Role real-time 3D echokardiografie při hodnocení síňových struktur

Dan Marek

I. interní klinika – kardiologická, Fakultní nemocnice Olomouc a Lékařská fakulta Univerzity Palackého, Olomouc, Česká republika

Marek D. **Role real-time 3D echokardiografie při hodnocení síňových struktur.** *Cor Vasa* 2011;53:369–374.

Trojrozměrná echokardiografie se vyvinula z původní poválečné jednorozměrné zobrazovací metody do dnešní rutinně využitelné podoby až v posledních několika málo letech. Real-time 3D echokardiografie se stala standardní součástí výbavy high-end přístrojů a počet publikací o jejím využití rychle roste. Publikace se zabývá přínosem v detekci patologie srdečních síní: trombózy ouška levé síně nebo jiných intraatriálních útvarů, v popisu defektů či jiné patologie septa či při monitoraci intervenčních výkonů. Článek přináší souhrn současných poznatků o 3D echokardiografii a vlastní zkušenosti a výsledky práce s trojrozměrným ultrazvukem.

Klíčová slova: Trojrozměrná echokardiografie – Srdeční síně – Patologie – Tromby – Septum – Intervence

Marek D. **The role of real-time 3D echocardiography in atrial structure assessment.** *Cor Vasa* 2011;53:369–374.

Three-dimensional echocardiography was developed from the post-war one-dimensional ultrasound imaging to the current routinely used method just during the last several years. Real-time 3D echocardiography has become standard high-end machine equipment. There is a vast amount of publications on its asset emerging in the literature. This article describes the role of 3D echocardiography in atrial pathology assessment – the detection of left atrial appendage thrombi or other intraatrial masses or description of septal defects, and the role of 3D echo in guiding intracardiac interventions. State-of-the-art summary and comments on own results and experience is presented.

Key words: Three-dimensional echocardiography – Atriums – Pathology – Thrombi – Septum – Intervention

Adresa: MUDr. Dan Marek, Ph.D., I. interní klinika – kardiologická, FN Olomouc, I. P. Pavlova 6, 775 20 Olomouc, e-mail: dan.marek@fnol.cz

Úvod

Historie echokardiografie trvá zhruba půl století. Adler a Hertz adaptovali sonar válečných ponorek a získali první jednorozměrné echo lidského srdce. B mode se objevil v praxi koncem 70. let. Velký pokrok následně znamenal využití Dopplerova jevu. Nesmělé počátky trojrozměrné echokardiografie (3DE) jsme zaznamenali na kongresech v polovině 90. let. Tehdy se trojrozměrný obraz pořizoval robotickým otáčením klasické dvojrozměrné sondy z apikální pozice, případně prototypy sondy s elektronicky kontrolovaným otáčením/skláněním vyšetřovací roviny, s následnou počítačovou rekonstrukcí trojrozměrného modelu, která trvala až 45 minut.^{1,2} Posledních několik let je ve znamení exponenciálního růstu technických možností echokardiografů, takže real-time trojrozměrná echokardiografie (RT3DE) se stala standardní součástí výbavy high-end přístrojů. Přináší nové pohledy do srdce, ale je současně také výzvou – vyžaduje nové znalosti, nové vyšetřovací návyky, nové zkušenosti s hodnocením jednotlivých projekcí. O obecných mož-

nostech 3D echokardiografie a jejích technických úskalích pojednává přehledový článek v prvním letošním čísle *Cor et Vasa*.

Je zřejmé, že všechny dosud publikované studie s RT3DE se týkají řádově nejvýše desítek pacientů – všichni se teprve učí a všichni se také chtějí o své zkušenosti podělit. Ale to je nevyhnutelné stadium při zrození každé nové metody.

Účelem této publikace je zaměřit se na síňové struktury, podat přehled o přínosu RT3DE k diagnostice hlavních patologických stavů srdečních síní a na základě našich vlastních zkušeností literární údaje komentovat. Vzhledem k tomu, že při apikální projekci, která skýtá dobrý pohled především na levou srdeční komoru, představují síně poměrně vzdálené cílové pole, a parasternální projekce jsou pro zobrazení síní často neuspokojivé, pojednává tento článek především o jícnové echokardiografii.

Patomorfologické stavy levé a pravé srdeční síně můžeme rozdělit schematicky do těchto hlavních oblastí: defekty síňového septa a foramen ovale patens (PFO), ouško levé (případně pravé) síně a jeho trombóza, tromby

v jiných lokalizacích, tumory, infekce nativních tkání nebo umělé struktur (elektrody, uzávěrové mechanismy), anomálie žil a patologie koronárního sinu, jiné vrozené vady, Eustachova chlopeč, resp. Chiariho síťka. Funkční abnormality srdečních síní se týkají především jejich plnění z žil a především tří složek jejich nejvladnější funkce – tedy rezervoárové, průtokové a ejekční. Zde se RT3DE uplatňuje především ve volumetrii.

Ke správnému pochopení patologie je samozřejmě nutné znát dobře také morfologii a funkci normálních probandů. Mezi první publikace popisující fyziologické hodnoty srdečních síní patří práce zabývající se normálními hodnotami rozměrů a volumetrií levé a pravé síně (LA, RA) u 166 zdravých jedinců (29–79 let). Real-time 3D echokardiografie stanovila fyziologický horní limit indexu objemu levé srdeční síně (LAVI) 41 ml/m² a 19 ml/m² jako minimální LAVI. Hranice normy pro ejekční frakci levé síně (LAEF) byla 45 %. Odpovídající hodnoty pro pravou síň byly 47 ml/m², 20 ml/m² a 46 %. Jediným rozdílem mezi pohlavími byla o něco větší pravá síň při maximálním objemu u mužů. Tatáž práce také hodnotila variabilitu měření ve 3D volumetrii: koeficienty variance pro opakovaná měření byly 9 % pro maximální LAVI, 8 % pro maximální RAVI, 13 % pro LAEF a 14 % pro RAEF.³ Měření objemu podle povrchu těla provedl Poutanen se spoluautory. Příslušné maximální objemy (a SD) byly pro povrch 0,5–0,75 m², 0,75–1,0 m², 1,0–1,25 m², 1,25–1,5 m² a > 1,5 m²: 19,6 (3,5) ml/m², 21,7 (3,7) ml/m², 22,0 (4,7) ml/m², 24,5 (4,8) ml/m² a 27,4 (6,4) ml/m²; LAEF se zvyšovala s věkem: 19 % až 35 % ($r = 0,34$; $p < 0,001$), a se snižováním srdeční frekvence ($r = -0,28$; $p < 0,001$).⁴ S jinými echokardiografickými metodami srovnali výsledky 3D echokardiografie například Jenkins⁵ a Mueller,⁶ s relativně slušnou korelací. Objemy levé síně korelovaly signifikantně s angiografií ($r = 0,56$) i s objemem odvozeným z CARTO mapy ($r = 0,67$).⁷ I když v této práci šlo o pacienty před ablací fibrilace, tedy s dilatovanou síní, průměrný rozdíl 30 ml je dosti podstatný a dokládá známou skutečnost, že hodnoty získané různými zobrazovacími metodami nelze navzájem zaměňovat. Snad nejlepší korelaci pro objemy a ejekční frakci síní vykazala RT3DE s magnetickou rezonancí ($r = 0,86$ pro systolu, $r = 0,76$ pro diastolu, $r = 0,88$ pro EF; vždy $p < 0,0001$).⁸ Valocik se soustředil na funkci ouška a koreloval měření 3DE a 2DE s výdejevou rychlostí ouška u 48 pacientů. Zatímco RT3DE objemy s výdejevou rychlostí významně korelovaly, plocha ouška dle 2DE nikoli, navíc trojrozměrná echokardiografie měla nižší variabilitu měření.⁹

Ouško levé síně, trombóza ouška

U naprosté většiny pacientů není zobrazení levého ouška (LAA) při jícnové echokardiografii (TEE) problémem. Přestože řada publikovaných prací se honosí vysokým procentem úspěšnosti zobrazení ouška při transthorakální echokardiografii (TTE), je všeobecně známo, že realita vyšetření kardiaků v denní praxi je naprosto opačná. Tím

méně je možné z TTE činit s jistotou závěry, zda se vyskytuje v oušku trombus, či nikoli, což je z klinického pohledu velmi závažné rozhodnutí. Dokonce někdy i v případě TEE – při suboptimální kvalitě zobrazení – je to pro zkušeného echokardiografistu problematické rozhodnutí: otázka, zda jde o artefakt, spontánní echokонтast, či již organizovaný trombus, je velmi delikátní. S napětím jsme tedy očekávali, zda RT3DE bude na tomto poli přínosem. Agoston je přesvědčen, že RT3DE je při zobrazení LAA výtečnější. V závislosti na kvalitě zobrazení při TTE u 100 špatně a 104 dobře vyšetřitelných pacientů bylo LAA vizualizováno u 93 (45,5 %) pacientů při 2DE a u 139 (68,1 %) při 3D echokardiografii ($p < 0,0001$), přičemž u špatně vyšetřitelných pacientů 2DE zobrazila LAA u 16 % a RT3DE u 35 %. Naproti tomu u pacientů s dobrou kvalitou obrazu byl poměr 74 % versus 100 % ve prospěch RT3DE ($p < 0,0001$). Naše zkušenosti se zobrazením LAA pomocí RT3DE u jícnové echokardiografie mluví pro to, že 3DE má jen omezený přínos pro posouzení přítomnosti a charakteru trombu nad rámec 2DE. Padesát konsektivních pacientů bylo vyšetřeno na našem pracovišti jícnovou echokardiografií z různých indikací, 14 mělo paroxysmální/perzistující fibrilaci/flutter síní. Po skončení 2DE vyšetřující rozhodl, zda z hlediska možného trombu (T) je nález negativní (N2), nejasný trabekulární (M2), jiný nejasný (J2), anebo zda jde o jasný trombus (T2). Po bezprostředně následujícím 3DE byl tentýž nález znovu kategorizován (N3, M3, J3 a T3) a bylo rozhodnuto, zda 3DE: 1) přinesla užitečnou novou informaci, 2) zda změnila závěrečné rozhodnutí o trombóze. Pouze u pěti pacientů vedla 3DE ke změně závěru – ve všech případech byly nejasné nálezy v 2DE suspektní z výskytu trombu překvalifikovány na negativní, tj. muskulární trabekulární. V devíti dalších případech použití 3DE pouze utvrdilo vyšetřujícího v tom, že podezřelé nálezy na echokardiografii nejsou trombem. V ostatních případech 3DE nepřinesla novou informaci. Z toho u devíti pacientů byly již nálezy 2DE nejasné, a zůstaly dál nejasné i po použití 3DE (sdělení pro kardiologický sjezd, Brno 2011). Ve většině sporných případů RT3DE tedy nepomohla rozlišení artefaktů a trombů, a to právě pro špatnou kvalitu zobrazení. Jinými slovy, pokud je 2DE obraz špatný, je nekvalitní také 3DE obraz, což celkem pochopitelně souvisí s fyzikálními parametry emise, recepce a processingu ultrazvukového signálu.

Výhodou 3DE sondy je však možnost současného zobrazení dvou na sebe kolmých rovin (obrázek 1). Typický trombus ve 3DE ukazuje obrázek 2.

Podobné zkušenosti publikovali Anwar a spol.: 3DE je lepší než 2DE spíše v popisu trombů než v jejich detekci.¹⁰ Co je však naprosto jedinečným přínosem RT3DE, je možnost nahlédnout do orificia ouška a vidět muscoli pectinati plasticky. Ukazuje se obrovská rozmanitost trabekulárních struktur – u některých pacientů svalové trámce prakticky chybějí, u jiných je ouško extenzivně přepaženo trámčinou nejružnější délky a průměru a ouško má často mnoho recesů (obrázek 3).

Obrázek 1 Dvě kolmé roviny zobrazující ouško levé síně (LAA). Zatímco vlevo se zobrazuje útvar připomínající trombus, v rovině kolmé (vpravo) jde jasně o muskulární trabekuly.

Není divu, že v raných dobách 2D transezofageální echokardiografie, kdy byl vyšetřující odkázán jen na jednu nebo několik málo vyšetřovacích rovin, byly tyto struktury často chybně označovány za tromby.

Příklad 2DE a 3DE obrazu muskulární struktury síňového ouška u téhož pacienta ukazuje *obrázek 4*.

Nitrosrdeční útvary síní

Podobně jako tromby i tumory síní – z nichž nejčastější je myxom – většinou není problém zobrazit ve dvojrozměrné echokardiografii a také je při určité trpělivosti a představivosti věrně popsat. Real-time trojrozměrná echokardiografie zde může být především prvkem, který zrychlí celé vyšetření tím, že představu o morfologii nádoru můžeme získat velmi rychle.¹¹ (V praxi tomu tak často ale není: fascinace 3D obrazy zatím vede přinejlepším ke ztrátě této výhody.) Konzistenci jednotlivých vrstev nádoru anebo trombu lze rychle odhalit „croppingem“ již on-line. K nitrosrdečním útvarům patří také vegetace – i u nich platí podobné aspekty jako u tumorů a trombů. RT3DE podle našich zkušeností v zásadě neposkytuje žádnou výhodu proti 2DE při rozhodování o podstatě/původu jednotlivých útvarů.

Obrázek 2 Skutečný trombus protrudující z ouška levé síně (šipka)

Patologie síňového septa

Primární embryonální mezisíňový zkrat se uzavírá přerůstáním lamin primárního a sekundárního síňového septa s uzavěrem foramen ovale (FO) těsně po narození. Ve skutečnosti asi u 25–30 % populace lze prokázat otevřené FO (autopsií či echokardiografií). Již z 2DE známe u dospělých různé definitivní podoby vývoje síňového septa, a to bez ohledu na patenci FO – od lehké několika-milimetrové distenze dvou lamin až po poměrně velké mezisíňové prostory. Teprve RT3DE nám však ukázala obrovskou variabilitu oválné fossy a především inserce laminy na levosíňové straně. Většinou má podobu dvou křídel směřujících vzhůru (*obrázek 5*), jindy několika rozvětvených šlašinek, výjimkou nejsou ani dlouhé tunely. Přitom vnější pohled neříká nic o tom, zda FO je průchodné či nikoli; odpověď na to dá buď „cropping“ 3D obrazu, anebo test s kontrastem a Valsalvovým manévrem.

Obrázek 3 Různé podoby trabekulizace levého ouška.

Obr. 3A a D ukazují extrémní formy: ouško bez trabekul (A) a bohatě trabekulizované s mnoha recesy (D – podélný řez). Na obr. 3B a C jsou poměrně frekventní formy s jednou dominantní centrální trabekulou.

Obrázek 4 Dvojrozměrný a trojrozměrný obraz svalových trámců levého ouška (LAA)

Obrázek 5 PFO z pohledu levé síně při 3DE. Plné šipky ukazují vstup do „kapsy“ PFO, přerušované šipky úpony primárního septa na laminu sekundárního septa. Levý obrázek ukazuje odpovídající řez 2DE s naznačeným barevným tokem přes PFO. AO – aorta; LA, RA – levá a pravá síň; SP – septum primum

Obrázek 6 „Full volume“ 3DE obrázek levoprávého zkratu přes defekt síňového septa

Obrázek 7 Aneurysma síňového septa s mnohočetnými drobnými defekty (septum cribrosum) ve dvojrozměrné a trojrozměrné echokardiografii. Uprostřed je zobrazen pohled z levé síně do aneurysmatu. Drobné defekty jsou označeny šipkami. Pravá část obrázku ukazuje drobné jety do pravé síně.

Zlatým standardem pro detekci PFO je stále TEE (trans-thorakální 3DE má jen 88% senzitivitu).¹² Dvojrozměrná echokardiografie je zcela dostačující pro průkaz LP zkratu. Trojrozměrná echokardiografie může pomoci v lokalizaci defektu, nicméně ta je ve většině případů jasná již z pozorného provedení 2DE.

Je pravda, že ultrazvukové paprsky v mnoha běžných TEE projekcích probíhají paralelně se síňovým septem a důsledkem toho jsou arteficiální výpadky simulující opravdový defekt. Pokud však jsou projekce i nastavení přístroje vyhovující, není pochyb o tom, že RT3DE může velmi rychle a přehledně zobrazit skutečný defekt síňového septa (obrázek 6). (Měření rozměrů je ve světě RT3DE promítnutého na plochu obrazovky v podstatě zapovězeno. Výjimku tvoří možnost použití mřížky [grid] implementované do obrazu za předpokladu, že zobrazená rovina struktury je rovnoběžná s rovinou obrazovky.) Pak také popis defektu velmi dobře koreluje s chirurgickým nálezem (problémem může být, že s měněním se tlakem a průtokem v průběhu cyklu *in vivo* může velikost defektu kolísat).¹³ Trojrozměrná echokardiografie je samozřejmě cenná i při vyšetření jiných vrozených vad. Italští chirurgové ohodnotili RT3DE jako velmi přínosnou u 15 ze 43 pacientů s komplexní vrozenou srdeční vadou – tedy že poskytla podrobnější anatomickou představu a pohled podobný jako na otevřeném srdci.¹⁴ Podobně DeCastro zhodnotil přínos RT3DE oproti 2DE jako cenný pro klinické rozhodnutí u 35 % pacientů vyšetřených s komplexní srdeční vadou.¹⁵

Obrázek 8 Zavedený a rozepjatý Amplatzův okluder v defektu síňového septa (SS). Zřetelně je vidět menší levosíňová a větší pravosíňová komponenta. Defekty v horní části septa jsou pouze technickým artefaktem.

Příklad velkého aneurysmatu síňového septa s drobnými defekty – septum cribrosum – ukazuje *obrázek 7*.

Trojrozměrná echokardiografie a intervenční výkony

Velmi vděčná je RT3DE u katetrizačního uzávěru defektů síňového septa, resp. PFO Amplatzovým okluderem. Přestože intervenční kardiologové se většinou řídí především skiaskopickým obrazem a klasické 2D TEE užívají jen po výkonu ke kontrole usazení a těsnosti okluderu, stále více se užívá jícnové RT3DE pro peroperační monitoring intervence (*obrázek 8*)¹⁶ a také pro pooperační sledování.¹⁷ Bylo například prokázáno, že pacienti po transkatetrovém uzávěru ASD vykazují oproti operované skupině větší síňovou asynchronii, přestože objemy a ejekční frakce jsou v obou skupinách stejné.¹⁸ RT3DE může být dobrým pomocníkem při posouzení efektu ligace levého ouška.¹⁹ S úspěchem byla vyzkoušena v experimentálních podmínkách pro navádění robota DaVinci při uzávěru defektu síňového septa.²⁰ Pokud byla sonda RT3DE přiložena přímo na srdce, dařilo se v experimentu na zvířatech na bijícím srdci (bez bypassu) z atriálního portu zavedeného do ouška pravé síně provést septotomii, rozšíření defektu a následnou

Obrázek 9 Pohled z levé síně do ústí pravé horní plicní žíly

Obrázek 10 Pohled z pravé síně do ústí koronárního sinu (CS) RV – pravá komora, TRI – trikuspidální chlopu

suturu defektu, přičemž parametry tohoto uměle vytvořeného defektu měřené ultrazvukem se prakticky shodovaly s nálezem z pozdější nekropsie.²¹

Trojrozměrná echokardiografie je instruktivní při zobrazení například průběhu elektrod v srdci. Odtud už je jen malý krok k tomu, aby se řada týmů, jak již bylo zmíněno, pokoušela o využití RT3DE u radiofrekvenčních ablačních výkonů, ať už k navádění katetrů (zde se v publikovaných pracích většinou srovnávají výhody intrakardiálního ultrazvuku a RT3DE), anebo ke stanovení objemů, funkce síní či jejich morfologie v souvislosti s intervencemi. Delgado použil 3D echokardiografii k posouzení funkce levé síně šest měsíců po ablaci fibrilace: funkce zůstala nezměněna a objem se zmenšil – zřetelněji u těch, kteří neměli recidivy fibrilace.²² Technickým problémem může být fakt, že dilatovaná levá síň ležící blízko jícnové sondy může svými rozměry přesahovat ultrazvukový sektor, výpočet objemu i znázornění plicních žil může být v takovém případě velmi obtížné. *Obrázky 9 a 10* ukazují vstup do pravé horní plicní žíly a do koronárního sinu. Tato projekce by se dala v praxi jistě využít. Na tomto poli – intervenční kardiologie – se hlavní ofenziva RT3DE teprve chystá.

Závěr

Co nám tedy RT3DE vlastně poskytuje? Nepochybně *nové pohledy na již známou realitu*. V případě, že realitu neznáme dost dobře, pak *více informací*. Informace jsou *rychleji* dostupné. A snad možná nejdůležitější: ze své zkušenosti mohu potvrdit, že po určitých letech důvěrného života s echokardiografií se může vkrádat do tohoto vztahu určitá rutina. Objev 3D echokardiografie je vzpruhou, která opět vrátí do dnů echokardiografisty mladické zanícení. Může RT3DE nahradit jiné metody? Toť otázka; stejně jako to, zda dokáže opravdu podstatně měnit terapeutické přístupy.

A co nám RT3DE bere? Bere nám *schopnost imaginace*. Krade náš čas, který věnujeme zpracování 3D obrazů („crop until you drop“). Je dalším krokem k tomu, aby se

s prohlubující lékařskou specializací *omezila univerzálnost a nadhled*. A v neposlední řadě – jako každá jiná dokonalá zobrazovací technika – nás může plíživě *připravovat o vnímavost*, otevřenou mysl a zdravý klinický úsudek.

Skutečně vzdělaný a moudrý lékař se však s touto pastí dokáže vyrovnat a může za pomoci 3D echokardiografie svou klinickou zkušenost dále rozvíjet.

Literatura

1. Salustri A, Roelandt J, Ten CF, et al. Dynamic transthoracic and transesophageal tridimensional echocardiography using rotational technique. A new perspective in echocardiography. *G Ital Cardiol* 1994;24:1187–1198.
2. Schwartz SL, Cao QL, Azevedo J, et al. Simulation of intraoperative visualization of cardiac structures and study of dynamic surgical anatomy with real-time three-dimensional echocardiography. *Am J Cardiol* 1994;73:501–507.
3. Aune E, Baekkevar M, Roislien J, et al. Normal reference ranges for left and right atrial volume indexes and ejection fractions obtained with real-time three-dimensional echocardiography. *Eur J Echocardiogr* 2009;10:738–744.
4. Poutanen T, Jokinen E, Sairanen H, et al. Left atrial and left ventricular function in healthy children and young adults assessed by three dimensional echocardiography. *Heart* 2003;89:544–549.
5. Jenkins C, Bricknell K, Marwick TH. Use of real-time three-dimensional echocardiography to measure left atrial volume: comparison with other echocardiographic techniques. *J Am Soc Echocardiogr* 2005;18:991–997.
6. Muller H, Burri H, Shah D, et al. Evaluation of left atrial size in patients with atrial arrhythmias: comparison of standard 2D versus real time 3D echocardiography. *Echocardiography* 2007;24:960–966.
7. Muller H, Burri H, Gentil P, et al. Measurement of left atrial volume in patients undergoing ablation for atrial fibrillation: comparison of angiography and electro-anatomic (CARTO) mapping with real-time three-dimensional echocardiography. *Europace* 2010.
8. Artang R, Migrino RQ, Harman L, et al. Left atrial volume measurement with automated border detection by 3-dimensional echocardiography: comparison with magnetic resonance imaging. *Cardiovasc Ultrasound* 2009;7:16.
9. Valocik G, Kamp O, Mihciokur M, et al. Assessment of the left atrial appendage mechanical function by three-dimensional echocardiography. *Eur J Echocardiogr* 2002;3:207–213.
10. Anwar AM, Nosir YF, Ajam A, et al. Central role of real-time three-dimensional echocardiography in the assessment of intracardiac thrombi. *Int J Cardiovasc Imaging* 2010;26:519–526.
11. Vivo RP, Krim SR, la Cruz JD, et al. Multimodality imaging of giant prolapsing left atrial myxoma. *Methodist DeBakey Cardiovasc J* 2010;6:40–42.
12. Maffe S, Dellavesa P, Zenone F, et al. Transthoracic second harmonic two- and three-dimensional echocardiography for detection of patent foramen ovale. *Eur J Echocardiogr* 2010;11:57–63.
13. Mweri ST, Deng Y, Cheng P, et al. Evaluation of atrial septal defect using real-time three-dimensional echocardiography: comparison with surgical findings. *J Huazhong Univ Sci Technolog Med Sci* 2009;29:257–259.
14. Del PA, Sanders SP, de ZA, et al. Impact of three-dimensional echocardiography in complex congenital heart defect cases: the surgical view. *Pediatr Cardiol* 2009;30:293–300.
15. De CS, Caselli S, Papetti F, et al. Feasibility and clinical impact of live three-dimensional echocardiography in the management of congenital heart disease. *Echocardiography* 2006;23:553–561.
16. Georgakis A, Radtke WA, Lopez C, et al. Complex atrial septal defect: percutaneous repair guided by three-dimensional echocardiography. *Echocardiography* 2010;27:590–593.
17. Hengrussamee K, Katekangplu P, Porapakham P, et al. Immediate, short and intermediate results of transcatheter closure of secundum-type atrial septal defect using Amplatzer septal occluder devices. *J Med Assoc Thai* 2008;91:995–1001.
18. Ma XJ, Huang GY, Liu F, et al. The impacts of transcatheter occlusion for congenital atrial septal defect on atrial volume, function, and synchronicity in children: a three-dimensional echocardiography study. *Echocardiography* 2008;25:1101–1111.
19. Matyal R, Karthik S, Subramaniam B, et al. Real-time three-dimensional echocardiography for left atrial appendage ligation. *Anesth Analg* 2009;108:1467–1469.
20. Suematsu Y, Kiai B, Bainbridge DT, et al. Robotic-assisted closure of atrial septal defect under real-time three-dimensional echo guide: in vitro study. *Eur J Cardiothorac Surg* 2007;32:573–576.
21. Suematsu Y, Takamoto S, Kaneko Y, et al. Beating atrial septal defect closure monitored by epicardial real-time three-dimensional echocardiography without cardiopulmonary bypass. *Circulation* 2003;107:785–790.
22. Delgado V, Vidal B, Sitges M, et al. Fate of left atrial function as determined by real-time three-dimensional echocardiography study after radio-frequency catheter ablation for the treatment of atrial fibrillation. *Am J Cardiol* 2008;101:1285–1290.

Došlo do redakce 23. 5. 2011

Přijato 23. 5. 2011