

VLIV PORUCH SONDY SONOGRAFU NA KVALITATIVNÍ PARAMETRY ULTRAZVUKOVÉHO B-OBRAZU

Jaromír Vachutka¹, Ladislav Doležal^{1,2}

¹Ústav lékařské biofyziky, Lékařská fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci, ČR

²Laboratoř pro výzkum medicínských aplikací ultrazvuku, Univerzita Palackého v Olomouci, ČR

Souhrn

Základním předpokladem pro získání vysoce kvalitního ultrazvukového obrazu je bezchybně pracující ultrazvukový zobrazovací systém. K nejdůležitějším součástem sonografu patří vyšetřovací sondy, které jsou však podle nedávných poznatků náchylné k různým typům poruch jako jsou delaminace, přerušeni kabelu nebo snížená citlivost či úplná ztráta funkce jednotlivých měničů elektronických sond. V důsledku těchto poruch dochází k postupným změnám ultrazvukového obrazu, které mohou být při běžném provozu obtížně zachytitelné. Naší snahou je zjistit, jak jednotlivé poruchy sond ovlivňují kvalitu získané diagnostické informace. Tato práce popisuje vliv přesně definované poruchy lineární elektronické sondy na kvalitativní parametry ultrazvukového B-obrazu. Poruchy sondy byly simulovány pomocí ultrazvukového systému Sonix RP, jehož software umožňuje vypínat jednotlivé měniče elektronických sond. Kvalitativní parametry ultrazvukového B-obrazu byly měřeny s využitím fantomu Gammex RMI 403GS LE. Pomocí sondy nepoškozené a sondy s různým stupněm simulovaného poškození (1–20 vypnutých měničů) jsme vytvářeli obrazy jednotlivých cílů fantomu. V uložených digitálních B-obrazech jsme hodnotili axiální a laterální rozlišení, přesnost vertikálních měření a uniformitu obrazu.

Klíčová slova

ultrazvuk, B-obraz, porucha sondy, kvalita obrazu

Abstract

The proper function of the ultrasound imaging system is the basic precondition for the obtaining of high quality diagnostic information. Ultrasound probe is one of the most important parts of the ultrasound imaging system. However, the incidence of defective ultrasound probes is relatively high. The common transducer errors are delamination, break in the cable and weak or dead elements. These defects result in gradual changes of the ultrasound image, which can be difficult to detect during normal operation. Our effort is to find out how a given probe failure affects the quality of diagnostic information. The aim of this work is to describe the effect of exactly defined probe failure on the quality parameters of ultrasound B-mode image. The probe failures were simulated using ultrasound imaging system Sonix RP. The software of this device enables to turn off the elements in the probe. The quality parameters of ultrasound B-mode images were measured using Precision Multi-Purpose Gray Scale Test instrument Gammex RMI 403GS LE. We scanned this phantom with faultless and defected linear probe (1–20 dead elements). We evaluated axial resolution, lateral resolution, accuracy of vertical distance measurements and image uniformity in the stored B-mode images of the phantom.

Keywords

ultrasound, B-mode, probe failure, image quality

Úvod

Kvalita diagnostické informace získané pomocí ultrasonografických metod závisí na celé řadě faktorů, jako jsou schopnosti a zkušenosti vyšetřující osoby nebo akustické parametry tkání vyšetřované osoby. Nicméně základním předpokladem pro získání vysoce kvalitního ultrazvukového obrazu je bezchybně pracující diagnostický ultrazvukový systém. K nejdůležitějším součástem sonografu patří vyšetřovací sondy, které jsou však podle nedávných poznatků náchylné k různým typům poruch, jako jsou delaminace, přerušení kabelu nebo snížená citlivost či úplná ztráta funkce jednotlivých měničů elektronických sond. V roce 2009 testovala švédská studie s využitím měřicího zařízení Sonora First Call Test System správnou funkci vyšetřovacích sond běžně používaných v klinické praxi [1]. Bylo prokázáno, že 39,8 % z 676 testovaných sond vykazovalo některou z výše uvedených poruch. Podobná finská studie zjistila ve vzorku 151 sond 17 % poškozených [2].

V důsledku poruch sond dochází k postupným změnám ultrazvukového obrazu, které mohou být, na rozdíl od změn skokových, při běžném provozu obtížně zachytitelné. Ztráta kvality ultrazvukového obrazu vede ke vzrůstu interpretačního rizika, které vzniká v důsledku chybně provedeného nebo chybně popsaného ultrazvukového obrazu [3]. Proto je nezbytné pravidelně kontrolovat správnou funkci ultrazvukových diagnostických systémů. Příklady tzv. „quality assurance“ programů jak pro zobrazování ultrazvukem, tak pro Dopplerovské módy můžeme nalézt v literatuře [4, 5, 6, 7, 8, 9]. Nicméně v České Republice doposud neexistuje žádný systém kontroly ultrazvukových přístrojů, který by umožňoval eliminovat objektivní příčiny interpretačních rizik.

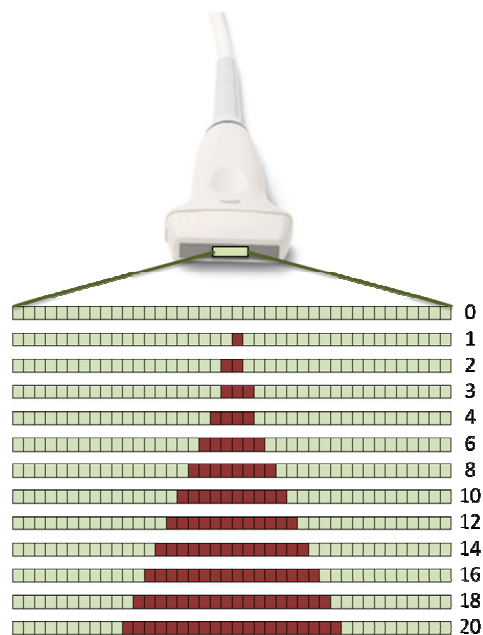
Vedle vlastního zjištění poruchy sondy je ovšem nutné posoudit i míru její závažnosti. Naší snahou je zjistit, jak jednotlivé poruchy sond ovlivňují kvalitu získané diagnostické informace. Tato práce popisuje vliv přesně definované poruchy lineární elektronické sondy na základní kvalitativní parametry ultrazvukového B-obrazu.

Materiál a metody

Simulace poruchy sondy

Poruchy sondy byly simulovány s pomocí diagnostického ultrazvukového systému Sonix RP, který je vybaven softwarem umožňujícím vypínat jednotlivé elektroakustické měniče (piezoelektrické krystaly) multielementových elektronických sond. Všechna měření byla prováděna pomocí lineární sondy L14-5/38, která je tvořena 128 měniči se střední frekvencí 7,2 MHz. Měření byla prováděna za tzv. „worst case conditions“, kdy porucha sondy byla vždy situována bezprostředně nad oblastí zájmu. Jako modelové

poruchy sondy jsme použili skupiny čítající 1–20 vypnutých měničů (Obr. 1).



Obr. 1: Simulace poruchy sondy.

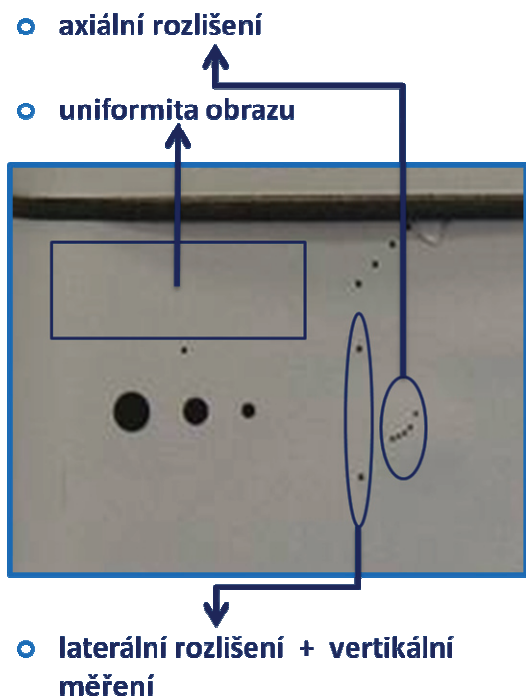
Ultrazvukový fantom

Kvalitativní parametry ultrazvukových B-obrazů byly měřeny s využitím standardního ultrazvukového fantomu Gammex RMI 403GS LE (Obr. 2).



Obr. 2: Fantom Gammex RMI 403GS LE.

Fantom obsahuje cíle pro určování celé řady kvalitativních parametrů. Pro naše měření jsme využili cíle sloužící k hodnocení axiálního a laterálního rozlišení, přesnosti vertikálního měření a dále jsme pomocí tohoto fantomu posuzovali uniformitu obrazu (Obr. 3).



Obr. 3: Vybrané cíle pro určování kvalitativních parametrů ultrazvukových B-obrazů.

Pomocí sondy nepoškozené a sondy s různým stupněm simulovaného poškození (1–20 vypnutých měničů) jsme vytvářeli obrazy jednotlivých cílů fantomu. Při měření s nepoškozenou sondou jsme optimalizovali parametry ultrazvukového systému pro získání co nejkvalitnějšího obrazu (především jsme umístili ohniskovou oblast do hloubky, ve které se nacházely měřené cíle, a ovladače pro časové řízení zisku jsme nastavili tak, aby průměrný stupeň šedi pozadí obrazu byl ve všech hloubkách stejný). Obr. 4 ukazuje příklad získaného ultrazvukového B-obrazu.

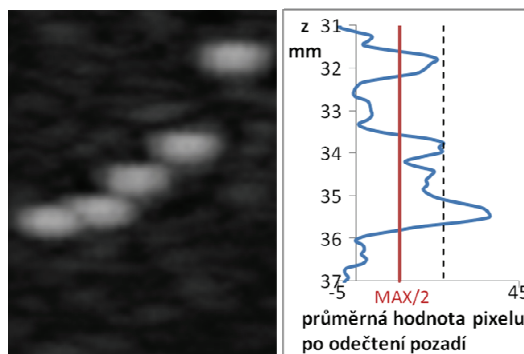


Obr. 4: Ultrazvukový B-obraz fantomu.

Při měření se sondou obsahující vypnuté měniče nedocházelo k žádné změně polohy sondy ani k žádné změně parametrů ultrazvukového systému. Toto experimentální uspořádání zajišťuje, že zkoumané změny v ultrazvukových obrazech jsou způsobeny výhradně simulovaným poškozením sondy. Získané 8 bitové šedotónové digitální obrazy byly vyhodnocovány metodami obrazové analýzy.

Metodika hodnocení ultrazvukových B-obrazů

Axiální rozlišení se u použitého fantomu určuje prostřednictvím sady 5 bodových cílů, které jsou od sebe v axiálním směru vzájemně vzdáleny o 2 mm, 1 mm, 0,5 mm a 0,25 mm. Axiální rozlišení je potom dáno nejmenší vzdáleností, která umožní, aby byly dva sousední body rozlišitelné. Pro objektivní určení axiálního rozlišení jsme v ultrazvukovém obraze vybrali pás široký 71 pixelů procházející svisle celým obrazem, který obsahoval všech 5 cílů. V rámci tohoto pásu jsme zprůměrovali hodnoty stupně šedi u pixelů, které ležely ve stejných řádcích. Tím jsme získali závislost průměrné hodnoty stupně šedi na vertikální poloze v obraze, kterou jsme ztotožnili s osou z. V rámci tohoto profilu jsme potom v oblastech neobsahujících žádné cíle určili průměrnou hodnotu pozadí, kterou jsme následně odečetli od jednotlivých hodnot profilu. Obr. 5 ukazuje zvětšenou část B-obrazu obsahující příslušnou skupinu cílů fantomu a odpovídající část vypočteného profilu po odečtení pozadí.

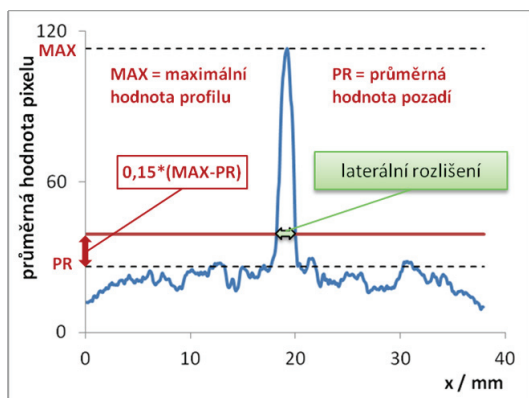


Obr. 5: Určení axiálního rozlišení.

Dva body jsme považovali v axiálním směru za vzájemně rozlišitelné, pokud vypočtená hodnota profilu (po odečtení pozadí) mezi těmito body poklesla alespoň na jednu polovinu oproti maximum profilu odpovídajícím jednotlivým bodovým cílům (v obrázku označeno MAX/2).

Laterální rozlišení se určuje pomocí jednotlivých bodových cílů, které se nacházejí v různých hloubkách pod povrchem fantomu. Laterální rozlišení jsme určovali v hloubce 20 mm a v hloubce 40 mm. Standardně se laterální rozlišení určuje jako šířka obrazu bodového cíle měřená pomocí kaliperu ultrazvukového systému. Pro přesnější změření šířky obrazu cíle jsme v ultrazvukovém obraze vybrali pás

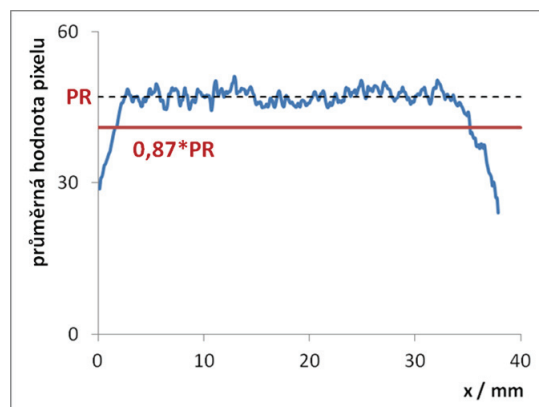
široký 7 pixelů procházející vodorovně celým obrazem v hloubce odpovídající poloze cíle. V rámci tohoto pásu jsme zprůměrovali hodnoty stupňů šedi u pixelů, které ležely ve stejných sloupcích, čímž jsme získali závislost průměrné hodnoty stupně šedi na horizontální poloze v obraze, kterou jsme ztotožnili s osou x . V tomto profilu jsme šířku obrazu bodového cíle určovali jako šířku maxima odpovídajícího danému bodu v 15 % jeho výšky, což při použitím zpracování obrazu dobře odpovídá zrakovému vjemu. Schematicky je měření laterálního rozlišení ukázáno na Obr. 6.



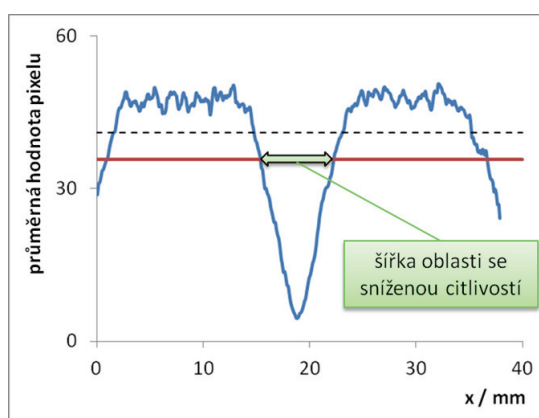
Obr. 6: Určení laterálního rozlišení.

Přesnost vertikálních měření se určuje pomocí stejných bodových cílů jako laterální rozlišení. Vzdálenost obrazů cílů jsme určovali jako vzdálenost maxim v profilu, který vznikl z pásu širokého 21 pixelů procházejícího svisle celým obrazem fantomu. Postup výpočtu jednotlivých hodnot profilu byl obdobný jako v předcházejícím případě.

Stanovení uniformity obrazu vychází z předpokladu, že v oblastech fantomu, kde se nevyskytují žádné cíle, by měl být průměrný stupeň šedi v jednotlivých sloupcích nebo řádcích pixelů stejný. Uniformitu obrazu jsme hodnotili pouze v horizontálním směru, protože u dané poruchy sondy nebyla ztráta uniformity ve vertikálním směru očekávána. V ultrazukovém obraze jsme tedy vybrali oblast širokou 141 pixelů procházející vodorovně celým obrazem, která neobsahovala žádné cíle. V rámci této oblasti jsme zprůměrovali hodnoty stupňů šedi u pixelů, které ležely ve stejných sloupcích, čímž jsme získali závislost průměrné hodnoty stupně šedi na horizontální poloze v obraze (opět ztotožněna s osou x). V rámci získaného profilu jsme určili průměrnou hodnotu (v obrázku označena PR) a hledali jsme oblasti, ve kterých hodnota poklesla pod hladinu 87 % průměrné hodnoty, jak ukazuje Obr. 7. Hladina 87 % průměrné hodnoty byla určena experimentálně tak, aby metoda pro určování ztráty uniformity byla co nejcitlivější, ale zároveň aby nedocházelo k falešně pozitivním výsledkům. V případě, že byla nalezena oblast, kde došlo ke ztrátě uniformity obrazu, určovali jsme dále šířku oblasti se sníženou citlivostí (Obr. 8).



Obr. 7: Hodnocení uniformity obrazu.

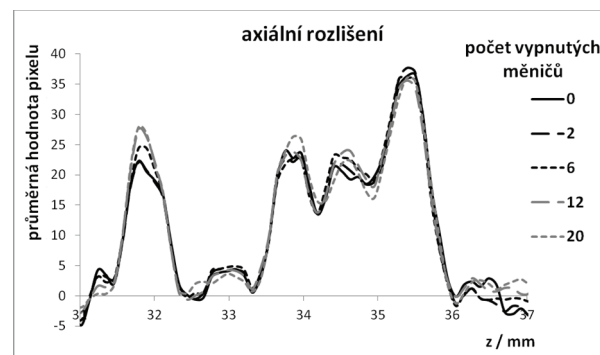


Obr. 8: Určení šířky oblasti se sníženou citlivostí.

Výsledky a diskuze

Axiální rozlišení

Obr. 9 ukazuje vybrané profily vypočtené z části ultrazukového obrazu obsahující cíle pro určení axiálního rozlišení.

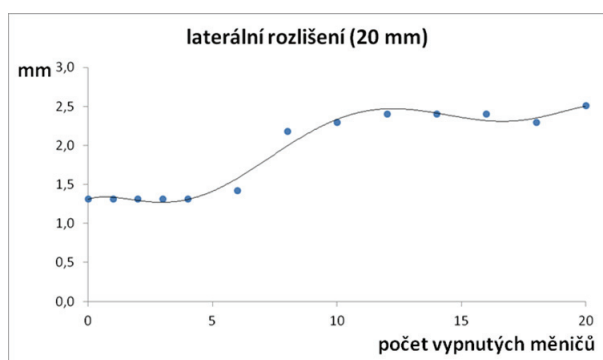


Obr. 9: Axiální rozlišení – vypočtené profily po odečtení pozadí.

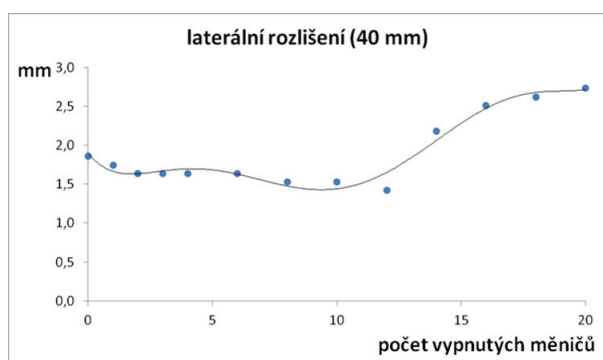
Z grafu je patrné, že u nepoškozené sondy byly bezpečně rozeznatelné bodové cíle vzdálené o 2 mm. Cíle vzdálené v axiálním směru o 1 mm byly na hranici rozlišitelnosti a ostatní cíle byly vzájemně nerozlišitelné. Můžeme tedy konstatovat, že axiální rozlišení je u námi použité sondy při daném nastavení parametrů ultrazvukového systému přibližně 1 mm. Na obrázku si dále můžeme povšimnout, že pro sondy s různě závažným simulovaným poškozením se vypočtené profily prakticky neliší od profilu vypočteného pro sondu nepoškozenou. Axiální rozlišení není tedy tímto typem poruchy sondy téměř vůbec ovlivněno.

Laterální rozlišení

Závislost laterálního rozlišení na počtu vypnutých měničů je pro hloubku 20 mm pod povrchem fantomu vynesena v grafu na Obr. 10 a pro hloubku 40 mm pod povrchem fantomu v grafu na Obr. 11.



Obr. 10: Laterální rozlišení v hloubce 20 mm – závislost na počtu vypnutých měničů.



Obr. 11: Laterální rozlišení v hloubce 40 mm – závislost na počtu vypnutých měničů.

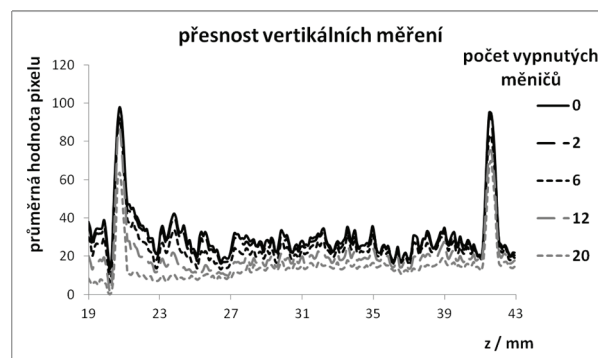
Vidíme, že u nepoškozené sondy je laterální rozlišení v hloubce 20 mm rovno 1,3 mm. V případě 6 a méně vypnutých měničů nedochází k výrazné změně tohoto parametru. U 8 vypnutých měničů jsme ovšem zjistili skokové snížení laterálního rozlišení a u 20 vypnutých měničů jsme určili jeho hodnotu na 2,5 mm, což oproti nepoškozené sondě odpovídá změně o 91 %.

V hloubce 40 mm pod povrchem modelu jsme pozorovali podobnou závislost laterálního rozlišení na počtu vypnutých měničů. U nepoškozené sondy dosahovalo laterální rozlišení hodnoty 1,9 mm, v případě 12 a méně vypnutých měničů nedocházelo k jeho výraznější změně a pro 20 vypnutých měničů jsme jeho hodnotu určili na 2,7 mm, což odpovídá změně o 47 %. Z naměřených dat můžeme usoudit, že změna laterálního rozlišení je tím výraznější, čím lépe je paprsek u nepoškozené sondy fokusován (v našem případě v hloubce 20 mm).

Změny laterálního rozlišení v důsledku rostoucího počtu vypnutých měničů úzce souvisí se změnami profilu ultrazvukového paprsku. Snížení laterálního rozlišení odpovídá rozšíření ultrazvukového paprsku v laterálním směru. Weigang et al. experimentálně prokázali, že toto rozšíření paprsku je způsobeno relativním nárůstem amplitudy tzv. postranních laloků oproti hlavnímu laloku paprsku [10]. Zároveň však s rostoucím počtem vypnutých měničů dochází ke snížení amplitudy hlavního laloku a tím i ke snížení citlivosti ultrazvukového systému. Kombinace obou uvedených jevů může paradoxně vést v případě menšího počtu vypnutých měničů ke zlepšení laterálního rozlišení, jak ukazují výsledky naměřené v hloubce 40 mm.

Přesnost vertikálních měření

Obr. 12 ukazuje vybrané profily, pomocí kterých jsme určovali vzdálenost bodových cílů ve vertikálním směru.

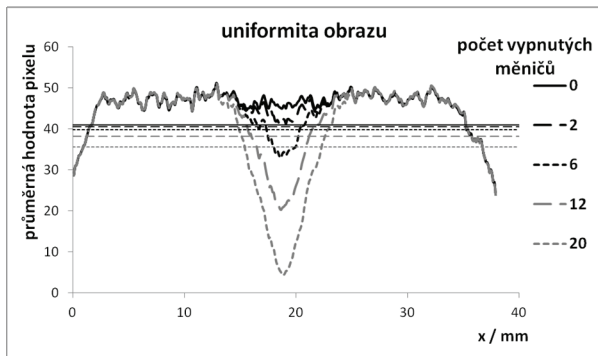


Obr. 12: Přesnost vertikálních měření – vypočtené profily.

Z obrázku je jasně patrné, že poloha maxim odpovídajících obrazům bodových cílů se v závislosti na rozsahu simulované závady nemění. Přesnost vertikálních měření tedy není tímto typem poruchy sondy prakticky vůbec ovlivněna. Deklarovaná vzdálenost použitých cílů je pro daný model 1,94 cm, pomocí naší metody zpracování obrazu jsme naměřili vzdálenost 2,08 cm. Maximální změna polohy, kterou se nám během všech měření podařilo určit, odpovídala rozměru jednoho pixelu, tedy 109 μm .

Uniformita obrazu

Do grafu na obr. 13 jsou vyneseny vybrané profily, ze kterých jsme určovali vliv vypnutých měničů na uniformitu obrazu. V grafu jsou také zahrnuty hladiny, které sloužily k rozlišení oblastí se sníženou citlivostí a k případnému určení jejich šířky. Závislost šířky oblasti se sníženou citlivostí na počtu vypnutých měničů je vynesena v grafu na Obr. 14.



Obr. 13: Uniformita obrazu – vypočtené profily.



Obr. 14: Šířka oblasti se sníženou citlivostí – závislost na počtu vypnutých měničů.

Výsledky měření ukazují, že vliv zkoumané poruchy sondy na uniformitu obrazu je mnohem výraznější než u ostatních hodnocených parametrů. Oblast se sníženou citlivostí se nám při daném nastavení ultrazukového přístroje podařilo detekovat již v případě 3 vypnutých měničů, přičemž pouhým okem jsou změny v ultrazukovém obraze jasně zřetelné až od 6 vypnutých měničů.

Pokud bychom tedy chtěli fantomová měření využít pro zjišťování poruch sondy, jeví se určování ztráty uniformity obrazu jako nejspolehlivější metoda. Postup výpočtu profilu je totiž velmi jednoduchý a metoda je dostatečně citlivá i v případě malého počtu nefunkčních měničů. Podařilo se nám prokázat, že při vhodném nastavení ultrazukového systému lze ztrátu uniformity obrazu detekovat již při jediném vypnutém měnič. Metoda je podle našich zjištění nejcitlivější v případě, že se ohnisko sondy nachází mimo zkouma-

nou oblast obrazu a zesílení přijímače je nastaveno na relativně nízkou hodnotu.

Závěr

Výsledky našich měření ukazují, že axiální rozlišení ani přesnost vertikálních měření nejsou zkoumaným typem poškození sondy prakticky vůbec ovlivněny. Naopak s rostoucím počtem vypnutých měničů dochází k postupnému snížení laterálního rozlišení a ztrátě uniformity obrazu. K výraznějším změnám v ultrazukovém obraze dochází od 6 vypnutých měničů. Vzhledem k potvrzenému negativnímu vlivu poruch sondy na kvalitu ultrazukového obrazu považujeme zavedení kontroly ultrazukových přístrojů za nezbytný krok vedoucí k eliminaci objektivních příčin interpretačních rizik a tedy ke zvýšení kvality a bezpečnosti ultrazukových vyšetření v České Republice.

Dalším cílem naší experimentální práce bude detailní studium změny profilu ultrazukového paprsku v závislosti na počtu vypnutých měničů, které umožní lépe vysvětlit a předpovídat vliv nefunkčních elektroakustických měničů vyšetřovacích sond na kvalitativní parametry ultrazukových obrazů.

Poděkování

Tato práce byla podpořena projektem LF_2012_019.

Literatura

- [1] Mårtensson, M. et al. *High Incidence of Defective Ultrasound Transducers in Use in Routine Clinical Practice*. European Journal of Echocardiography, 2009, vol. 10, no. 3, p. 389-394.
- [2] Sipilä, O., Mannila, V., Vartiainen, E. *Quality Assurance in Diagnostic Ultrasound*. European Journal of Radiology, 2011, vol. 80, no. 2, p. 519-525.
- [3] Hrazdira, I., Hlinomazová, Z. *Úskali současné ultrasonografie*. Česká radiologie, 2006, vol. 60, no. 4, p. 223-227.
- [4] Thijssen, JM., Weijers, G., de Korte, CL. *Objective Performance Testing and Quality Assurance of Medical Ultrasound Equipment*. Ultrasound in Medicine and Biology, 2007, vol. 33, no. 3, p. 460-471.
- [5] Thijssen, JM., van Wijk, MC., Cuypers MHM. *Performance Testing of Medical Echo/Doppler Equipment*. European Journal of Ultrasound, 2002, vol. 15, no. 3, p. 151-164.
- [6] Gibson, NM., Dudley, NJ., Griffith, K. *A Computerised Quality Control Testing System for B-mode Ultrasound*. Ultrasound in Medicine and Biology, 2001, vol. 27, no. 12, p. 1697-1711.
- [7] Dudley, NJ. et al. *A Review of Two Alternative Ultrasound Quality Assurance Programmes*. European Journal of Ultrasound, 2001, vol. 12, no. 3, p. 233-245.
- [8] Doležal, L., Kollmann, C. *Patient - Ultrasound Interaction: latest developments and efforts in medical ultrasound safety topics and bio-effects research*. 1st ed. Olomouc: Palacký University Olomouc, 2010, 173 s. ISBN 978-80-244-2656-3.
- [9] Sperrin, MW., Mutch, S. *The Assessment of a Doppler Ultrasound Phantom with an Aim to Establish a Routine Quality Assurance Programme*. European Journal of Ultrasound, 1996, vol. 4, no. 1, p. 63-67.

- [10] Weigang, B. et al. *The Methods and Effects of Transducer Degradation on Image Quality and the Clinical Efficacy of Diagnostic Sonography*. Journal of Diagnostic Medical Sonography, 2003, vol. 19, no. 1, p. 3-13.

*Mgr. Jaromír Vachutka
Ústav lékařské biofyziky, Lékařská fakulta
Univerzita Palackého v Olomouci
Hněvotinská 3, 775 15 Olomouc*

*E-mail: jaromir.vachutka@upol.cz
tel.: +420 585 632 113*