

ULTRAZVUKOVÝ NAVIGAČNÍ SYSTÉM: FÚZE UZ A CT VYŠETŘENÍ – ZKUŠENOSTI PRACOVIŠTĚ FN BRNO

THE NAVIGATION SYSTEM FOR ULTRASOUND: EXPERIENCES FROM THE UNIVERSITY HOSPITAL BRNO

původní práce

**Hana Petrášová
Jakub Foukal**

Radiologická klinika LF MU a FN,
Brno

Přijato: 15. 12. 2016.

Korespondenční adresa:

MUDr. Jakub Foukal
Radiologická klinika LF MU a FN
Jihlavská 20, 625 00 Brno
e-mail: foukal.jakub@fnbrno.cz

Hlavní stanovisko práce

Ultrazvukové navigační systémy lze využít k fúzi UZ s předchozím CT nebo MR vyšetřením a dále umožňují při použití speciálního instrumentária lepší sledování zaváděných nástrojů.

SOUHRN

Petrášová H, Foukal J. Ultrazvukový navigační systém: fúze UZ a CT vyšetření – zkušenosti pracoviště FN Brno

Cíl: Zhodnotit možnosti využití ultrazvukového navigačního systému pro některé diagnostické a intervenční výkony v oblasti břicha.

Metodika: Navigační systém byl použit u 40 pacientů k provedení fúze mezi ultrazvukovým a předchozím CT vyšetřením. Celkově jsme provedli 27 diagnostických a 13 intervenčních výkonů. Diagnostická vyšetření sloužila k nalezení ložisek jater a ledvin detekovaných na předchozím CT vyšetření v UZ obraze a k zhodnocení jejich povahy. Intervenční výkony zahrnovali provedení biopsie jaterního ložiska s použitím navigovaného instrumentária.

Výsledky: Fúze CT a UZ vyšetření se zdařila u všech 40 pacientů. Při diagnostických vyšetřeních jater se podařilo dohledat a určit biologickou povahu u 18 z celkového počtu 19 ložisek. Při diagnostickém fúzním vyšetření ledvin se podařilo dohledat a určit povahu u šesti z celkového počtu osm ložisek. U jednoho ložiska jater a dvou ložisek ledvin se detekce léze metodou fúze nezdařila (ani v nativním, ani v postkontrastním zobrazení). Ze 13 provedených biopsií bylo všech 13 konkluzivních, výtěžných, vyskytli se však dva případy falešně negativního výsledku.

Závěr: Ultrazvukové navigační systémy představují relativní novinku v radiologii.

Major statement

Ultrasound navigation systems can be used for fusion of US with previous CT or MR examination and allow better monitoring of inserted instruments if used with special instruments.

SUMMARY

Petrášová H, Foukal J. The navigation system for ultrasound: experiences from The University Hospital Brno

Aim: To evaluate the possibility of using ultrasound navigation system for certain diagnostic and interventional procedures in the abdominal area.

Method: The navigation system was used to fuse US examination and previously done CT examination in 40 patients. Overall, we performed 27 diagnostic and 13 interventional examinations. Diagnostic examinations covered localization and characterizations of focal liver lesions or kidney lesions detected on previous CT. Interventional procedures included biopsies of focal liver lesions using dedicated tracked needle.

Results: US/CT fusion was feasible in all 40 patients. Among diagnostic fused examinations of focal liver lesions, we were able to identify and determinate biological nature of 18 lesions, of total number 19. Among diagnostic fused examinations of kidney, we were able to identify and determinate biological nature of 6 lesions, of total number 8. One focal liver lesion and two kidney lesions were not possible to identify (either in native or in postcontrast fused imaging). All our 13 performed biopsies were conclusive, but there have been two cases of false-negative result.

Conclusion: Ultrasound navigation systems represent a relative novelty in radiology.

Práce vznikla v rámci projektu
MUNI/A/1083/2015 Grantové
agentury MU.

Konflikt zájmů: žádný.

Fúzi ultrazvukového obrazu s jinou zobrazovací modalitou, nejčastěji CT, lze využít ke dvěma základním účelům. Prvním je fúzní UZ vyšetření pro diagnostiku léze nejasné etiologie nalezené jinou metodou. Systém umožňuje cílení UZ vyšetření do oblasti zájmu. Korelace obou metod je více objektivní, systém dovoluje kombinovat přednosti dvou různých metod do jednoho vyšetření. Druhou možnost využití představuje provádění navigovaných intervencí při použití speciálního instrumentária, což usnadňuje detekci polohy a směru zaváděných nástrojů.

Nevýhodou je vysoká pořizovací cena a v některých případech časová náročnost procedury.

Klíčová slova: fúzní zobrazení, ultrazvuk, navigace.

Real-time fusion of ultrasound imaging with other imaging modality, the most frequently CT, can be used for two main purposes. The diagnostic purpose allows precise correlation of previous CT or MR examination with ultrasound examination and also leads to better image documentation. The system allows to target ultrasound examinations in the region of interest. Correlation of both methods is more objective, the system allows to combine the advantages of two different methods in a single examination. Second possibility of use is to perform navigated interventions using special tracked instrumentation, which facilitates detection of position and direction of inserted instruments. The disadvantages of this system are high purchase price and in some cases long duration of the fusion procedure.

Key words: fusion imaging, ultrasound, navigation.

ÚVOD

Techniky fúzního zobrazování zažívají v posledních letech prudký rozvoj. Základní myšlenkou je spojení předností dvou různých metod do jednoho vyšetření. V běžné praxi se například využívá spojení morfologických metod (CT, MR) s funkčními (PET, SPECT). Jedním z novějších příkladů fúzních technik je fúze ultrazvukového obrazu s jinou zobrazovací modalitou, nejčastěji CT, za pomoci ultrazvukového navigačního systému.

Navigační systém lze využít ke dvěma základním účelům. Prvním je fúzní UZ vyšetření pro diagnostiku nejasné léze nalezené jinou metodou (CT, MR), druhý představuje provádění navigovaných intervencí. Ultrazvukové navigační systémy navíc dovolují kombinovat obě výše uvedené možnosti, tedy plánovat a provádět intervenční výkon při fúzovaném zobrazení.

Fúzní UZ vyšetření probíhá stejně jako konvenční UZ vyšetření v reálném čase. V tomto případě je právě prováděné UZ zobrazování propojeno s obrazy z předchozího standardního CT vyšetření (1).

Aby k fúzi obrazů v reálném čase vůbec mohlo dojít, je potřeba během vyšetřování monitorovat přesnou polohu UZ sondy v prostoru. Ultrazvukové navigační systémy v současné době využívají elektromagnetické pole, jehož zdrojem je generátor umístěný v blízkosti pacienta. K vlastní detekci polohy sondy pak slouží senzor tvořený cívkou, který je pevně připojený k UZ sondě. Mění se magnetické pole indukuje v cívkě slabý elektrický proud, na základě kterého je určena poloha senzoru a tedy i UZ sondy. Nutné technické vybavení tak představuje generátor elektromagnetického pole, senzor spojený s UZ sondou a počítačový systém, který zpracuje data a vytvo-



▲ Obr. 1

Obr. 1. Navigační systém. Počítačová jednotka (nezobrazena) generuje obraz na LCD panelu UZ přístroje. Na stojanu vedle pacienta je umístěn generátor elektromagnetického pole. Senzory k detekci polohy UZ sondy a k detekci polohy pacienta jsou spojeny s počítačovou jednotkou.

Fig. 1. Navigation system. The computer unit (not shown) generates the image on the ultrasound LCD panel. The electromagnetic field generator is placed on the stand next to the patient. Sensors detecting position of the ultrasound probe and the patient are connected with the computer unit.

ří vlastní fúzovaný obraz. Pokud použijeme ještě jeden senzor, který připevníme na tělo pacienta, získáváme možnost volného polohování pacienta během vyšetřování (2–4) (obr. 1).

K provádění intervenčních výkonů je potřeba další senzor umístěný přímo v dedikovaném instrumentáriu sloužícím jako koaxiální přístup pro zavádění dalších intervenčních nástrojů (bioptických nebo ablačních jehel). Během výkonu pak lze sledovat přesnou polohu zaváděného instrumentária a kontrolovat směřování jehly do cílového místa v různých rovinách (např. rovina v ose jehly nebo kolmo na osu jehly) (4).

K vytvoření živého fúzaného obrazu je dále potřeba propojit dva 3D prostory. První 3D prostor představuje předchozí CT vyšetření. Druhý je prostor, ve kterém provádíme vlastní UZ vyšetření, tedy tělo pacienta. Propojení těchto dvou prostorů se označuje jako registrace.

Registrace může být provedena různými způsoby. Při tzv. automatické registraci se využívá neměnné polohy senzorů, které jsou na tělo (kůži) pevně připojeny již při provádění CT vyšetření a ponechány až do doby fúzního UZ vyšetření. Spojení dvou 3D prostorů tak probíhá plně automaticky.

Další způsob představují manuální metody registrace využívající ručního vyznačení stejných struktur jak v UZ obraze, tak na předchozím CT vyšetření. Využít lze buď označení minimálně 3 bodů, nebo jedné roviny a jednoho bodu v této rovině (obr. 2).

Po registraci lze již sledovat fúzaný obraz. K vizualizaci lze využít překryv obrazů obou modalit, jak jej známe např. z PET/CT. Přehlednější pro vyšetření bývá zobrazení obou modalit vedle sebe. V ultrazvukové části fúzaného obrazu lze využít různé druhy zobrazení – B-mód, barevné dopplerovské mapování nebo mód s nízkým mechanickým indexem pro vyšetření s aplikací kontrastní látky (CEUS) (2).

METODIKA

V roce 2013 byl na naše pracoviště instalován ultrazvukový navigační systém PercuNav (Philips, Nizozemsko) a připojen k UZ přístroji iU22 (Philips, Nizozemsko). Tento navigační systém se skládá z řídicí počítačové jednotky spojené s UZ

přístrojem, generátoru elektromagnetického pole, senzoru pro UZ sondu a senzoru umísťovaného na pacienta.

Jako zdroj dat pro fúzi sloužila CT vyšetření. CT vyšetření byla provedena na přístroji Brilliance 64 (Philips, Nizozemsko), pro fúzi byly použity rekonstruované obrazy z portovenózní fáze o tloušťce řezu 2 mm.

Pro registraci obrazů byla použita manuální metoda se zadáním buď jedné roviny a 1 bodu nebo se zadáním 3 bodů.

V případě, že bylo prováděno i postkontrastní ultrazvukové vyšetření, aplikovali jsme intravenózně kontrastní látku s fluoridem sírovým (SonoVue, Bracco, Itálie) v množství 2,4 ml.

Pokud se prováděla biopsie, používali jsme dedikované navigované koaxiální jehly šíře 17G, které slouží k zavedení standardní bioptické 18G jehly.

Soubor pacientů

Ultrazvukový navigační systém jsme pro fúzi UZ a CT vyšetření použili u 40 pacientů. Celkově jsme provedli 27 diagnostických a 13 intervenčních výkonů.

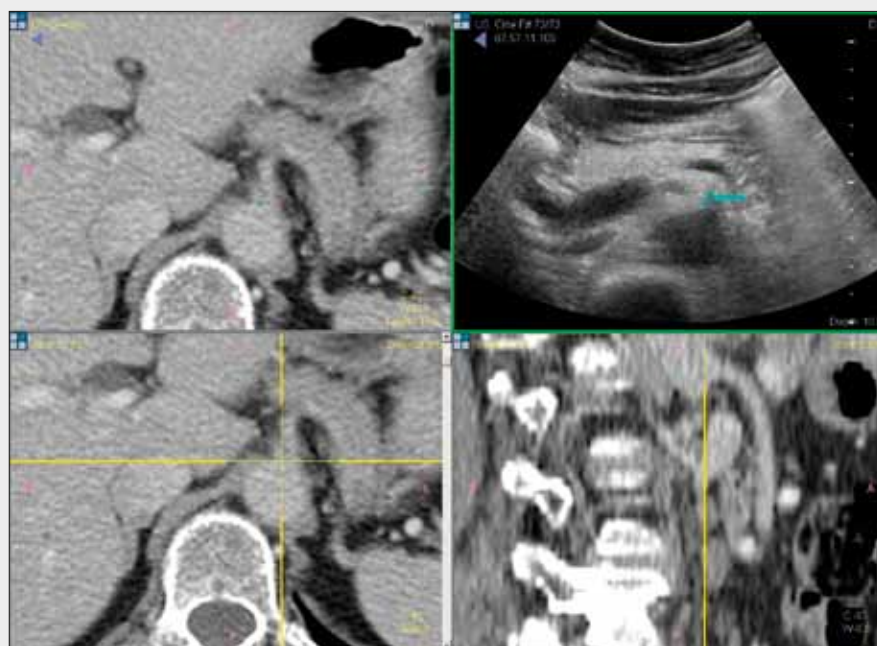
Z diagnostických fúzních vyšetření byla metoda v 19 případech použita ke zhodnocení ložisek jater, v osmi případech ke zhodnocení ložisek ledvin. U 22 pacientů byl v rámci fúzního vyšetření proveden i CEUS.

Intervenční výkony zahrnovali 13 biopsií jaterních ložisek s použitím navigovaného instrumentária.

VÝSLEDKY

Registrace

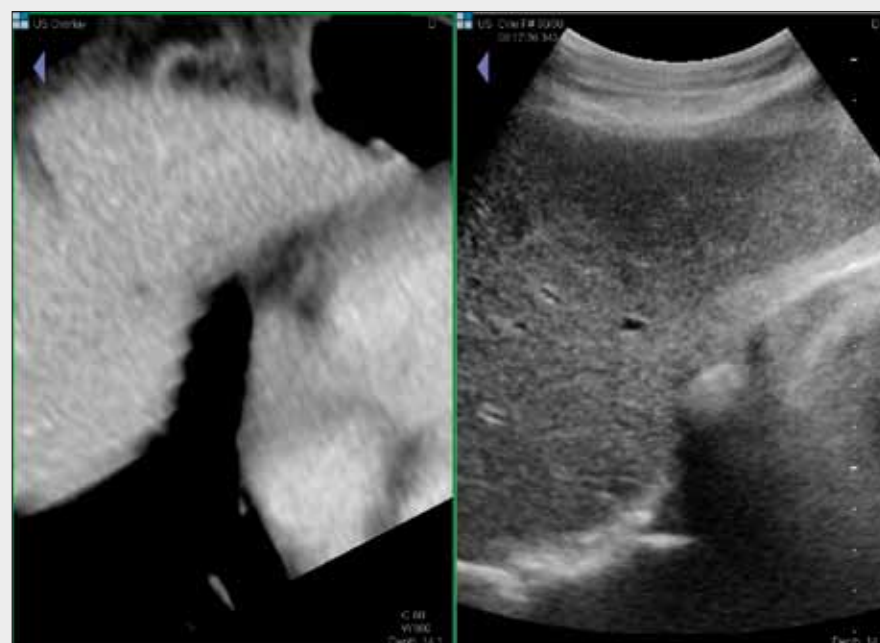
Fúze CT a UZ vyšetření se zdařila u všech 40 pacientů. Pro registraci jsme použili metodu roviny a 1 bodu u 25 vyšetření, metodu 3 bodů u sedmi vyšetření, u osmi vyšetření jsme použili obě metody a následně zvolili metodu přesnější. Přesnost fúze



◀ Obr. 2

Obr. 2. **Manuální registrace metodou jedné roviny a 1 bodu.** Na UZ je zvolena transverzální rovina odpovídající zvolenému transverzálnímu řezu z CT vyšetření. Jako bod je v UZ i CT obraze označen pravý okraj odstupu truncus coeliacus z aorty.

Fig. 2. **Manual registration with Plane match method (1 plane and 1 point).** Corresponding transverse planes are visualized with US and selected on CT examination. The same point is marked in the ultrasound and CT image – the right edge of the origin of the coeliac trunk.



Obr. 3

Obr. 3. **Fúze UZ a CT.** Na fúzním zobrazení je vidět, že drobná hypodenzita jater z CT vyšetření odpovídá cystě zobrazené na UZ.

Fig. 3. **Fusion of US and CT.** Fused images clearly show that small hypoattenuating liver lesion from CT examination corresponds to cyst on US image.

byla zhodnocena vizuálně na základě překryvu snadno identifikovatelných struktur ve fúzaném obraze. Doba potřebná pro registraci se pohybovala v rozmezí od 5 do 30 minut, byla závislá na kvalitě ultrazvukového zobrazení (resp. vizualizaci cílových anatomických nebo patologických struktur) a na požadované přesnosti. Vyšší míru přesnosti jsme vyžadovali u intervenčních výkonů, zejména při biopsiích malých ložisek.

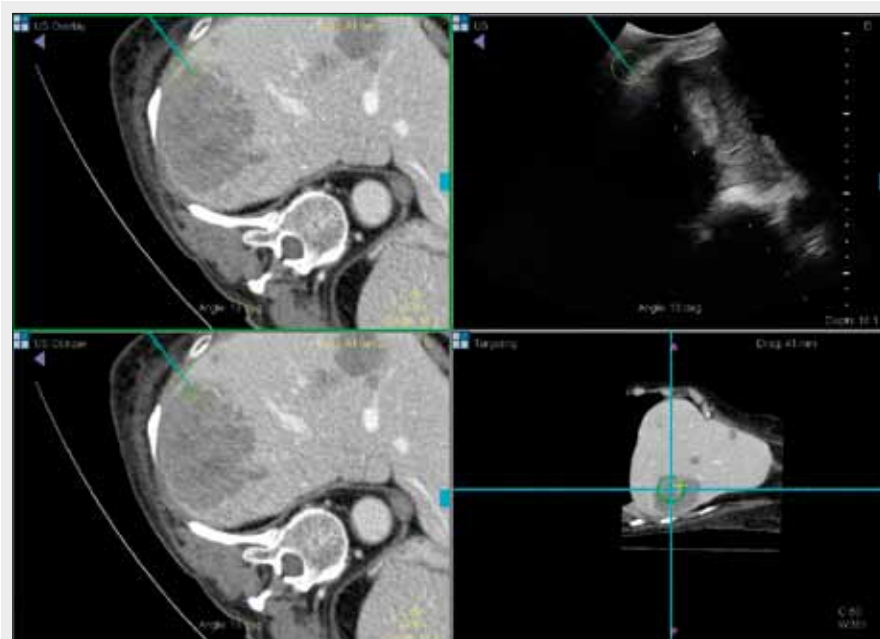
Diagnostická fúze ložisek jater

Celkově bylo vyšetřeno 19 ložisek jater ve velikostním rozmezí od 4 mm do 73 mm. Osmnáct ložisek se podařilo metodou fúze dohledat. Povaha ložisek byla určena na základě nativ-

ního UZ obrazu (cysty) nebo následného CEUS (hemangiomy, FNH, metastázy, pseudoléze) (obr. 3). V jednom případě nebyla drobná 5mm hypodenzita jater dohledatelná metodou fúze ani v nativním ani v postkontrastním ultrazvukovém zobrazení. Její povaha tak nemohla být určena.

Diagnostická fúze ložisek ledvin

Celkově bylo vyšetřeno osm ložisek ledvin velikosti 5–54 mm. Šest ložisek (čtyři cystická, dvě solidní) se podařilo metodou fúze dohledat. S pomocí CEUS jsme zařadili nesimplexní cysty do Bosniakovy klasifikace, u solidních ložisek jsme potvrdili jejich perfuzi. V případě vícečetných ložisek v jedné led-



Obr. 4

Obr. 4. **Fúze a intervence s navigovanou jehlou.** V CT a UZ obraze je zobrazena virtuální jehla udávající polohu skutečné jehly. Na pravém okraji všech snímků se zobrazuje zelený sloupec značící vychýlení jehly od plánovaného cíle. Na obrázku vpravo dole je zobrazena rovina kolmá na jehlu – odpovídá pohledu skrz jehlu.

Fig. 4. **Fusion and intervention with tracked needle.** Virtual needle indicating the position of actual needle is displayed on US and CT images. There is green bar on the right edge of all images indicating needle deflection from the planned target. Right bottom image shows the plane perpendicular to the needle – corresponds to the view through the needle.



Obr. 5

Obr. 5. **Fúze MR a CEUS.** Nativní MR sekvencí T2 TSE zobrazeno ložisko v pravé ledvině. Na CEUS je zjevné syčení tohoto ložiska. Histologicky onkocytom. Fig. 5. **Fusion of MRI and CEUS.** Native MRI T2 TSE sequence shows mass in the right kidney. CEUS shows enhancement of the whole mass. Histologically oncocytoma.

vině (např. polycystická ledvina) byla po fúzi výrazně snazší prostorová orientace mezi jednotlivými ložisky, což usnadnilo vyhledávání místa zájmu v UZ obraze. U dvou malých ložisek (velikosti 8 mm a 18 mm), kde bylo na CT vysloveno podezření na solidní nádor, se detekce ložisek a objasnění jejich povahy metodou fúze nezdařila (ani v nativním ani v postkontrastním zobrazení).

Intervenční výkony – biopsie při fúzním zobrazení

Biopsii jater jsme provedli u 13 ložisek velikosti od 12 mm do 11 cm. Fúzi jsme využili jak při plánování bezpečného přístupu, tak při provádění vlastní intervence (obr. 4). Všechny biopsie byly výtěžné, konkluzivní. Ve dvou případech (dvě ložiska velikosti 22 mm) se ale vyskytl falešně negativní výsledek. Při sledování ložisek v čase došlo u těchto dvou lézí k velikostní progresi, maligní povaha byla verifikována v jednom případě rebiopsií, ve druhém operací.

DISKUSE

Při CT vyšetřeních se často setkáváme s drobnými postkontrastně hypodenzními ložisky jater. U malých ložisek je obtížná přesná charakterizace, při velikosti pod 1 cm prakticky nemožná. Většina těchto drobných ložisek je benigních. V řadě případů jde o cysty, které jsou při malé velikosti na CT lépe zobrazené než metastázy. U pacientů s primárním tumorem se však může jednat i o metastázy s rizikem pohybujícím se kolem 4–12 % (5, 6).

Ultrazvuk je vysoce senzitivní a specifický pro diagnostiku jaterních cyst (7), nicméně u velmi malých ložisek, může být problém je nalézt. Výhodou fúze CT vyšetření s ultrazvukem je výrazné zmenšení vyšetřované oblasti, čímž zjednodušíme hledání ložiska. Pokud nalezneme typickou cystu, jsme díky fúzi obrazu schopni doložit, že se jedná o stejné ložisko, jako

bylo zachyceno na CT. Tato výhoda se znásobuje při přítomnosti vícečetných ložisek. Pokud se nejedná o typickou cystu, lze i při samotné fúzi doplnit CEUS. V případě, že ložisko ani při fúzi nativně nenalezneme, můžeme provádět CEUS cílený na oblast zájmu podle lokality ložiska na CT. Otázkou však zůstává spolehlivost takového vyšetření a interpretace negativního výsledku.

V našem souboru se vyskytl jeden takový případ, kdy 7mm ložisko detekovatelné na CT vyšetření nebylo v nativním UZ obraze ani po fúzi dohledatelné. Zobrazit jej a objasnit jeho povahu bylo možné až na fúzovaném CEUS/CT zobrazení, odhalena tak byla drobná metastáza.

UZ vyšetření je velmi přesné v rozlišování cystické a solidní povahy léze i u ledvin. V případě malých ložisek je toto jeho hlavní úlohou (8). Při nejistém nálezů lze doplnit CEUS, který má vyšší senzitivitu pro detekci syčení než CT (9), kde se setkáme s problémem pseudosyčení (10).

V rámci naší studie jsme ve dvou případech nebyli schopni ložisko ledviny patrné na CT vyšetření dohledat v UZ obraze ani s využitím fúze a cíleného CEUS. Vysvětlujeme si to tím, že malé nádory mohou být na UZ zcela izoechogenní a mohou mít homogenní perfuzi. Je známý fakt, že syčení renálního karcinomu na CEUS koreluje s velikostí ložiska, u tumorů pod 3 cm je homogenní až v 72 % (11). Fúzní UZ zobrazení tak nedokáže spolehlivě vyloučit malý solidní nádor ledviny, ale i informace o tom, že se nejedná o cystu, je klinicky významná – podezření na malignitu trvá. Fúzní zobrazení navíc zlepšuje možnost korelace mezi CT a UZ v přítomnosti většího počtu ložisek.

Fúzní UZ zobrazení můžeme obdobně provádět i propojením s obrazy z předchozího standardního MR vyšetření. Na našem pracovišti jsme takto vyšetřili 6 pacientů. MR vyšetření byla provedena na přístroji Achieva 1,5T (Philips, Nizozemsko), pro fúzi byly použity buď 4mm řezy v portovenózní fázi získané z dynamické sekvence nebo 5mm řezy z nativní sekvence T2 TSE (obr. 5).



▲ Obr. 6

Obr. 6. **Biopsie jaterního ložiska navigovanou jehlou.** Zeleně je zobrazena virtuální poloha jehly odpovídající poloze skutečné jehly. Použití navigačního systému umožnilo lepší kontrolu při zavádění jehly do malého ložiska. Metastáza adenokarcinomu.

Fig. 6. **Liver lesion biopsy with tracked needle.** Virtual needle position, displayed in green, corresponds to the actual position of true needle. Ultrasound navigation system was used to control insertion of the needle into the small lesion. Adenocarcinoma metastasis.

Naše pracoviště nedisponuje možností provádět tzv. automatickou registraci. Tento postup je nejrychlejší a nej přesnější. Nevýhodou je, že již během CT/MR vyšetření musíme počítat s následnou fúzí a umístit senzory na tělo pacienta. Obě vyšetření tedy musí proběhnout krátce po sobě. Ve vývoji jsou i další způsoby automatické registrace, které využívají např. automatickou detekci okraje jater nebo jaterních žil.

Všechna naše vyšetření proběhla po manuální registraci, časový odstup mezi provedením CT, resp. MR vyšetřením a samotnou fúzí dosahoval v některých případech i několik týdnů. K volbě anatomických bodů pro registraci jsme vybírali co nejmenší jednoznačně definovatelné struktury, např. místa odstupů a větvení cév (jaterní žíly, portální systém, větve břišní aorty), nebo malá ložiska. U diagnostických vyšetření jsme primárně volili metodu roviny a 1 bodu, která byla rychlejší. U intervenčních výkonů jsme kvůli předpokládané vyšší přesnosti fúze primárně volili metodu registrace pomocí 3 bodů. To se ale potvrdilo pouze u štíhlých pacientů bez cirhózy.

Vzhledem k tomu, že jsme prováděli jen diagnostická vyšetření a biopsie jater, byli všichni pacienti při vědomí a také bez sedace. Přitom Hakime et al. popisují vliv řady faktorů na přesnost manuální fúze, kterou hodnotili jako maximální posun ložiska mezi UZ a CT obrazem v jedné ze tří os. Nejvyšší přesnosti dosáhli, pokud CT bylo provedeno těsně před fúzí a pacient byl v celkové anestezii. Vliv obou faktorů na přesnost byl velmi výrazný, průměrný rozdíl se pohyboval kolem 10 mm (12).

Využití navigačního systému pro provádění intervencí pod UZ kontrolou může přinést několik výhod. Fúzní zobrazení dovoluje zkontrolovat důležité struktury v místě plánované trajektorie v CT, resp. MR obrazech před samotným výkonem. Dále se ukazuje, že využití fúze může zlepšit vizualizaci ložiska, a umožnit tak provedení intervence pod UZ navigací i u špatně viditelných lézí (13). Použití speciální navigované jehly usnadňuje oproti technice z volné ruky zacílení jehly přesně do plánovaného cíle. Vzhledem k zobrazení virtuální jehly lze vždy zkontrolovat přesnost směru zavádění a pozici hrotu jehly. U obtížně přístupných ložisek lze kontrolovat správnost trajektorie i z jiné roviny, než ve které je jehla zaváděna (14, 15) (obr. 6).

Mezi nevýhody navigačního systému patří vysoká pořizovací cena celého zařízení a dále potřebné zkušenosti a čas nutný k provedení správného propojení UZ obrazu s druhou modalitou. Při využití manuální registrace platí, že čím vyšší vyžadujeme přesnost, tím déle registrace trvá. Zde lze do budoucna očekávat zlepšení s rozvojem nových způsobů pro automatickou registraci, které by mohly vést ke zjednodušení a zkrácení celého procesu a tím začlenění této metody do běžné praxe.

Použití navigovaných jehel zvyšuje náklady na samotný výkon, protože kromě ceny za běžnou biopsickou jehlu je potřeba připočítat cenu za navigovaný koaxiální zaváděč, jehož cena se pohybuje kolem 4000 Kč.

ZÁVĚR

Navigační a fúzní systémy přinášejí nové možnosti pro využití ultrazvuku. V diagnostice umožňují zpřesnit korelaci předchozího CT nebo MR vyšetření s UZ vyšetřením a také vést lepší obrazovou dokumentaci této korelace. V případě intervencí umožňují plánování a sledování intervence současně na CT, resp. MR vyšetření a při použití speciálního instrumentária usnadňují detekci polohy a směru zaváděných nástrojů.

LITERATURA

1. Sandulescu DL, Dumitrescu D, Rogoveanu I, Saftoiu A. Hybrid ultrasound imaging techniques (fusion imaging). World J. Gastroenterol. Wjg 2011; 17(1): 49–52.
2. Practical Guide Philips iU22 PercuNav 4.0 image navigation system. Koninklijke Philips Electronics N.V.; 2012.
3. Azar N. Advances in Ultrasound: Smart Fusion Technology [Internet] 2012 [cited 2015 Feb 18]; Available from: <http://www.slideshare.net/toshibamedical/advances-in-ultrasound-smart-fusion-technology-toshiba-medical-systems-europe>
4. McGrath J, Siegel DN, Waldman DL. Ultrasonography and GPS Technology. Ultrasound Clin 2013; 8(2): 201–212.
5. Schwartz LH, Gandras EJ, Colangelo SM, Ercolani MC, Panicek DM. Prevalence and importance of small hepatic lesions found at CT in patients with cancer. Radiology 1999; 210(1): 71–74.
6. Khalil HI, Patterson SA, Panicek DM. Hepatic lesions deemed too small to characterize at CT: prevalence and importance in women with breast

- cancer. *Radiology* 2005; 235(3): 872–878.
7. **Cowles RA, Mulholland MW.** Solitary hepatic cysts. *J Am Coll Surg* 2000; 191(3): 311–321.
8. **Foster WL, Roberts L, Halvorsen RA, Dunnick NR.** Sonography of small renal masses with indeterminate density characteristics on computed tomography. *Urol Radiol* 1988; 10(2): 59–67.
9. **Foukal J, Mechl M, Janoušová E.** Srovnání kontrastní ultrasonografie a CT v klasifikaci cystických lézí ledvin. *Ces Radiol* 2014; 68(1): 30–39.
10. **Coulam CH, Sheafor DH, Leder RA, Paulson EK, DeLong DM, Nelson RC.** Evaluation of pseudoenhancement of renal cysts during contrast-enhanced CT. *Am J Roentgenol* 2000; 174(2): 493–498.
11. **Jiang J, Chen Y, Zhou Y, Zhang H.** Clear cell renal cell carcinoma: contrast-enhanced ultrasound features relation to tumor size. *Eur J Radiol* 2010; 73(1): 162–167.
12. **Hakime A, Deschamps F, De Carvalho EGM, Teriitehau C, Auferin A, De Baere T.** Clinical evaluation of spatial accuracy of a fusion imaging technique combining previously acquired computed tomography and real-time ultrasound for imaging of liver metastases. *Cardiovasc Interv Radiol* 2011; 34(2): 338–344.
13. **Park HJ, Lee MW, Lee MH, Hwang J, Kang TW, Lim S, et al.** Fusion imaging-guided percutaneous biopsy of focal hepatic lesions with poor conspicuity on conventional sonography. *J Ultrasound Med Off J Am Inst Ultrasound Med* 2013; 32(9): 1557–1564.
14. **Tomonari A, Tsuji K, Yamazaki H, Aoki H, Kang J-H, Kodama Y, et al.** Feasibility of the virtual needle tracking system for percutaneous radiofrequency ablation of hepatocellular carcinoma. *Hepatol Res Off J Jpn Soc Hepatol* 2013; 43(12): 1352–1355.
15. **Hakime A, Barah A, Deschamps F, Farouil G, Joskin J, Tselikas L, et al.** Prospective comparison of freehand and electromagnetic needle tracking for US-guided percutaneous liver biopsy. *J Vasc Interv Radiol Jvir* 2013; 24(11): 1682–1689.