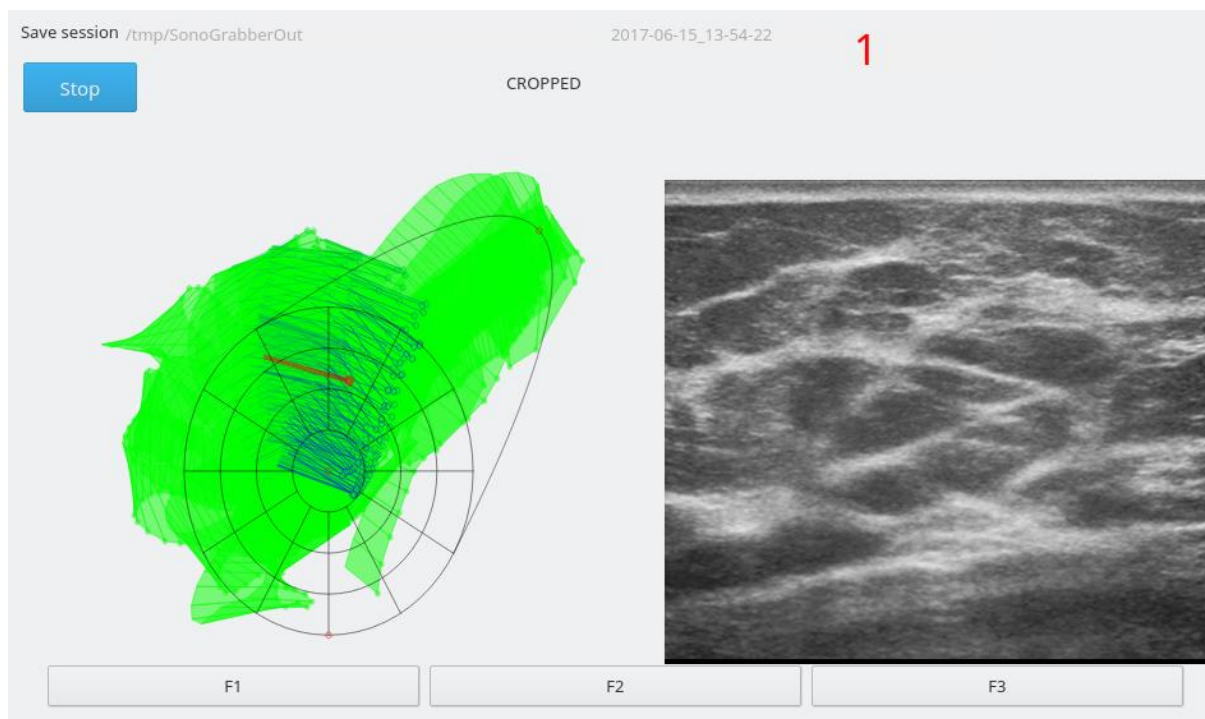
Obr. 8 Rozmístění polohových senzorů systému a třech referenčních bodů. Jeden polohový senzor je přiložen na sternum a slouží k nadefinování souřadného systému. Druhý senzor je pevně ukotven na UZ sondu.

Před vyšetřením je nejprve potřeba umístit referenční polohový senzor (přiložený na sternum), který definuje souřadný systém. Následuje označení 3 referenčních bodů na pacientce: bradavka (mammila), rozhraní prsu a hrudníku a nejzazší bod axilární zóny. Tento krok, nazývaný kalibrace systému, umožňuje nastavit korektně přepočít prostorové polohy sondy do roviny modelu prsu. Rozmístění polohových senzorů a třech kalibračních bodů je schematicky uvedeno na Obr. 8. Po kalibraci se začne zobrazovat současně obraz snímáný UZ sondou a schematický náčrt prsu, který se postupně zbarvuje podle kvality skenování jednotlivých částí prsu (Obr. 9). Ovládání chodu programu v real-time módu je prováděno pomocí funkce „Freeze“ na UZ zařízení. Uživatel má možnost volit mezi následující funkcionalitou:

- uložení snímku; zaznamená se poloha sondy do modelu prsu
- vytvoření lokálního 3D modelu
- poloautomatická segmentace léze a výpočet příznaků pro klasifikaci

Z důvodu elasticity tkáně dochází při vyšetření UZ sondou k posunům prsu a není tedy možné provést věrohodnou 3D rekonstrukci celého prsu. Na malém okolí (cca 3x3 cm) se však tyto globální posuny projevují jen okrajově a je možné provádět 3D rekonstrukce lokálně v oblasti zájmu. Jednotlivé snímky z UZ zařízení lze chápat jako 2D řezy neznámého 3D objemu, který chceme zrekonstruovat. Známe-li polohu a orientaci UZ sondy pro každý snímek, můžeme odhadnout polohu odpovídajícího řezu ve 3D. Vyšetřující lékař pomalu pohybuje sondou v oblasti zájmu, program postupně akumulujeme UZ snímky s polohou a rekonstruuje 3D objem pomocí algoritmu [Lasso].

Podrobný popis funkcionality programu je uveden v příloze B.



Obr. 9 Ukázka z aplikace pro sledování UZ sondy. V levé části je schematický nákres prsu a v první části aktuální UZ snímek. Na nákresu prsu jsou zelenou barvou označena místa, která byla sondou navštívena. Modré značky ukazují aktuální a několik předchozích pozic sondy. Červená značka ukazuje uloženou pozici sondy pro pozdější referenci. Délka značky odpovídá velikosti sondy.

4. Navazující metody

4.1 Invazivní ultrasonografie

Sonograficky navigovaná biopsie je nenákladná, dostupná, a nevyžaduje ionizační záření. Vyžaduje erudovaného vyšetřujícího, zkušenost stoupá s opakovanými vyšetřeními. Ultrazvukem navigované intervence se používají pro aspiraci cyst, fine-needle biopsie, jehlové biopsie, injekce sentinelové uzliny, k zavádění drátových lokalizací, k umístění brachyterapeutických katetrů, a k přímé vakuum asistované biopsii. Během biopsie má být jehla orientována pokud možno paralelně s hrudní stěnou, obzvláště při vystřelujících jehlách, tak aby nebyly poškozeny níže uložené tkáně.

4.2 Sonografie prsních implantátů

Prsní implantáty se používají jak pro čistě kosmetický efekt, tak jako náhrada tkáně po mastektomiích. Silikonové implantáty jsou dnes často nahrazovány implantáty s fyziologickým roztokem. Sonografie silikonových implantátů je důležitá k vyloučení ruptury, naproti tomu ruptura implantátů s fyziologickým

T A Č R

roztokem se projevuje úbytkem objemu prsu při extravazaci fyziologického roztoku.

Intaktní implantáty mají hladký povrch, tenkou lineární membránu, sonograficky čirý anechogenní obsah, artefakty z odrazů proximální stěny, radiální záhyby a lineární ozvěny.

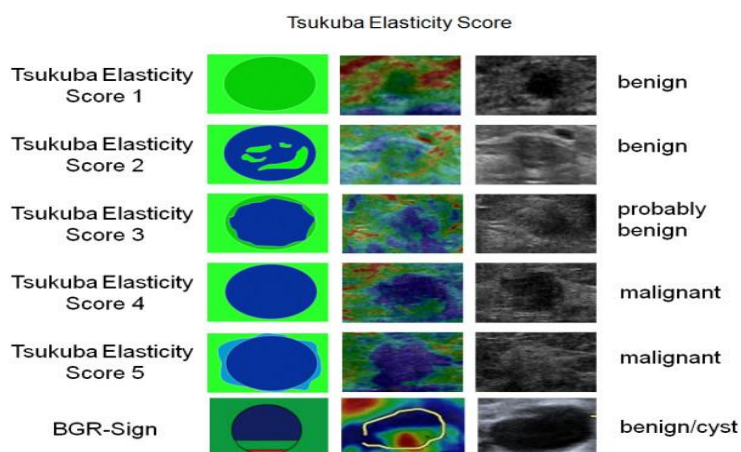
Při intrakapsulárním ruptuře se může objevit vzhled stupňů. Dále je možné pozorovat ohniskovou nepravidelnost, okraje mohou být špatně definované.

Při extrakapsulární ruptuře může být hyperechogenní zrnění až vzhled sněhových bouří. Mohou se objevit silikonové granulomy, které se mohou objevit jako ohniskové léze se vzhledu sněhových bouří, hyperechogenních, hypoechogenních nebo dokonce anechogenních ložisek.

4.3 Elastografie

Doplňek konvenčního ultrazvukového B-mode vyšetření umožňuje charakterizovat tuhost ložiskové léze. Výsledkem je barevné kódování tuhosti tkáně. Elastografie zlepšuje možnosti charakterizace benigních a maligních lézí. Elastografie je závislá na tlaku vyvinutém ručně drženou sondou, proto i na erudici vyšetřujícího. Je tedy otázkou zda výsledek elastografie může snížit nutnost biopsií.

Tkáň nádoru je tužší než normální tkáň prsu a předpokládá se, že tkáňová ztuhlost začíná v rané fázi rakoviny. Tsukuba skóre je 5-bodová stupnice pro třídění tuhosti hmoty, ale existují i jiné metody interpretace (např. poměr léze k tuku).



Obr. 10 Tsukuba skóre

Trojrozměrný ultrazvuk přidává další vlastnosti k obrazu a rozšiřuje benigní a maligní charakteristiky ložisek v prsou. Nyní je známo, že mnoho zhoubných lézí může mít hladké obrysy, být širší než vyšší a vykazuje akustické zesílení, zatímco i benigní léze mohou mít výrazné nepravidelnosti obrysu [Kerry]. Diagnostika lézí v prsu se tak stává více komplexní a vlastnosti nemohou být určeny na základě jednoho či dvou prvků.

4.4 Ultrazvuk a DCIS

Ultrazvuk je považován za méně vhodný k detekci DCIS než mamografie, ale je významný především v záchytu DCIS bez mikrokalcifikací. Dosud neznáme přesnou proporci DCIS s a bez mikrokalcifikací. Další jednotkou je DCIS jako palpovatelná jednotka. V detekci palpovatelných jednotek může být ultrazvuk lepší než mamografie. Při hodnocení strukturálních poruch může být ultrazvuk prioritní v diagnóze DCIS při nalézání lézí, jež jsou jinak skryté na mamografii. Celkově ale mikrokalcifikace nejsou většinou ultrazvuků diagnostikovatelné, takže mamografie hlavně při screeningových vyšetřeních je základem pro nález DCIS.

4.5 Ultrazvuk a screening

Většinově je ultrazvuk prsu akceptován jako doplněk mamografie – v případech mamograficky nejasných nálezů a u velmi denzních prsou. Ultrazvuk je náročný na čas a erudici vyšetřujícího. Nyní ale ultrazvukové vyšetření prsu s vysoce výkonnou technikou a ve zkušených rukou může dosahovat srovnatelné senzitivity pro invazivní karcinomy, i když záchyt DCIS a mikrokalcifikací je nižší než při mamografii. Naopak ultrazvuk je přínosný v záchytu agresivních karcinomů bez mikrokalcifikací jako jsou některé triple negativní karcinomy – část intervalových karcinomů prsu. Ultrazvuk nepoužívá ionizující záření a může být opakován bez omezení.

Ve srovnání s MMG a MRI je vybavení levné, není zapotřebí speciální pracoviště, ale ultrazvuk je extrémně závislý na zkušenosti vyšetřujícího a použité technice. Dále ultrazvuk ručně drženou sondou nezaručuje a nedokumentuje vyšetření celého prsu, jak bylo dokázáno i naší publikací. Kontrola kvality není zaručena. Tu lze řešit například sledováním polohy sondy. Nakonec chybí i randomizované studie srovnávající ultrazvuk a další modalitu.

4.6 Vyšetření ultrazvukem s kontrastem

Nitrožilně aplikovaný kontrast ke zlepšení senzitivity a specifity se využívá při některých vyšetření jater, ale nebyl prokázán jeho efekt při vyšetření prsu. Spíše lze zvažovat jeho použití při detekci sentinelové uzliny [Goldberg].

4.7 Automatizovaný 3D systém (ABUS)

Cílem je zabezpečit homogenní vyšetření celého prsu a rekonstrukce 3D obrazů. Prs je vyšetřován speciální sondou s definovaným pohybem na větší kontaktní ploše z různých směrů. Po té může vyšetřující analyzovat celý objem prsu a detekovat suspektní oblasti, které jsou případně následně vyšetřeny ručně drženou sondou.

5. Srovnání novosti postupů metodiky

Předkládaná metodika zahrnuje principy ultrazvukového vyšetření, anatomii prsu z hlediska ultrazvukového vyšetření. Velký důraz je kladen na dostatečné technické vybavení, nastavení a kontrolu kvality prováděním pravidelných zkoušek. Dále je definován postup při ultrazvukovém vyšetření prsu, Součástí jsou stanovené minimální požadavky na popis ultrazvukového vyšetření prsu. Metodika popisuje zobrazení jednotlivých fyziologických tkání prsu. Dále jsou definovány abnormální nálezy a ložiskové projevy včetně charakterizace benigních a maligních lézí.

Přínosem je standardizace vyšetření, tak aby byl vyšetřen celý prs a axila. Naše studie „Evaluating Spatial Coverage of Breast Examination with Free-hand Ultrasound Transducer“ sledovala intenzitu vyšetření jednotlivých částí prsu u erudovaných lékařů provádějících rutinně systematické vyšetření prsu podle stávajících postupů. Studie dospěla k závěru, že během celkového systematického vyšetření může i kvalifikovaný lékař opomenout vyšetřit všechny části prsu. Je tedy žádoucí, aby ultrazvukové přístroje s ruční sondou byly vybaveny systémem na sledování polohy a softwarem, který upozorňuje vyšetřujícího lékaře na oblasti, které nebyly ještě sondou navštíveny. Předkládaná metodika tedy představuje komplexní pohled na ultrazvukovou diagnostiku lézí prsu se zřetelem na možnosti časného zachytu nádorů prsu

6. Popis uplatnění metodiky

Indikace ultrazvukového vyšetření prsu:

Ultrazvuk je v současnosti používán především k diagnostice při přítomnosti palpačních abnormalit, a/nebo jako doplňující vyšetření ložiskové léze na mamografii. Hlavní výhodou je možnost vyšetření denzních prsou nebo prsou v involuci s převahou tuku. Při zabezpečení vyšetření celého prsu vhodnou metodikou je indikováno vyšetření k vyloučení intervalových karcinomů v intervalu mezi screeningovými mamografiemi.

Přehled hlavních indikací ultrazvukového vyšetření prsu:

- Abnormální nález při palpaci
- Ložiskové abnormality na mamogramu
- Bolesti prsu
- Vtažení bradavky
- Sledování dynamiky lézí
- Stanovení rozsahu lézí
- Vyšetření regionálních uzlin při podezření na maligní léze
- Ultrazvukem řízená biopsie

Kontraindikace

Ultrazvukové vyšetření je závislé na zkušenostech vyšetřujícího, takže hlavní kontraindikací je nezkušenost operátora.

7. Seznam použité související literatury

- [Bercoff] Bercoff J., Montaldo G., Loupas T., Savery D., Mézière F., Fink M., and Tanter M., „Ultrafast compound doppler imaging: Providing full blood flow characterization,” *IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control*, vol. 58, no. 1, pp. 134–147, 2011.
- [Daneš] Daneš J., „Základy ultrasonografie prsu,” Maxdorf, 1996.
- [Dempsey] Dempsey P.J., „The history of breast ultrasound.” *J Ultrasound Med*. July 2001, 23:887-94.
- [D’Orsi] D’Orsi C.J., Sickles E.A., Mendelson E.B., Morris E.A., et al., „ACR BI-RADS® Atlas,” Breast Imaging Reporting and Data System. Reston, VA, American College of Radiology, 2013.
- [Goldberg] Goldberg, B.B., Merton, D.A., Liu J.B., Forsberg F., Zhang K., Thakur M., Schulz S., Schanche R., Murphy G.F., and Waldman S.A., „Contrast-enhanced ultrasound imaging of sentinel lymph nodes after peritumoral administration of Sonazoid in a melanoma tumor animal model,” *J Ultrasound Med*, 30: 441-453, 2011.
- [Hooley] Hooley R.J., Scoutt L.M., and Philpotts L.E., „Breast ultrasonography: state of the art,” *Radiology*. 2013 Sep. 268(3):642-59.
- [Kerry] Kerry T., „Advances in Breast Ultrasound,” Heino Hille. *Sonography*, 2012.
- [Lamia] Lamia S., Sassi O.B., and Hamida A.B., „Breast Cancer Ultrasound Images’ Sequence Exploration Using BI-RADS Features’ Extraction: Towards an Advanced Clinical Aided Tool for Precise Lesion Characterization,” *IEEE Transactions on Nanobioscience*, 740-745, 2015.
- [Lasso] Lasso A., Heffter T., Rankin A., Pinter C., Ungi T., and Fichtinger G., „PLUS: Open-source toolkit for ultrasound-guided intervention systems,” *IEEE Trans Biomed Eng.*, Oct; 61(10):2527-37, 2014.
- [Lawrence] Lawrence W., Basset M.C., Mahoney S., et al., *Breast Imaging*. 1st. Philadelphia, PA: Saunders; 2011.
- [McLaughlin] McLaughlin J. and Renzi D., „Shear wave speed recovery in transient elastography and supersonic imaging using propagating fronts,” *Inverse Probl.*, vol. 22, no. 2, pp. 681–706, 2006.
- [Montaldo] Montaldo G., Tanter M., Bercoff J., Benech N., and Fink M., „Coherent plane-wave compounding for very high frame rate ultrasonography and transient elastography,” *IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control*, vol. 56, no. 3, pp. 489–506, 2009.
- [Sabih] Sabih D., „Breast Ultrasonography,” 2017, <http://emedicine.medscape.com/article/1948269>
- [Stavros] Stavros A.T., „The Breast,” In: Rumack C.M., *Diagnostic Ultrasound*. 4. Philadelphia, PA:

Elsevier Mosby; 2011. 773-839/20.

[Souquet] Souquet J. and Bercoff J., „Ultrafast Ultrasound Imaging,” *Ultrasound Med. Biol.*, vol. 37, no. 8, p. S17, Aug. 2011.

[Tanter] Tanter M. and Fink M., „Ultrafast imaging in biomedical ultrasound,” *IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control*, vol. 61, no. 1, pp. 102–119, 2014.

[Wild] Wild J.J. and Neal D., „Use of high-frequency ultrasonic waves for detecting changes of texture in living tissues,” *Lancet*. 1951 Mar 24. 1(6656):655-7.

8. Seznam publikací, které předcházely metodice

Vydra J., Sroubek F., Danes J., Bartos M., Zitova B., and Lukavcova E., „Detection of breast cancer in clinical practice,” *The Journal of MacroTrends in Health and medicine* 2015:1, (3,)81-86 ISSN (2332-7626) E-ISSN (2332-7634).

Vydra J., Sroubek F., Danes J., Bartos M., Zitova B., and Cervenková J., „The role of ultrasound examination in breast cancer diagnostics,” In: Diagnostic, predictive and experimental oncology days Olomouc, 2015.

Vydra J., Sroubek F., Danes J., Bartos M., and Zitova B., „Detection of breast cancer in clinical practice,” The Conference of MacroTrends in Health and medicine, Paris, 2015.

Bílková Z., Bartos M., Schier J., Sroubek F., Zitova B., Vydra J. and Danes J., „Evaluating Spatial Coverage of Breast Examination with Free-hand Ultrasound Transducer“, Bioimaging conference, Porto, 2017.

9. Další relevantní informace a přílohy

- Prohlášení o poskytovateli dotace na projekt a projektu, v rámci kterého metodika vznikla

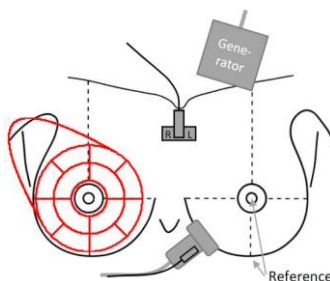
Metodika vznikla v rámci výzkumného projektu č.: TA04011392 s názvem: Časná detekce karcinomu prsu

- souhlas, který byl vydán navrhovateli projektu, že EZU souhlasí s podrobením vzniklé metodiky procesu certifikace (tento souhlas získává navrhovatel projektu před ukončením výzvy, do které má být zamýšlený projekt předložen);
- prohlášení předkladatele metodiky, že zpracovaná metodika nezasahuje do práv jiných osob z průmyslového nebo jiného duševního vlastnictví;
- prohlášení předkladatele, že souhlasí s uveřejněním jeho práce na webových stránkách.

A. Příloha – Souhrnná studie

Studie „Evaluating Spatial Coverage of Breast Examination with Free-hand Ultrasound Transducer“ sledovala intenzitu vyšetření jednotlivých částí prsu u erudovaných lékařů provádějících rutinně systematické vyšetření prsu podle stávajících postupů

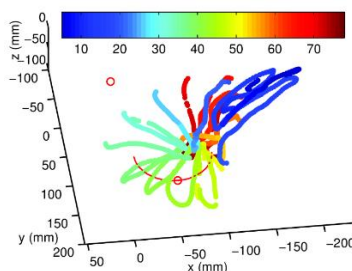
Z důvodu nezávislosti nebyli lékaři seznámeni s cílem studie a měly za úkol provést celková vyšetření obvyklým způsobem. Ultrazvukový přístroj byl vybaven sledovacím zařízením 3D Guidance trakSTAR od firmy NDI (www.ndigital.com). V použité konfiguraci se sledovací zařízení skládá z generátoru elektromagnetického pole umístěného vedle hlavy pacientky a dvou polohových senzorů. Jeden senzor je připevněn na ultrazvukové sondě a druhý (referenční) se lepí na hrud' pacientky (viz. schéma na Obr. 11). Sledovací zařízení nevyžaduje přímou viditelnost senzoru, protože pracuje na bázi elektromagnetického pole, které indukuje proud v senzorech. Umožňuje zaznamenávat 3D polohu a orientaci ultrazvukové sondy s přesností 1,4 mm a rychlostí 80 vzorku za sekundu, což jsou dostačující parametry na sledování vyšetřování prsu.



Obr. 11 Schéma umístění polohových senzorů.

Jediné odklonění od běžného postupu byla povinnost lékaře nalepit referenční polohový senzor v místě jugulární jamky pacientky a před vyšetřením každého prsu označit ultrazvukovou sondou dva referenční body: bradavku a spodní část prsu (viz. Obr. 11). Referenční senzor a dva body slouží k nadefinování soustavy souřadnic, které umožní jednotlivá měření vzájemně porovnávat. Během vyšetření se automaticky ukládá poloha ultrazvukové sondy a video z ultrazvukového přístroje. Video je použito pouze k analýze obrazu a detekování časových okamžiků, kdy sonda není v kontaktu s kůží a nedává smysluplný obraz. Zvolená technologie v kombinaci se zpracováním obrazu tedy umožňuje sledovat trajektorii sondy a měřit „čistý“ čas strávený lékařem na jednotlivých sektorech prsu. Pod pojmem čistý se míní čas, kdy ultrazvukový přístroj generuje správná obrazová data a je to čas oproštěný od nanášení gelu a jiných nutných aktivit během vyšetření, kdy lékař nepoužívá sondu k měření. Ukázka 3D trajektorie sondy při vyšetření levého prsu je na Obr. 12.

T A Č R

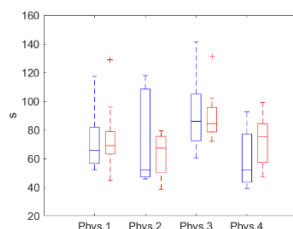


Obr. 12 Ukázka 3D trajektorie ultrazvukové sondy během vyšetření levého prsu: Červené kroužky označují polohu referenčního senzoru na hrudní kosti a referenčního bodu pod prsem. Trajektorie názorně demonstruje systematické vyšetření po výšečích a následné vyšetření axily. Barevné kódování trajektorie označuje „čistý“ čas vyšetření v sekundách zbaven veškerých prodlev spojených s nanášením gelu a jiných aktivit, kdy lékař nepoužívá sondu k měření.

Na každém měření se počítaly dvě veličiny: čas strávený v jednotlivých částech a pravděpodobnost nedostatečného vyšetření. Samotný čas ještě nemusí být indikací kvality vyšetření a z tohoto důvodu se počítala i druhá veličina, která označuje místa, ve kterých sonda nebyla. Referenční body byly použity k prostorovému slícování jednotlivých měření a k následnému vypočítání průměrných hodnot obou veličin.

Celkově bylo vyšetřeno 75 pacientek. Dohromady bylo tedy k dispozici 150 měření levého a pravého prsu. Z těchto měření bylo 50 vyloučeno, protože nesplňovalo kritéria studie: prokazatelně se nejednalo o systematické vyšetření celého prsu nebo během vyšetření došlo k nálezů a vyšetřující lékař byl nucen provádět delší diagnostiku, která neúměrně prodloužila délku vyšetření.

Průměrný čistý čas vyšetření jednoho prsu v závislosti na vyšetřujícím lékařem a straně (modrá – levý a červená – pravý prs) je názorně uveden v grafu na Obr. 13 a analýza byla provedena statistickou metodou ANOVA pro standardní hladinu testu $\alpha=0,05$. Rozdíly v čase vyšetření levého a pravého prsu nejsou statisticky významné (p-hodnota = 0,98). Rozdíly v čase vyšetření jednotlivých lékařů jsou statisticky významné (p-hodnota = 0,0004). Je zajímavé si všimnout, že průměrný čistý čas systematického vyšetření jednoho prsu se pohybuje okolo 80 sekund.

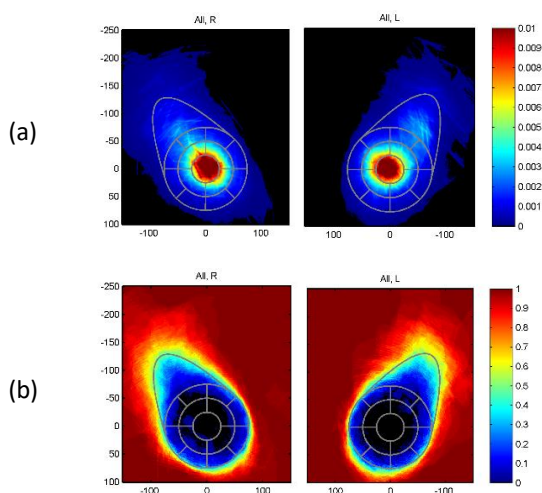


Obr. 13 Průměrný celkový „čistý“ čas vyšetření jednotlivých lékařů zvlášť pro levý (modrá) a pravý (červená) prs. Obdélník ohraničuje 25. a 75. percentil. Ryska uvnitř je medián a krajní rysky označují minimální a maximální hodnoty. Křížek reprezentuje odlehlé hodnoty. Průměrný čas se pohybuje okolo 80 sekund na vyšetření jednoho prsu.

Dále byly vyhodnoceny veličiny průměrný čas strávený v jednotlivých částech prsou a pravděpodobnost nedostatečného vyšetření přes všechna měření nezávisle na lékaři. Z Obr. 14(a) je zřejmé, že nejvíce času lékař stráví v centrální části prsu kolem bradavky. To je dáno technikou

T A Č R

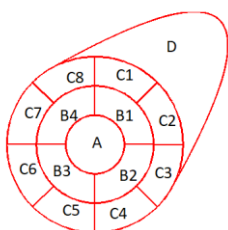
systematického vyšetřování po výsečích, která byla všemi lékaři účastnicími se studie používána. Obr. 14(b) ukazuje pravděpodobnost nedostatečného vyšetření jednotlivých částí prsou. Použité barevné kódování odpovídá různým hodnotám pravděpodobnosti a všechny hodnoty větší než nula indikují potenciální problém, kdy bylo provedeno alespoň jedno vyšetření, během kterého daná oblast nebyla vůbec vyšetřena, k čemuž by nemělo docházet. Nejvíce opomíjené jsou logicky vnější segmenty. Tento výsledek však nelze přeceňovat. Aproximace vnější hranice prsa kružnicí (tj. zadáváním dvou referenčních bodů) není dostatečně přesná a zvláště v okrajových segmentech tak může docházet k nepřesnostem ve vyhodnocování pokrytí. Stejně tak tvar axily je velmi schematický a míru pokrytí v této části nelze tedy hodnotit. Zásadnější je však skutečnost, že i některé oblasti vnitřních segmentů vykazují nenulovou pravděpodobnost nedostatečného pokrytí.



Obr. 14 Průměrný čas strávený v jednotlivých částech prsu v sekundách na mm^2 povrchu (a) a pravděpodobnost nedostatečného vyšetření (b). Nejvíce času stráví vyšetřující lékař v centrální části prsou, viz. červené oblasti v (a). Pravděpodobnost nedostatečného vyšetření je v některých vnitřních segmentech nenulová, viz. modré oblasti v (b).

B. Příloha – Popis softwaru pro sledování pohybu UZ sondy

Cílem programu je umožnit lékaři, provádějícímu ultrazvukové vyšetření pacientky, zaznamenat a vyhodnotit prostorovou trajektorii sondy. Zaznamenaná trajektorie se zobrazuje do jednoduchého schématu, které odpovídá schematickému značení prsu a které je standardně používané při ultrazvukovém vyšetření (viz. Obr. 15). Program z přijatých dat o prostorovém pohybu sondy vyhodnocuje dobu, po kterou se sonda pohybovala v jednotlivých sektorech schématu. Je-li daná oblast dostatečně vyšetřena, obarví se na zelenou barvu. Tak dostane lékař orientační zpětnou vazbu o vyšetření v jednotlivých sektorech.



Obr. 15 Definice oblastí prsu: A - bradavka a okolí bradavky; B1-4 - kvadranty v okolí dvorce horní laterální a dolní laterální, dolní mediální a horní mediální; C1-8 - laterální oblasti prsu jsou rozděleny do 8 oblastí podle hodinových ručiček 1) periferní horní mediolaterální, 2) periferní horní laterální, 3) periferní dolní laterální a 4) periferní dolní mediolaterální, 5) periferní dolní mediomediální a 6) periferní dolní mediální, 7) periferní horní mediální a 8) periferní horní mediomediální; D - axilární výběžek.

Program má dva funkční módy:

- na začátku vyšetření je nutné zavést prostorové vztahy mezi polohou sondy a polohou vyšetřované pacientky. To je tzv. *kalibrační mód*, ve kterém program na obrazovce schematicky provádí lékaře jednotlivými kalibračními kroky.
- po tomto kroku následuje *provozní mód*, ve kterém probíhá samotné vyšetření prsu: v tomto módu se zobrazuje videosignál z ultrazvukové sondy spolu se schematickým nákresem prsu, který se postupně zbarvuje podle pohybů sondy. V tomto nákrese se zároveň vykresluje aktuální poloha sondy. Ovládání programu je přitom nastaveno tak, aby minimalizovalo přidanou zátěž (taskload) lékaře. Většina operací se provádí jednoduchým stiskem tlačítka „Freeze“ na UZ přístroji a lékař nemusí během vyšetření s programem dále interagovat.

Kalibrace systému

Systém sledování polohy sondy se skládá z vysílače elektromagnetického pole, referenčního polohového senzoru, umístěného na sternu pacientky, a polohového senzoru, umístěného na UZ sondě. To je schematicky znázorněno na Obr. 11.

Na začátku vyšetření je třeba nejdříve umístit referenční polohový senzor (přiložený na sternum) a zavést do systému prostorový vztah mezi polohou senzoru na sondě, referenčního senzoru, a 3

T A Č R

kalibračními body na pacientce (bradavka, dolní okraj prsu a axilární zóna). Tento krok, označovaný jako *kalibrace systému*, umožňuje nastavit korektně přepoččet prostorové polohy sondy do roviny schématického nákresu prsu.

Kalibrační postup je názorně uveden na Obr. 16. a probíhá následovně:

1. Umístění referenčního polohového senzoru

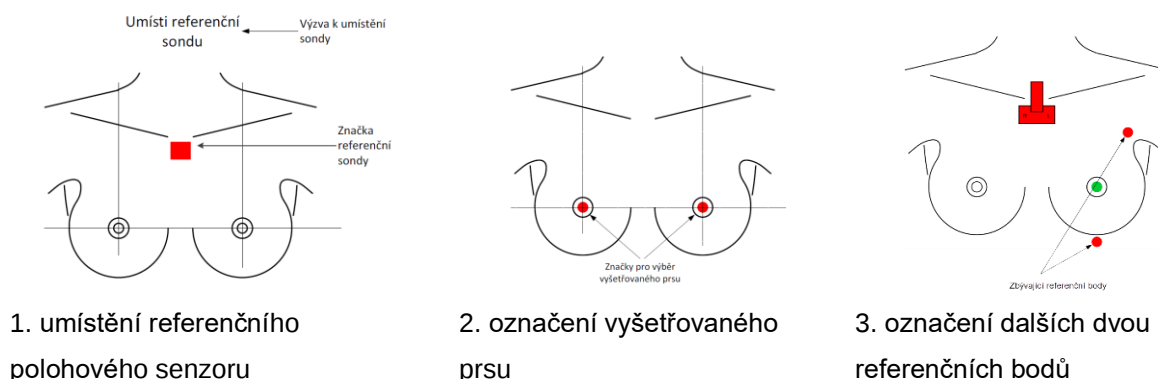
- program zobrazí obrazovku se schématickým nákresem hrudníku pacientky
- v tomto nákrese je orientačně vyznačena poloha referenčního senzoru a zobrazena výzva k jeho umístění na sternum pacientky
- lékař umístí na pacientku referenční přijímač
- poklepáním (dvojklik) na tlačítko „Freeze“ na UZ zařízení o tom informuje program

2. Výběr vyšetřovaného prsu

- na schématu se zvýrazní poloha mammil (prsních bradavek)
- lékař umístí UZ sondu na jednu z mammil
- poklepáním na tlačítko *Freeze* na UZ zařízení informuje program o tom, který prs chce vyšetřovat

3. Označení dvou referenčních bodů na prsu

- na schématu se u vybraného prsu zvýrazní dva referenční body (pod prsem a v axile)
- lékař postupně umístí UZ sondu na referenční body a vždy polohu potvrdí poklepáním na tlačítko *Freeze*
- kalibrace systému pro vyšetření je tímto dokončena



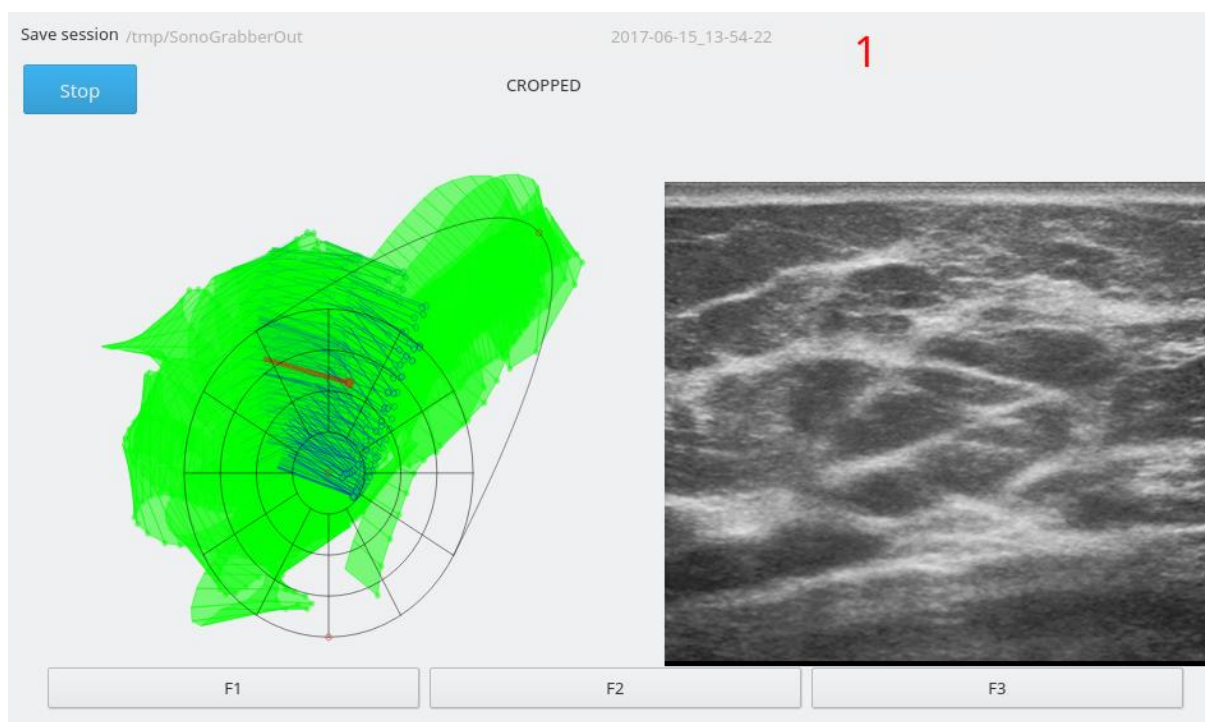
Obr. 16 Kalibrační postup: 1. umístění referenčního polohového senzoru na sternum pacientky; 2. označení mammily UZ sondou pro výběr vyšetřovaného prsu; 3. označení dalších dvou referenčních bodů UZ sondou pro definování rozměrů vyšetřované oblasti.

Provozní mód

Po provedení kalibrace se systém přepne do provozního módu. V tomto módu se zobrazuje jednak obraz snímáný sondou a zároveň s ním schématický nákras prsu, který se postupně zbarvuje podle kvality skenování jednotlivých sektorů.

T A Č R

Okno aplikace se tedy rozdělí na dvě části, v jedné je schematický nákres prsu, tak jak byl popsán dříve a ve druhé samotný obraz z UZ sondy (viz. Obr. 17)



Obr. 17 Obrazovka v provozním módu.

Na schematickém nákrese se průběžně zobrazuje značka (modrá čárka s kolečkem), znázorňující aktuální pozici a orientaci sondy. Pro lepší orientaci jsou vidět i pozice sondy v několika předchozích časových okamžicích a tyto značky z nákresu postupně mizí. Průběžně se detekuje, zda sonda snímá obraz (tj. zda je přiložena k povrchu těla). V případě jejího oddálení se značka sondy ve schématu zastaví v poslední známé pozici. Vyšetření jednoho prsu se ukončí stiskem tlačítka „Ukonči vyšetření“ nebo „Kalibruj druhý prs“. V druhém případě se program vrátí zpět na kalibrační obrazovku pro zaměření polohy druhého prsu.

Během vyšetření se v aplikaci při stisku tlačítka „Freeze“ objeví modální dialogové okno, které dává na výběr tři akce:

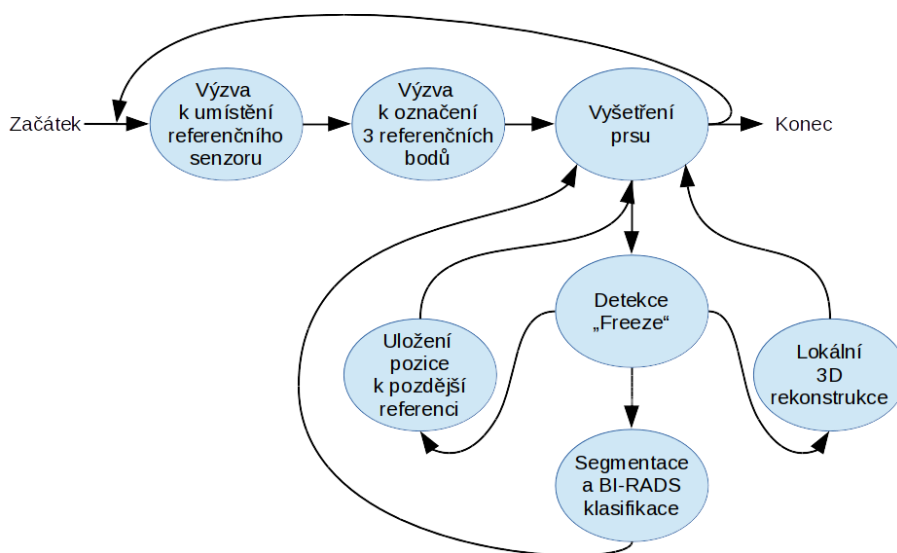
- 1) Uložení aktuální pozice sondy a odpovídajícího UZ snímku pro pozdější referencování nebo anotování. Toto je implicitní volba, která bude vybrána, bude-li lékař pokračovat dál ve vyšetřování opětovným stisknutím tlačítka „Freeze“. Do schematického nákresu se zakreslí značka (červená čárka s kolečkem) reprezentující pozici a orientaci sondy uloženého snímku.
- 2) Poloautomatická segmentace léze a výpočet příznaku pro BIRADS klasifikaci. Na aktuálním UZ snímku má lékař možnost označit místo léze a program automaticky spočítá příznaky [Lamia], které ulehčí lékařům klasifikaci podle BIRADS.

T A Č R

- 3) Lokální 3D rekonstrukce. V okolí aktuální pozice sondy se vybere několik UZ snímku (cca 100 snímků) a zrekonstruuje se z nich 3D obraz tkáně. 3D obraz je pak možné vizualizovat v externím prohlížeči (např. 3DSlicer).

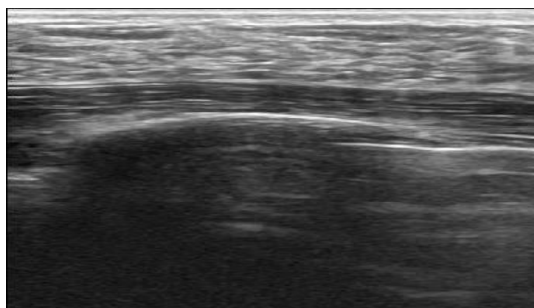
Stavové přechody programu

Přechody mezi jednotlivými stavy systému (kalibrační sekvence, provozní mód – stav „Vyšetření prsu“, návrat do kalibrace) jsou znázorněny ve stavovém diagramu na Obr. 18. Program průběžně zaznamenává pozice UZ sondy a kromě analýzy pozice analyzuje též výstupní videosignál z UZ zařízení. Tato analýza slouží k automatické detekci stisku tlačítka „Freeze“ a dále k detekci oddálení sondy od pokožky a měření rychlosti pohybu sondy při vyšetřování. Tyto informace jsou potom využívány k řízení logiky chodu programu a vybarvování oblastí, které byly sondou navštíveny.

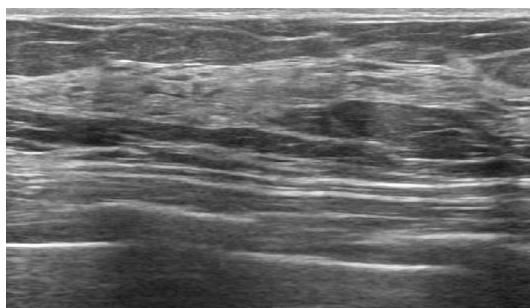


Obr. 18 Stavový diagram programu

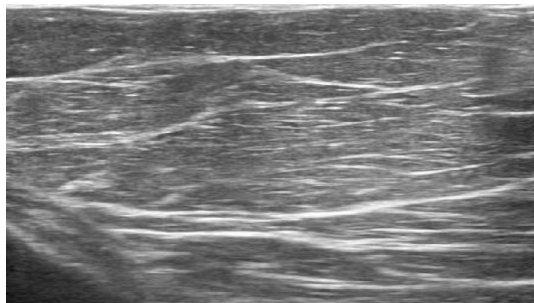
C. Příloha – Obrazová příloha jednotlivých typů lézí



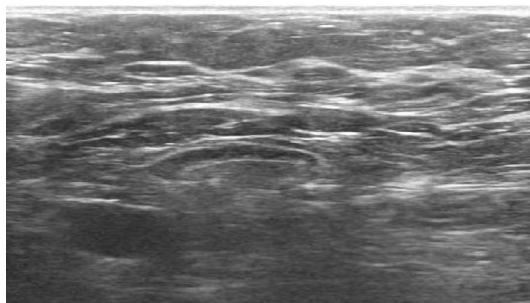
(1) Prs žlazový typ: Normální nález



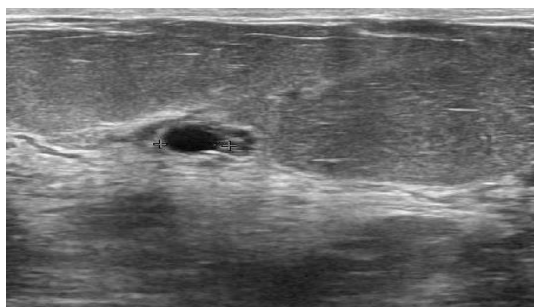
(2) Prs žlazově tukový typ: Normální nález



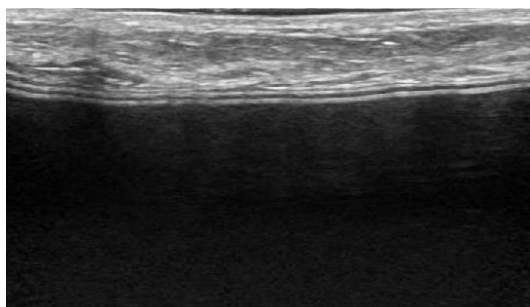
(3) Prs tukový typ: Normální nález



(4) Normální uzlina v axile: Normální nález

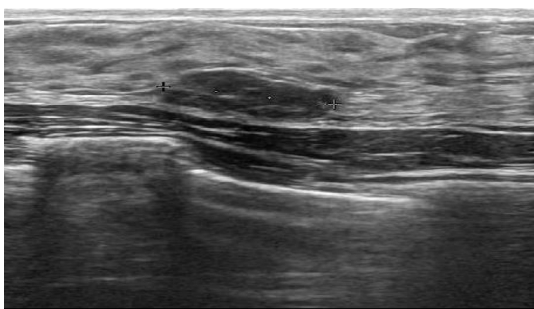


(5) Cysta: Benigní nález



(6) Implantát: Po rekonstrukci prsu, normální nález

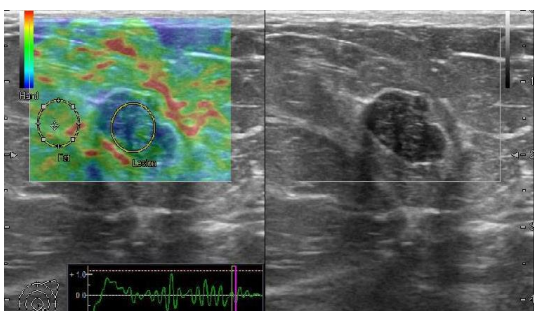
T A Č R



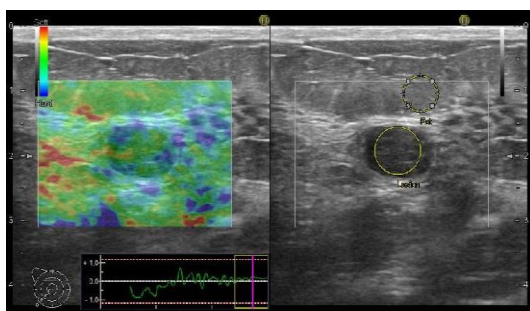
(7) **Fibroadenom:** Hladce ohraničený bez halo, benigní nález



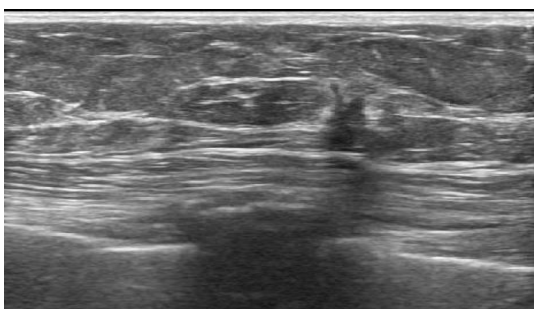
(8) **Fibroadenom:** Benigní nález



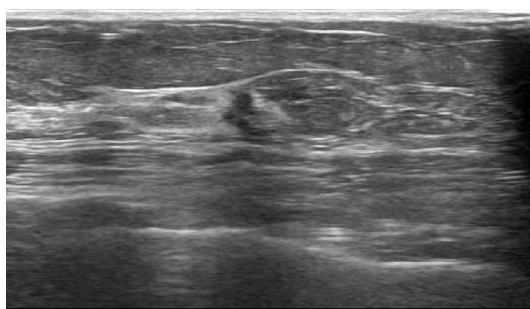
(9) **Fibroadenom - elastografie:** Lehce nepravidelný ale elastografie nízké FLR



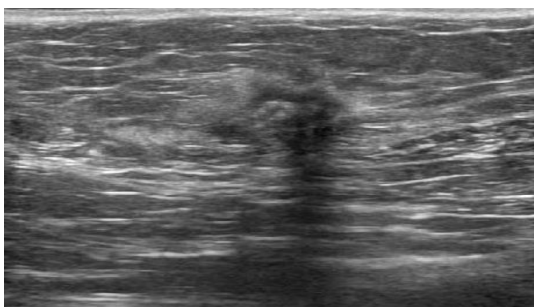
(10) **Fibroadenom – elastografie:** Měkký na elastografii



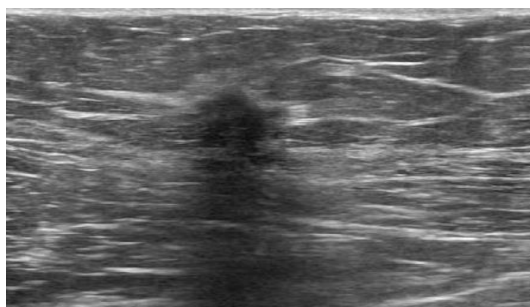
(11) **Karcinom prsu:** Větvení, halo



(12) **Karcinom prsu:** Malý karcinom prsu

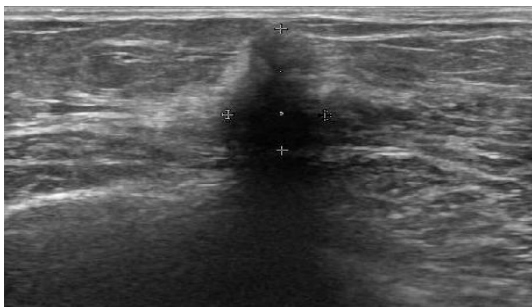


(13) **Karcinom prsu**

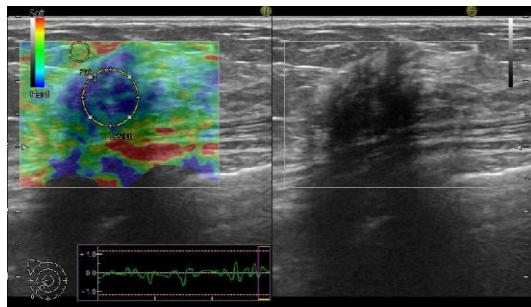


(14) **Karcinom prsu**

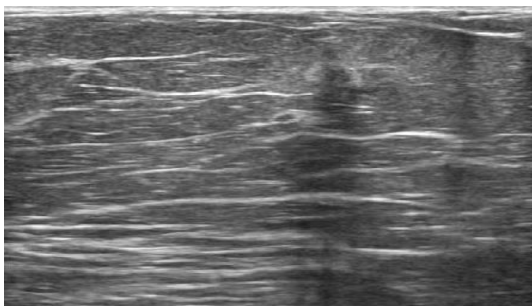
T A Č R



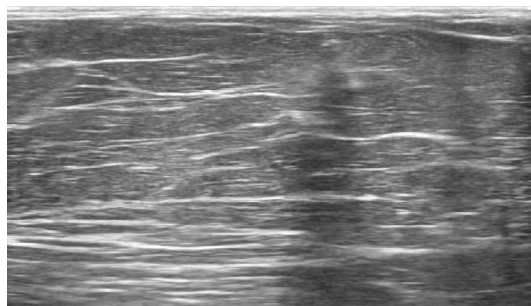
(15) **Malý karcinom:** *Rozměry a hyperechogenní lem*



(16) **Karcinom prsu – elastografie:** *Spikuly, větvení a tuhý na elastografii*



(17) **Malý karcinom:** *Dobrá fokusace do úrovně tumoru*



(18) **Malý karcinom:** *Neostrý, špatná focuzace do hloubky*