

Trodimenzionalna ehokardiografija u realnom vremenu: Značaj treće dimenzije u svakodnevnom kliničkom radu

Bosiljka Vujisić-Tešić^{1,2}, Milan Petrović^{1,2}, Marija Boričić¹, Gordana Draganić¹, Danijela Trifunović^{1,2}

¹Klinika za kardiologiju, Klinički centar Srbije; ²Medicinski fakultet, Univerzitet u Beogradu

Sažetak

Tokom poslednje četiri decenije ehokardiografija je, pored elektrokardiografije, postala osnovna dijagnostička metoda u kardiologiji. Istovremeno sa napretkom tehnologije mikroprocesora i računara dijagnostičke mogućnosti ehokardiografije su se eksponencijalno povećavale. Iako je konvencionalna ehokardiografija značajno doprinela razumevanju morfologije i funkcije srca, limitirana je prikazom u dve dimenzije, što zahteva mentalnu rekonstrukciju treće dimenzije od strane ehokardiografera. Zato je koncept trodimenzijskog prikaza (3D) prihvaćen kao prirodna evolucija ove tehnologije. Poslednje decenije svedoci smo razvoja 3D ehokardiografije od spore naknadne (off line) rekonstrukcije srčanih struktura u sliku volumena u realnom vremenu (RT3D). Glavna dokazana prednost ove tehnike je poboljšanje tačnosti ehokardiografske procene volumena i mase srčanih šupljina, koja je postignuta eliminisanjem potrebe za geometrijskim modelima i greškama izazvanih skraćenim preseccima. Druga prednost RT3D snimanja je realan i jedinstveni sveobuhvatni pogled na srčane zalistke i kongenitalne anomalije, što se pokazalo izuzetno korisnim u vođenju perkutanih procedura i intraoperativnih hirurških intervencija. Međutim, za uključivanje 3D ehokardiografije u kliničku praksu, obavezno je puno razumevanje tehničkih principa i sistematičan pristup prikupljanja i analize dobijenih slika. Potrebno je i razumevanje prostorne anatomije i hemodinamike, poznavanje ograničenja ove metode i interpretaciju nalaza uz pažljiv klinički pregled.

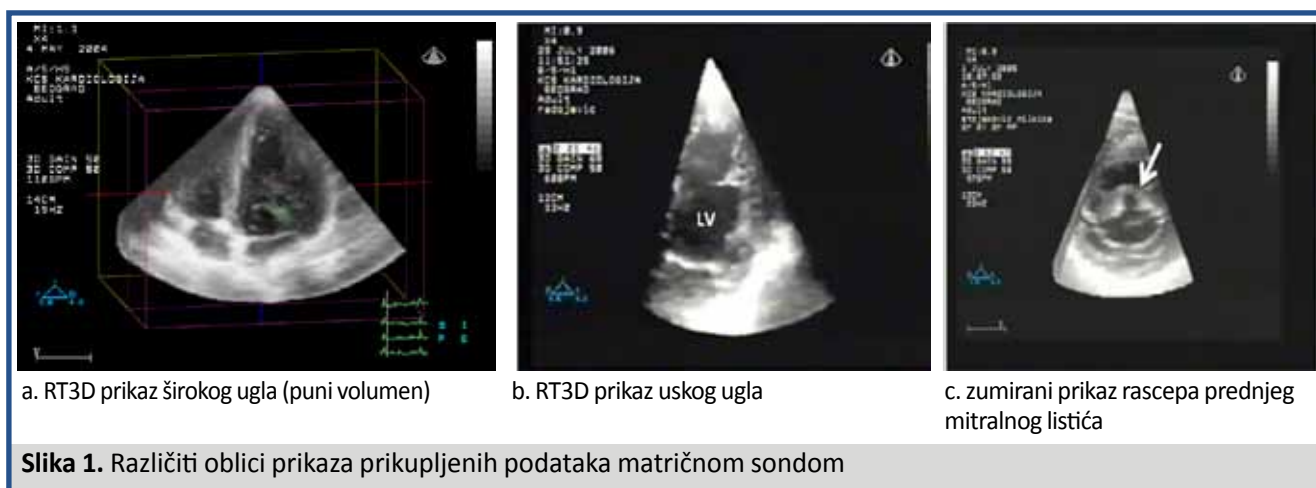
Ključne reči 3D ehokardiografija, tehnički principi, klinička primena

Tokom poslednje četiri decenije ehokardiografija je, pored elektrokardiografije, postala osnovna dijagnostička metoda u kardiologiji. Istovremeno sa napretkom tehnologije mikroprocesora i računara dijagnostičke mogućnosti ehokardiografije su se eksponencijalno povećavale, kao rezultat rasta našeg znanja i razvoja elektronike. Od prvih A mod prikaza u vidu šiljaka na osciloskopu kao refleksije jednog ultrazvučnog zraka koji je prošao kroz tkiva, preko prikaza anatomije i funkcije srca u jednoj ravni M mod, i dvodimenzijom ehokardiografijom (2D), do trodimenzijske ehokardiografske (3DE) slike volumena u realnom vremenu dobijenog iz bilo koje perspektive. Slika, u kombinaciji sa pulsanim, kontinualnim i kolor Doppler-om, dala je novi kvalitet ehokardiografske dijagnostici. Iako je 2D ehokardiografija u realnom vremenu, imala uticaja na našu sposobnost da razumemo i dijagnostikujemo valvularnu i ishemijsku bolest srca, koncept trodimenzijskog prikaza je prihvaćen kao prirodna evolucija ove tehnologije. Poslednje decenije svedoci smo razvoja 3D ehokardiografije od spore naknadne (off line) rekonstrukcije srčanih struktura u sliku volumena u realnom vremenu. Glavna dokazana prednost ove tehnike je poboljšanje tačnosti ehokardiografske procene volumena

i mase srčanih šupljina, koja je postignuta eliminisanjem potrebe za geometrijskim modelima i greškama izazvanih skraćenim preseccima. Druga prednost 3DE snimanja je realan i jedinstveni sveobuhvatni pogled na srčane zalistke i kongenitalne anomalije kao i volumetrijska procena regurgitirajućih lezija i šantova 3DE kolor Doppler-om. Osim toga, 3D prikaz se pokazao izuzetno korisnim u vođenju perkutanih procedura i intraoperativnih hirurških intervencija. Međutim, za uključivanje 3D ehokardiografije u kliničku praksu, obavezno je puno razumevanje tehničkih principa i sistematičan pristup prikupljanja (akvizicije) i analize dobijenih slika.¹⁻⁴

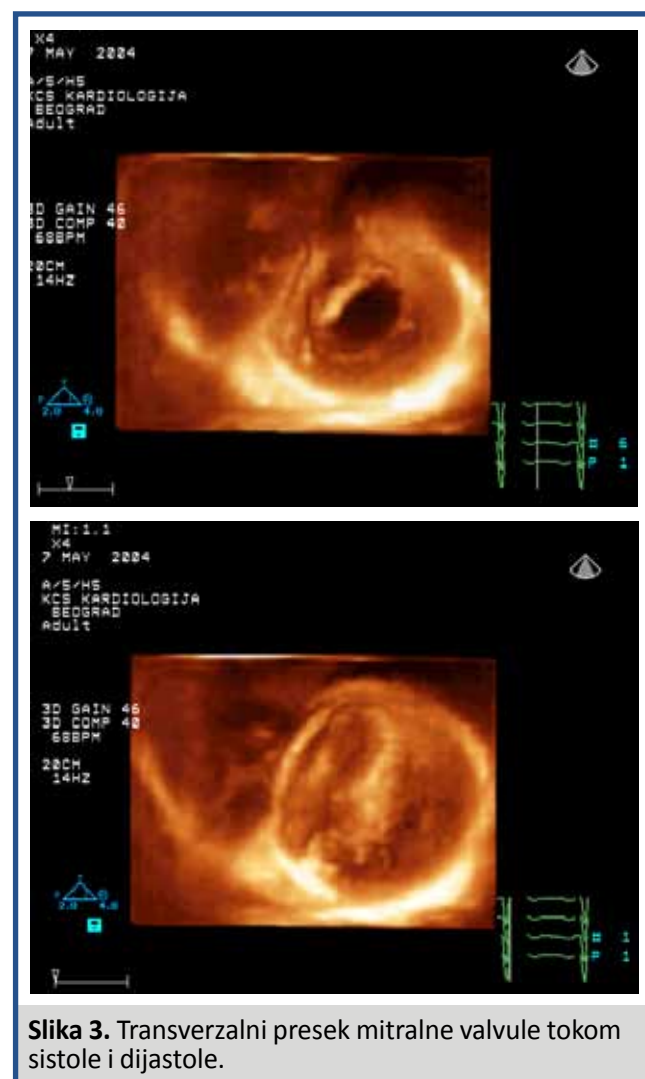
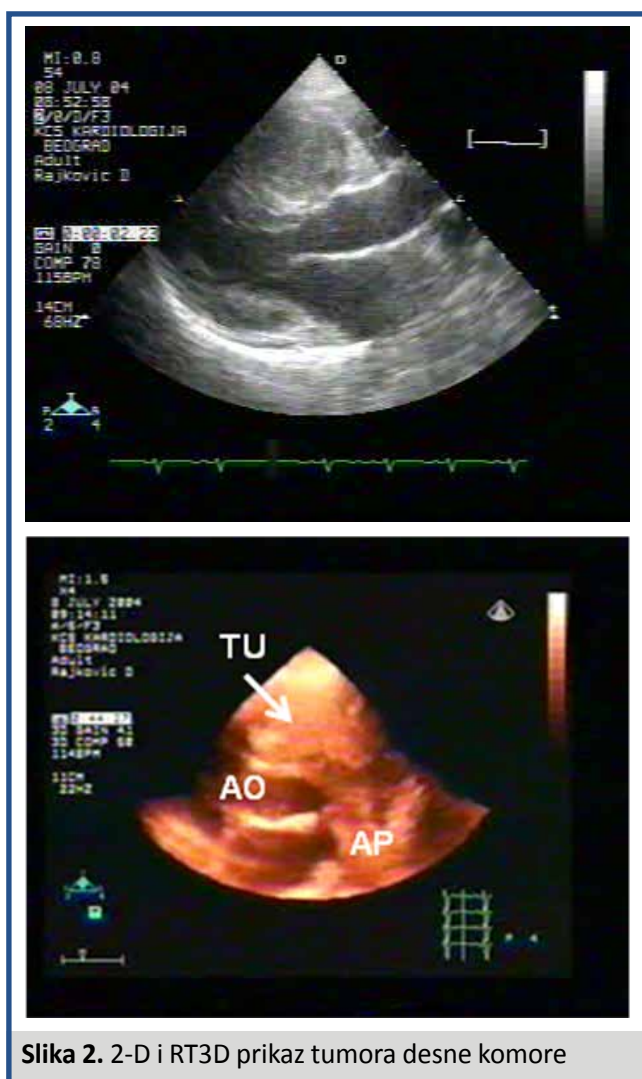
Tehnički principi

Prikupljanje podataka u tri dimenzije je moguće upotrebom različitih tehnika kao što su: 3DE u realnom vremenu, (Real-time 3D, live 3D) sa specijalnim sistemom matricnih (matrix-array) pretvarača, kao i 3DE rekonstrukcija u više srčanih ciklusa, bazirana na brojnim u nizu dobijenim, 2D preseccima (slično multi-plane TEE), koji se kasnije prikazuju zajedno. 3DE prikaz u realnom vremenu (RT3DE) odnosi se na prikupljanje više piramidalnih grupa podataka u sekundi u jednom srčanom otkucaju.



Većina ultrazvučnih sistema imaju mogućnost RT3DE prikaza volumena na više načina (slika 1): 3D uskog volumena, zumirani 3D prikaz, 3D širokog ugla (puni volumen) i 3D kolor širokog ugla. Mada ova metodologija prevazilazi ograničenja nametnuta disanjem bolesnika ili srčanom aritmijom, ograničena su lošijom vremenskom i prostornom rezolucijom. Nasuprot tome, više-pulsna 3D ehokardiografija pruža slike veće vremenske rezolucije, ali sa smetnjama u prikazivanju koje potiču zbog respiratornih pokreta ili srčanih aritmija bolesnika.

Lakoća prikupljanja podataka matričnom sondom, mogućnost da se slika gotovo celo srce u realnom vremenu, kao i mogućnost da se fokusira na određene strukture u jednom otkucaju, dovele su 3D ehokardiografiju bliže rutinskoj kliničkoj upotrebi. Takođe, 3DE dozvoljava morfološku analizu srčanih struktura uključujući i delove srca koji se ne mogu vizualizovati konvencionalnom ehokardiografijom. Za 3DE nije potrebna mentalna rekonstrukcija anatomije srca, što značajno smanjuje subjektivnost tumačenja. (slika 2) Pored toga iz sakupljenih podataka prikazanih u obliku



punog volumena mogu se naknadno izrezati (cropping) ili preseći u više ravni, da bi se identifikovale komponente valvularnih struktura unutar volumena ili vizualizovali 2D preseki u frontalnoj, sagitalnoj ili transverzalnoj ravni. (Slika 3)

Pre 3DE akvizicije, 2D slike moraju biti optimizovane: „Suboptimalne 2D slike usloviće i suboptimalne 3DE skupove podataka”.^{1,2} Dalje je potrebna i pažljiva 3D optimizacija dobijenog prikaza. Sa viškom pojačanja (gain), smanjuje se rezolucija i gubi se 3D perspektiva ili dubina unutar dobijenih podataka. Suprotno, nisko postavljanje gain-a uslovljava gubitak ehoa (dropout), s potencijalnim arteficialnim uklanjanjem anatomskih struktura koje se ne mogu vratiti za vreme obrade.

U poređenju sa drugim imidžing tehnikama RT3D ehokardigrafija je za sada, jedina metoda zapreminskog skeniranja srca u realnom vremenu koja je na raspolaganju. Kompjuterizovana tomografija (CT) i magnetna rezonanca (MR) su zasnovane na naknadnoj (off line) rekonstrukciji. RT3D ima vrhunsku vremensku rezoluciju (mada još značajno manju od 2D ehokardigrafije). MRI i CT imaju superiornu prostornu rezoluciju u odnosu na RT3D. Kompletna RT3D studija može zahtevati više od jedne eho akvizicije sa povećanjem ugla sektora, zbog ograničenja penetracije i pada prostorne i vremenske rezolucije.

Klinička primena

Jedna od ključnih prednosti RT3D ehokardigrafije, je njena sposobnost da obezbedi tačnu kvantifikaciju ukupne i regionalne funkcije leve komore (LV) kao i masu LV. Više studija je pokazalo da je RT3D ehokardigrafija preciznija od 2D prikaza, u poređenju sa MR koja se smatra zlatnim standardom za izračunavanje volumena i ejekcione frakcije.⁶ Dva su ključna razloga za veću preciznost: RT3D je manje zavisna od pretpostavki i potrebe za geometrijskim modelovanjem, a izbegnuti su i problemi u vezi sa skraćenim prikazom duge ose srca 2D tehnikom.⁷ Iz sličnih razloga RT3D je tačnija i za izračunavanje mase LV.⁸

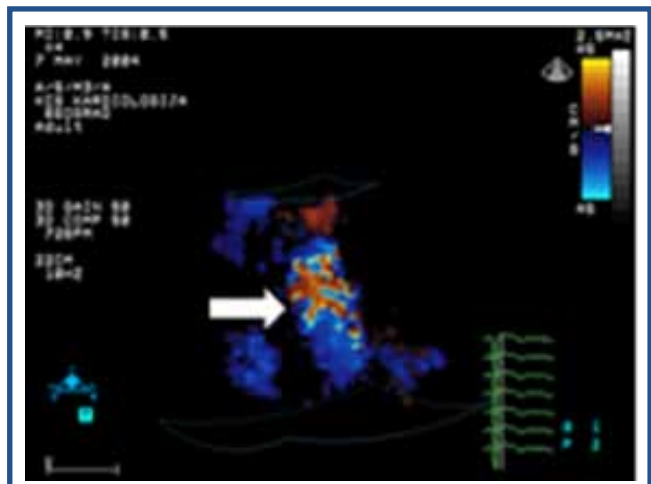
Primena kontrasta sa opacifikacijom šupljine LV, dalje poboljšava procenu jer dozvoljava bolju vizualizaciju trabekula koji se često slabo vide RT3D prikazom, a koje pri proceni volumena uz papilarne mišiće treba uključiti u šupljinu leve komore. U suprotnom volumeni mogu biti podcenjeni u odnosu na MR.⁹

Direktna RT3D procena regionalne pokretljivosti zida LV usmerena je ka objektivnijem otkrivanju ishemijske bolesti srca u mirovanju¹⁰ i tokom stres testa.¹¹

Takođe, kvantifikacija sistolne asinhronije RT3D ehokardigrafijom pokazala se korisnom za izbor i optimizaciju resinhronizacione terapije.¹²

Istraživanja valvularne bolesti srca, naročito mitralne valvule, daju prednost RT3D ehokardigrafiji, zbog mogućnosti tačnog opisa valvularnih segmenata i karakteristika u planiranju hirurških rekonstrukcija.^{1,2,13} Istovremeno je moguća procena funkcionalne dinamike valvula kao i bolja komunikacija sa hirurzima zbog mogućnosti hirurškog viđenja mitralne valvule.^{14,15} Intenzivna istraživanja se vrše i na polju zapreminske kvantifikacije kolor dopler prikaza regurgitirajućih lezija, šantova i minutnog volumena.^{16,17,18}

RT3D ehokardigrafija je našla svoje mesto i u salama za interventnu kardiologiju kao vodič u brojnim perkutanim procedurama (videti Tabelu 1).^{1-3,19,20}



Slika 3. 3-D prikaz mlaza mitralne regurgitacije

Indikacije za 3D ehokardigrafiju kao i stanje na polju istraživanja prikazane su na Tabeli 1.

Tabela 1. Indikacije za 3D ehokardigrafiju

	Preporučeno za kliničku praksu	Perspektivne kliničke studije	Polje aktivnog istraživanja	Neporučeno
Procena funkcije leve komore				
Zapremina	+			
Oblik			+	
Ejaciona frakcija	+			
Disinhronija			+	
Masa		+		
Procena funkcije desne komore				
Zapremina		+		
Oblik				+
Ejaciona frakcija		+		
Procena leve pretkomore				
Zapremina			+	
Procena desne pretkomore				
Zapremina				+
Procena mitralne valvule				
Anatomija	+			
Stenoze	+			
Regurgitacija			+	
Procena aortne valvule				
Anatomija		+		
Stenoze		+		
Regurgitacija				
Procena trikuspidne i pulmonalne valvule				
Anatomija				+
Stenoze				+
Regurgitacija				+
kongenitalne anomalije sem ASD-a				+
Srčane mase				
Vegetacije, trombi				+
tumori				+
stres ehokardigrafija			+	
Veštačke valvule			+	
Vođenje transkateterskih procedura*	+			

Modifikovano iz Lang MR et al¹. *mitralni klips, mitralna valvuloplastika, perkutana implantacija aortne valvule, zatvaranje pretkomorskog defekta, ventrikularnog defekta i obliteracija aurikule leve pretkomore

Sve dok se 3D ehokardiografija u potpunosti ne uklopi u svakodnevnu kliničku praksu, protokoli i tehnike biće fokusirane na određene bolesti i proces rada u laboratorijama gde se obavlja. Trenutno, mnoge laboratorije izvode kompletna 2DE ispitivanja na koje se nadovezuju fokusirane 3DE studije.^{1,2} Prema poslednjim EAE/ASE preporukama¹ izvođenje 3D ehokardiografije treba započeti uvođenjem jednostavnijih procedura ka složenijim. Pre svega, treba se upoznati sa komandama i optimizacijom slike, potom vežbati akviziciju tokom disanja, koristiti mogućnosti preseka u više ravni, kao i procenu funkcije leve komore. Valvule i kompleksnije mane ostaviti za kasnije.

Osnovna ograničenja 3D ehokardiografije odnose se na suboptimalne prikaze koji su u vezi sa pomeranjem UZ sonde tokom akvizicije kao i varijacija tokom respiratornih faza i/ili RR intervala. Rekonstrukcija prikaza je zavisna od operatera. Originalne sive vrednosti se delimično gube u 3D prikazu, zbog čega se ne mogu dobiti karakteristike tkiva.

U zaključku, treba naglasiti da 3D ehokardiografija predstavlja značajan korak u tehnologiji digitalnih slika, ali je njihova procena i interpretacija kompleksna. Zateva razumevanje prostorne anatomije i hemodinamike, poznavanje ograničenja ove metode i interpretaciju nalaza uz pažljiv klinički pregled. Međutim, 3D ehokardiografija ima značajne prednosti u dijagnostičkoj tačnosti i kliničkom odlučivanju posebno u proceni bolesti kao što su srčana insuficijencija, valvularne i urođene srčane mane. U bliskoj budućnosti sposobnost sakupljanja volumetrijskih podataka sa visokom vremenskom i prostornom rezolucijom u jednom srčanom otkucaju, daje još veće mogućnosti 3D ehokardiografiji za integraciju u svakodnevnu kliničku praksu.

Literatura

- Lang MR, Badano PL, Tsang W, et al. Guidelines and standards EAE/ASE. Recommendations for image acquisition and display using three-dimensional echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2012; 25:3-46.
- Hung J, Lang MR, Flachskampf F, et al. 3D echocardiography: A review of the current status and future directions. *J Am Soc Echocardiogr* 2007;20:213-33.
- Lang MR, Mor-Avi V, Sugeng L, et al. Three-dimensional echocardiography. The benefits of the additional dimension. *J Am Coll Cardiol* 2006;48:2053-69.
- Mor-Avi V, Sugeng L, Lang RM. Real-time three-dimensional echocardiography: an integral component of the routine echocardiographic examination in adult patients? *Circulation* 2009;119:314-29.
- Sugeng L, Weinert L, Thiele K, Lang RM. Real-time threedimensional echocardiography using a novel matrix array transducer. *Echocardiography* 2003;20:623-35.
- Kuhl HP, Schreckenberg M, Rulands D et al. High resolution transthoracic real-time three dimensional echocardiography - Quantitation of cardiac volumes and function using semiautomatic border detection and comparison with cardiac magnetic resonance imaging. *J Am Coll Cardiol* 2004;43:2083-90.
- Monaghan MJ. Role of real time 3D echocardiography in evaluating the left ventricle. *Heart* 2006;92:131-6.
- Mor-Avi V, Sugeng L, Lang RM. Real-time 3-dimensional echocardiography: an integral component of the routine echocardiographic examination in adult patients? *Circulation* 2009;119:314-29.
- Krenning BJ, Kirschbaum SW, Soliman OI, et al. Comparison of contrast agent-enhanced versus noncontrast agent-enhanced real-time three-dimensional echocardiography for analysis of left ventricular systolic function. *Am J Cardiol* 2007;100:1485-9.
- Maehle J, Bjoernstad K, Aakhus S, Torp HG, Angelsen BA. Three-dimensional echocardiography for quantitative left ventricular wall motion analysis: a method for reconstruction of endocardial surface and evaluation of regional dysfunction. *Echocardiography* 1994;11:397-408.
- Matsumura Y, Hozumi T, Arai K, et al. Non-invasive assessment of myocardial ischaemia using new real-time three-dimensional dobutamine stress echocardiography: comparison with conventional two-dimensional methods. *Eur Heart J* 2005;26:1625-32.
- Krenning BJ, Szili-Torok T, Voormolen MM, et al. Guiding and optimization of resynchronization therapy with dynamic threedimensional echocardiography and segmental volume—time curves: a feasibility study. *Eur J Heart Fail* 2004;6:619-25.
- LP, Weinert L, Lang RM. Real Time 3D Echocardiography for Rheumatic mitral valve stenosis evaluation: An accurate and novel approach. *J Am Coll Cardiol* 2004;42(11):2091-6.
- Delabays J, Jeanrenaud X, Chassot PG, et al. Localization and quantification of mitral valve prolapse using threedimensional echocardiography. *Eur J Echocardiogr* 2004;5(6):422-9.
- Kwan J, Qin JX, Popovic ZB, et al. Geometric changes of mitral annulus assessed by real-time 3-dimensional echocardiography: becoming enlarged and less nonplanar in the anteroposterior direction during systole in proportion to global left ventricular systolic function. *J Am Soc Echocardiogr*. 2004;17(11):1179-84.
- Gianfaldoni ML, Venturi F, Petix NR, et al. Quantitative evaluation of functional mitral insufficiency in dilated cardiomyopathy: morphological and functional correlations. *Ital Heart J* 2002;3:738-45.
- Hofmann T, Franzen O, Koschyk DH, Von KY, Goldmann B, Meinerz T. Three-dimensional color Doppler echocardiography for assessing shunt volume in atrial septal defects. *J Am Soc Echocardiogr* 2004;17:1173-8.
- Pemberton J, Li X, Karamlou T, et al. The use of live three dimensional Doppler echocardiography in the measurement of cardiac output: an in vivo animal study. *J Am Coll Cardiol* 2005;45:433-8.
- Maeno YV, Benson LN, McLaughlin PR, Boutin C. Dynamic morphology of the secundum atrial septal defect evaluated by three dimensional transoesophageal echocardiography. *Heart* 2000;83:673-7.
- Magni G, Cao QL, Sugeng L, et al. Volume-rendered, threedimensional echocardiographic determination of the size, shape, and position of atrial septal defects: validation in an in vitro model. *Am Heart J* 1996;132:376-81.

Abstract

Real time three-dimensional echocardiography: The importance of the third dimension in everyday clinical practice

Bosiljka Vujisić-Tešić^{1,2}, Milan Petrović^{1,2}, Marija Boričić¹, Gordana Draganić¹, Danijela Trifunović^{1,2}

¹Faculty of Medicine, University of Belgrade, Serbia; ²Clinic of cardiology, Clinical center of Serbia, Belgrade

Over the past four decades, echocardiography, in addition to electrocardiography, became a primary diagnostic tool in cardiology. At the same time by the development of microprocessors and computers technology, diagnostic capabilities of echocardiography have been increased exponentially. Although conventional echocardiography contributed significantly to the understanding of the morphology and function of the heart, the display is limited in two dimensions, which requires mental reconstruction of the third dimension by the sonographer. That is why the concept of three-dimensional display (3D) was accepted as a natural evolution of the technology. During the last decade there is the evident development of 3D echocardiography from subsequent slow (off-line) reconstruction of cardiac structures to the real time volume imaging (RT3D). The main proven advantage of this technique is the improved accuracy of echocardiographic assessment of volume and mass of the heart cavities, which is achieved by eliminating the need for geometric models and errors caused by short sections. Another advantage of RT3D recording is unique, realistic and comprehensive view of overall cardiac valvular and congenital anomalies, which proved to be extremely useful in guiding percutaneous procedures and intraoperative surgical interventions. However, the inclusion of 3D echocardiography in clinical practice, requires the understanding of the technical principles and a systematic approach to the acquisition and analysis of images. It also requires an understanding of spatial anatomy and hemodynamics, knowledge of the limitations of these methods and the interpretation of findings with careful clinical examination.

Keywords: 3D-echocardiography, indications