

Derleme

Üç Boyutlu Ekokardiyografi

Uzm.Dr. Demet Menekşe GEREDE, Prof.Dr. Çetin EROL

Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Kardiyoloji Ana Bilim Dalı, Ankara

Özet

Üç boyutlu ekokardiyografi (3BE), kardiyovasküler ultrason alanındaki önemli bir yeniliktir. Bilgisayar ve prob teknolojisindeki gelişmeler, eş zamanlı üç boyutlu ekokardiyografik görüntü elde edilmesine ve çeşitli uzaysal noktalardan kardiyak yapıların görüntülenmesine imkan sağlamaktadır. 3BE'nin, kalp boşluklarının hacim ve kitlesinin değerlendirilmesinde, bölgesel duvar hareketlerinin incelenmesi ve sistolik dissenkroninin saptanmasında, kalp kapaklarının gerçekçi görüntülerinin elde edilmesinde, yetmezlik ve şant akımlarının renkli doppler ile volümetrik değerlendirilmesinde ve stress ekokardiyografi incelemelerinde faydalı olduğu gösterilmiştir. 3BE'nin rutin klinik pratikte kullanabilmesi için teknik özelliklerinin anlaşılması ve görüntü elde edilmesinde ayrıca analizinde sistematik bir yaklaşım uygulanması gereklidir. Bu derlemenin amacı 3BE için genel bilgiler vermek, pratikte kullanım alanları ve kısıtlı olduğu konuları özetlemektir.

Anahtar Kelimeler: Ekokardiyografi, Üç boyutlu ekokardiyografi

Three-Dimensional Echocardiography

Summary

Three-dimensional (3D) echocardiographic (3DE) imaging represents a major innovation in cardiovascular ultrasound. Advancements in computer and transducer technologies permit real-time 3DE acquisition and presentation of cardiac structures from any spatial point of view. The usefulness of 3D echocardiography has been demonstrated in the evaluation of cardiac chamber volumes and mass, which avoids geometric assumptions; the assessment of regional left ventricular (LV) wall motion and quantification of systolic dyssynchrony; presentation of realistic views of heart valves; volumetric evaluation of regurgitant lesions and shunts with 3DE color Doppler imaging; and 3DE stress imaging. However, for 3D echocardiography to be implemented in routine clinical practice, a full understanding of its technical principles and a systematic approach to image acquisition and analysis are required. The main goal of this document is to provide a practical guide on how to acquire, analyze, and display the various cardiac structures using 3D echocardiography, as well as limitations of the technique.

Key Words: Echocardiography, Three-dimensional echocardiography

Giriş

Eş zamanlı üç boyutlu ekokardiyografi teknolojisindeki tarihsel gelişmelerin en önemli dönüm noktası, 2000'li yılların başında matris dizilimli problemlerin üretilmesi ile olmuştur. Bu problemler yaklaşık 3000 kadar matris şeklinde dizilim gösteren piezoelektrik kristalleri içermektedir. Bu dizilim sayesinde ise aynı anda binlerce ultrason dalgasını gönderip toplayabilme kapasitesine sahip olmaktadır. 3BE problemlerinin frekansları genellikle transtorasik ekokardiyografi (TTE) için 2-4 MHz, transözofageal ekokardiyografi (TEE) için 5-7 MHz arasındadır. Bu özelliği nedeniyle 3BE problemleri iki boyutlu ekokardiyografi (2BE) problemlerinden bir miktar daha büyük olmaktadır.¹

Üç boyutlu görüntü elde edilmesi

İki farklı yöntem ile 3BE görüntüsü elde edilmektedir. (Şekil 1) İlki çoklu-atım 3BE görüntülemesi, diğeri ise tekli-atım 3BE görüntülemesidir. Çoklu-atım 3BE görüntüleme yöntemi, daha sık kullanılan ve eski olan yöntem olup, 2-7 kalp siklusunda elektrokardiyografi (ekg) ile tetiklenmiş olarak alınan subvolüm görüntülerin birleştirilmesi-yapıştırılması sonucu tek bir volümetrik dataset elde edilmesi şeklindedir. Görüntüleme sırasında hastanın nefesini tutması, probun veya hastanın hareket etmemesi, ekg'nin düzenli olması gibi faktörler görüntünün kalitesini etkileyebilmektedir. Bu şekilde elde edilen görüntülerin temporal ve uzaysal çözünürlüğü yüksek iken, bazen örneğin aritmik hastalarda ya

da hastanın nefesini tutamaması veya hareket etmesi gibi durumlarda yapışma artefaktları (stitching-artifact) oluşabilmektedir. Tekli-atım görüntüleme de ise tek bir kardiyak siklusda, birleştirilme işlemi yapılmaksızın tekli volumetrik datasetler alınmaktadır. Bu yöntem bize aritmisi veya nefes tutma problemi olan hastalarda ve stress ekokardiyografi işleminde avantaj sağlayabilmektedir. Ancak bu yaklaşımın en önemli dezavantajı görüntü kalitesini belirleyen faktörlerden biri olan frame rate (ekran hızı)'in düşük olmasıdır.² Sonuçta, çoklu-atım 3BE ile elde edilen görüntülerin temporal ve uzaysal çözünürlüğü yüksek iken, tekli-atım ile alınan 3BE görüntülerinin çözünürlüğü düşüktür.³

Üç boyutlu görüntü modları

1. Canlı mod (Live mode): Bu görüntü modu ekg gereksiz tek atımda elde edilen datalardan oluşur. 600x300x iki boyutlu görüntü derinliği boyutunda, 20-30 Hz frame rate'den oluşan piramidal datalar elde edilir. Bu mod daha çok girişimsel işlemlerde kullanılan moddur. Herhangi bir iki boyutlu kardiyak yapıyı incelemekte kullanılabilir⁴ (Şekil 2).

2. Zoom mod (Zoom mode): Aynı canlı modda olduğu gibi ekg gerektirmez. 200x200x900 boyutunda, 5-20 Hz frame rate'de görüntü elde edilebilmektedir. Bu mod adından da anlaşılacağı üzere kapaklar, interatriyal septum, sol atrial appendiks gibi anatomik yapıların yakından değerlendirilmesi ve girişimsel işlemlerde kullanılmaktadır.⁵

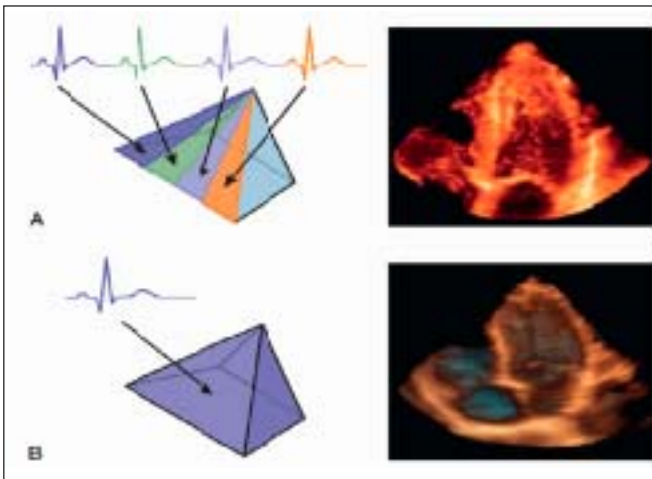
3. Full hacim mod (Full volume mode): Genellikle ekg ile tetiklenen çoklu-atım yöntemi ile görüntü elde edilmektedir. Tekli-atım yöntemi ile de görüntüleme bazı cihazlarda mümkün olabilmektedir. Bu modda daha büyük görüntü hacimleri elde edilmektedir. Görüntüler çoğunlukla 900x900xiki boyutlu görüntü derinliği boyutunda, 20-40 Hz frame rate'de elde edilir. Daha sonra görüntüler üzerinden hacim, ejeksiyon fraksiyonu (EF) hesaplamaları, kapaklara ait kantitatif analizler yapılabilmektedir.⁵

4. Renkli doppler modu (Color doppler mode): Sadece full hacim modunun içerisinde yer almaktadır. Frame rate genellikle 20 Hz'in altındadır. Temporal ve uzaysal çözünürlüğü düşüktür. Valvüler veya paravalvüler yetmezliklerde, atriyal septal defekt (ASD) ve ventriküler septal defekt (VSD) değerlendirilmelerinde kullanılmaktadır.⁵

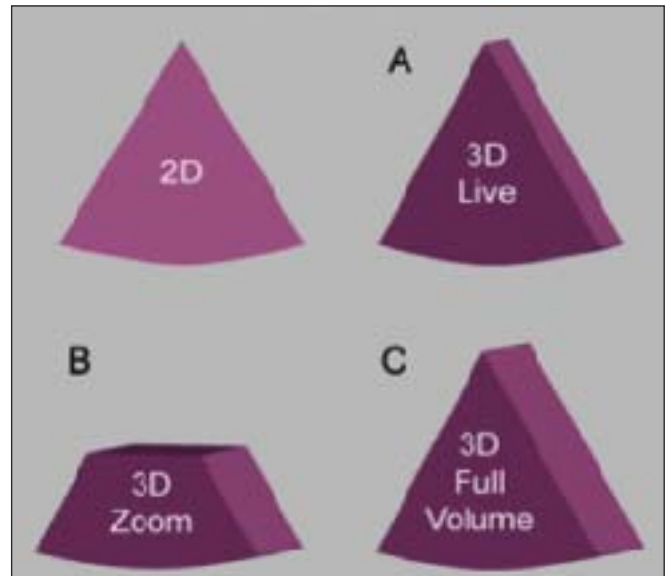
Üç boyutlu ekokardiyografideki güçlükler

Temporal ve uzaysal çözünürlük

Temporal çözünürlük görüntünün hızını ifade eder ve frame rate ile ilişkilidir. Uzaysal çözünürlük ise birim alanda birbirinden ayırtedilebilir yapı sayısını yani görüntü kalitesini ifade etmektedir. Elde edilmek istenen hacmin büyüklüğü sabit olduğu takdirde, iki çözünürlük birbiriyle ters olarak işlemektedir. Temporal çözünürlük arttıkça, uzaysal çözünürlük azalmaktadır.¹ Hacim büyüklüğü küçük olduğunda ise uzaysal ve temporal çözünürlük artmakta, büyük olduğunda ise



Şekil 1: İki farklı yöntem ile 3BE görüntüsü elde edilmektedir. A) Ardışık sikluslar süresince elde edilen subvolümlerin yapıştırılması-birleştirilmesi B) Tek kardiyak siklusda tek volüm elde edilmesi



Şekil 2: Üç boyutlu görüntü modları (3BTEE)

azalmaktadır. İyi bir 3BE görüntüsü elde edebilmek için bu faktörler mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır.

EKG ve nefes tutma

Aritmisi olan ve nefes tutma güçlüğü bulunan hastalar için çoklu-atım 3BE görüntüsü almak oldukça zordur ve yapışma artefaktlarına neden olabilir. Bu hastalarda tekli-atım 3BE incelemesi daha faydalı olabilir.

Görüntü optimizasyonu

Üç boyutlu görüntü elde edilmeden önce mutlaka, iki boyutlu ekokardiyografi (2BE) görüntüsü optimize edilmelidir. 2BE görüntüsü suboptimal olan bir hastanın, 3BE görüntüsü de suboptimal olacaktır.

3BE teknolojisinde, iki boyutlu ekrana yansıtılan görüntünün üç boyutlu olarak algılanabilmesi için gereken derinlik hissi renklendirme yapılarak verilmeye çalışılmıştır. Mavi ve kahverengi arasında değişen renk aralıklarında perspektif ayarı sağlanır. Gain (kazanç) ayarları üç boyutlu görüntünün optimizasyonunda oldukça önemlidir. Gainin az olması görüntümüzde "drop-out" olarak ifade edilen, delikmiş gibi görünen defektlerin oluşmasına neden olurken, fazla olması doku üzerinde kahverengi noktacıklara ve üç boyutlu perspektifin veya derinlik hissini kaybına neden olur. Bu nedenle gain ve kompresyon ayarlarının orta seviyede (50 unit) tutulması önerilmektedir.¹

Cropping (kırpma işlemi)

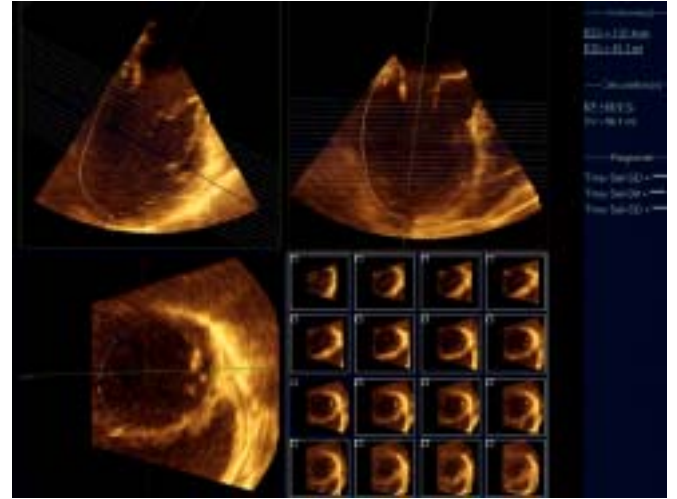
3BE ile görüntüleme işlemi sırasında veya sonrasında almış olduğumuz görüntü üzerinden bu işlem yapılabilir. İlgilendiğimiz kardiyak yapıyı daha rahat görebilmek ve ona odaklanabilmek için etraftaki diğer dokuları bir nevi elektronik olarak disseke edip, görüntüden çıkarma işlemidir. 3B görüntü elde edilmeden önce cropping yapılması, oluşacak görüntünün hem temporal hem de uzaysal çözünürlüğünü artırmaktadır.⁵

İki boyutlu tomografik kesitler (i-slice)

Elde edilen 3BE datasetleri aynı anda üç farklı ortogonal plandan (koronal, sagittal, transvers) görüntülenebilir. Yine aynı anda tek bir görüntü üzerinden birbirine paralel olarak, aralıkları ayarlanabilen çok sayıda tomografik kesitler alınabilir. Bu sayede tek bir kardiyak siklusda eş zamanlı olarak segmentlerin görüntülenmesi yapılabilir, özellikle stress ekokardiyografi sırasında duvar hareket değerlendirilmesinde oldukça faydalı bir yöntemdir¹ (Şekil 3).

3BE'nin Klinik kullanım alanları

Sol ventrikül (LV) hacim ve ejeksiyon fraksiyonu (EF) değerlendirilmesinde 3B TTE ve TEE, 2B ekokardiyografiden daha üstündür. Ölçümler daha doğru ve tekrarlanabilir özelliktedir (Şekil 3). Bunun nedeni, 3BE ile LV endokardiyal yüzey değerlendirilmesinin daha doğru yapılması, 2BE'deki gibi geometrik varsayımların olmaması, apikal görüntü kısılmasının 'foreshortening' daha az oluşu ve tüm segmentlerin simultane değerlendirilebilmesi olarak sayılabilir. 3BE ile hesaplanan LV hacim ve EF değerleri, altın standart teknik olarak kabul edilen kardiyak manyetik rezonans (KMR) ile ölçülenlerle kıyaslandığında bir miktar daha düşük bulunmaktadır.^{6,7} Yetersiz çözünürlük nedeniyle endokardiyal sınırın net belirlenememesi ve KMR ile trabekülasyonların dış kenarından endokardiyal sınırlar çizilirken, ekokardiyografide iç kenarından çizilmesi neden olarak gösterilmektedir. Çözüm için, operatör deneyiminin artırılması, endokardiyal sınırların LV içerisinde uzanan trabekülaları da kapsayacak şekilde dıştan çizilmesi önerilmektedir.



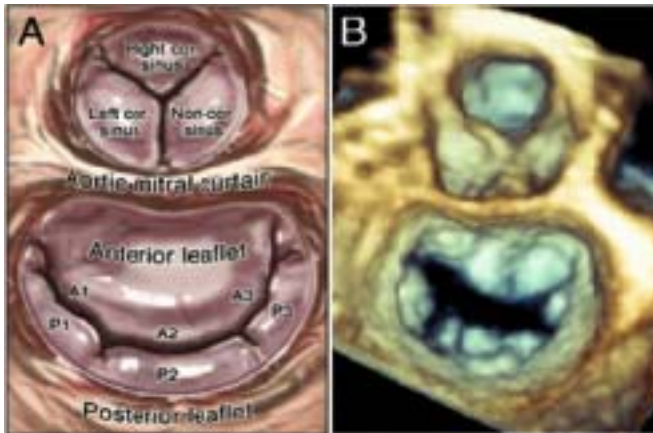
Şekil 3: 3BE ile sol ventrikül hacim-ejeksiyon fraksiyonu hesaplanması ve stress ekokardiyografi sırasında eş zamanlı çoklu tomografik kesitler alınarak sol ventrikülün değerlendirilmesi.

Yine 3BE aracılığıyla; LV kitlesinin ve şeklinin değerlendirilmesi (sferisite indeksi), duvar hareketlerinin değerlendirilmesi, dissenkroni değerlendirilmesi (sistolik dissenkroni indeksi), 3B strain (Speckle tracking) incelemeleri yapmak mümkün olmaktadır.^{8,9}

Sağ ventrikül hacim ve EF değerlendirilmesinde 3BE yararlıdır, ancak rutin klinik kullanımı kaliteli 2BE görüntüsü gerektirdiğinden kısıtlıdır.¹

Mitral kapak patolojilerinin değerlendirilmesinde, gerek mitral kapakçıkların ve anulusun anatomisini daha ayrıntılı gösterebilmesi, gerekse fizyolojik ve morfolojik bilgi vermesi nedeniyle 3BE özellikle de 3BTEE oldukça üstündür¹⁰ (Şekil 4). 3BTEE ile mitral kapağa atrial veya ventriküler yüzden bakabilmek mümkündür. Sol atrial perspektif cerrahi bakış açısını gösterir ("en-face görüntü") ve cerraha operasyon öncesi yardımcıdır. Aynı zamanda 3B TEE mitra-clip veya mitral balon valvüloplasti gibi girişimsel işlemlerde anatomik değerlendirmeye ve oryantasyona yardımcı olur. Sonrasında alınan 3B görüntülerden offline olarak çeşitli yazılımlar aracılığıyla mitral kapakta birçok hesaplama (anulus alanı, kapakçık alanları, koaptasyon alanı, anulus yüksekliği vb) yapılabilir, bu mitral yetmezliği etyolojisini aydınlatmada veya kapağın onarıma uygunluğunu değerlendirmede operatöre yardımcı maktadır¹¹ (Şekil 5).

Aort kapak darlık ve yetmezlik değerlendirilmesinde 3BE kullanılabilir. Özellikle perkütan aort kapak replasmanlarında (Transcatheter Aortic Valve Implantation-TAVI) rehberlik etmesi için kullanımı önerilmektedir.¹ TAVI öncesi aortik anülüsün değerlendirilmesinde 3BTEE, çok kesitli bilgisayarlı tomografi (ÇKBT) ve anjiyografik bilgilerin birlikte kullanımı önemlidir.¹² TAVI'de aortik anulus değerlendirmesinde 3BTEE, ÇKBT ve KMR ile iyi korelasyon gösterir ve tekrarlanabilirliği yüksektir. 3BTEE ölçümleri 2BTEE ölçümlerinden daha büyük olup, ÇKBT ve KMR ile kıyaslandığında bir miktar daha düşüktür.^{13,14} 3BTEE'nin en fazla faydalı olduğu zaman, kapağın yerleştirilmesinin hemen sonrasındadır. Bu dönemde kapağın po-



Şekil 4: Normal mitral kapağın sol atrial perspektifden, cerrahi bakış açısı ile 3B TEE görüntüsü (en-face görüntü)

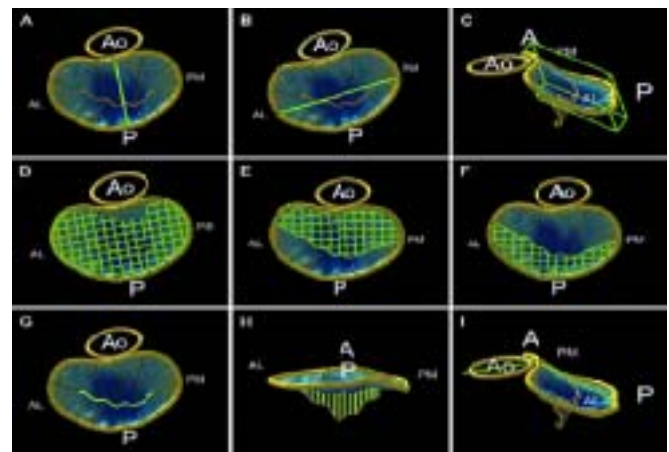
zasyonu, işlevi ve aort yetersizliği varlığı ve şiddetinin değerlendirilmesi yapılır.

Yine TAVI işlemi gibi diğer perkütan girişimsel işlemlerde de (mitra-clip, paravalvüler kaçak kapatılması, mitral balon valvüloplasti, atriyal fibrilasyon ablasyonu, ASD kapatılması, sol atriyal appendiks kapatılması gibi) 3BE operatöre yardımcı olarak kullanılabilir. ¹

2012 yılında yayınlanmış olan Journal of American Society of Echocardiography 3BE rehberine göre kullanımı önerilen ve henüz çalışmada olan konular Tablo-1'de özetlenmiştir. 3BE için en yaygın kullanımı olan ve önerilen alanlar, LV hacim ve EF değerlendirmeleri, mitral kapak anatomi ve darlıkları ile transkateter işlemleridir. Buna göre sağ kalbe ait kapaklarda ve infektif endokarditte rutin kullanım için henüz elimizde yeterli veri bulunmamaktadır (Tablo-1)¹.

3BE'nin kısıtlılıkları

Görüntü optimizasyonu 3BE için oldukça önemlidir. Gain(kazanç) ayarlarının doğru yapılması gereklidir. İyi bir 3BE görüntüsü için, hastanın optimal 2BE görüntüsü olmalıdır. Aritmi, görüntü kalitesini etkileyen bir diğer faktördür, frame rate sorunu daha az olan tekli atım 3BE teknolojisine geliştirilmesi ile bu sorunun üstesinden gelinilecektir. Sonuç olarak, 3B ekokardiyografi gelişmekte olan ve tekniği, kullanımının öğrenilmesi, manipülasyonu, kalitatif yorumlanması, kantitatif full-hacim değerlendirmesi ile önemli zaman alan bir tekniktir.¹⁴



Şekil 5: Mitral kapağın üç boyutlu rekonstrüksiyon görüntüsü. A: Anteroposterior mitral anulus çapı, B: Anterolateral-posteromedial mitral anuler çap, C: Mitral anulus yüksekliği, D: Mitral anulus alanı, E: Anterior yaprakçık alanı, F: Posterior yaprakçık alanı, G: Koaptasyon uzunluğu, H: Koaptasyon alanı, I: Aortik-mitral plan açısı.

Tablo 1: Üç boyutlu ekokardiyografi endikasyonları (JASE 2012 guideline)

	Klinik kullanımda öneriliyor	Klinik çalışmalarda yararı gösterilmiş	İlgili çalışmalar devam etmekte	Henüz veri yok
LV fonksiyonel değerlendirme				
Hacim	+			
Şekil			+	
EF	+			
Dissenkroni			+	
Kitle		+		
RV fonksiyonel değerlendirme				
Hacim		+		
Şekil				+
EF		+		
LA değerlendirme				
Hacim			+	
RA değerlendirme				
Hacim				+
Mitral kapak değerlendirme				
Anatomi	+			
Darlık	+			
Yetmezlik			+	
Triküspid kapak değerlendirme				
Anatomi				+
Darlık				+
Yetmezlik				+
Pulmoner kapak değerlendirme				
Anatomi				+
Darlık				+
Yetmezlik				+
Aort kapak değerlendirme				
Anatomi		+		
Darlık		+		
Yetmezlik				+
İnfektif endokardit				
				+
Prostetik kapaklar				
			+	
Transkateter işlemler				
	+			

Kaynakla

- Lang R, Badano L, Tsang W et al. EAE/ASE Recommendations for Image Acquisition and Display Using Three-Dimensional Echocardiography. J Am Soc Echocardiogr 2012;25:3-46.
- Chang SA, Lee SC, Kim EY, et al. Feasibility of single-beat full-volume capture real-time three-dimensional echocardiography and auto-contouring algorithm for quantification of left ventricular volume: validation with cardiac magnetic resonance imaging. J Am Soc Echocardiogr. 2011;24(8):853-9.

3. Gillam L, Otto C. Advanced Approaches in Echocardiography, Elsevier Saunders Publications. ISBN: 978-1-4377-2697 2012;8:1-20.
4. Sudhakar S, Khairnar P, Nanda NC. Live/Real Time Three-Dimensional Transesophageal Echocardiography. Echocardiography 2012;29:103-111.
5. Vegas A, Massimiliano M, Jerath A. Real-Time Three-Dimensional Transesophageal Echocardiography, ISBN 978-1-4614-0665- 2012;5:1-23.
6. Dorosz JL, Lezotte CD, Weitzenkamp DA, Allen LA, Salcedo EE. Performance of 3-Dimensional Echocardiography in Measuring Left Ventricular Volumes and Ejection Fraction A Systematic Review and Meta-Analysis. J Am Coll Cardiol 2012;59:1799-808.
7. Shimada YJ, Shiota T. A meta-analysis and investigation for the source of bias of left ventricular volumes and function by three-dimensional echocardiography in comparison with magnetic resonance imaging. Am J Cardiol 2011;107(1):126-38
8. Kapetanakis S, Kearney MT, Siva A, Gall N, Cooklin M, Monaghan MJ. Real-time three-dimensional echocardiography: a novel technique to quantify global left ventricular mechanical dyssynchrony. Circulation 2005;112: 992-1000.
9. Yamani H, Cai Q, Ahmad M. Three-dimensional echocardiography in evaluation of left ventricular indices. Echocardiography 2012;29(1):66-75.
10. Zekry SB, Nagueh SF, Little SH, et al. Comparative accuracy of two- and three-dimensional transthoracic and transesophageal echocardiography in identifying mitral valve pathology in patients undergoing mitral valve repair: initial observations. J Am Soc Echocardiogr. 2011; 24(10):1079-85.
11. Burri M, Gupta D, Kerber R, Weiss R. Review of novel clinical applications of advanced, real-time, 3-dimensional echocardiography. Translational Research 2012;159:149-64.
12. Kasel AM, Cassese S, Bleiziffer S, et al. Standardized imaging for aortic annular sizing: implications for transcatheter valve selection. JACC Cardiovasc Imaging. 2013;6(2):249-62.
13. Ng AC, Delgado V, Van Der Kley F, et al. Comparison of aortic root dimensions and geometries before and after transcatheter aortic valve implantation by 2- and 3-dimensional transesophageal echocardiography and multislice computed tomography. Circ Cardiovasc Imaging 2010;3(1):94-102
14. Lang R, Tsang W, Weinert L, Mor-Avi V, Chandra S. Valvular Heart Disease, The Value of 3-Dimensional Echocardiography. J Am Coll Cardiol 2011;58:1933-44.

Yazı Kayıt

Geliş Tarihi: 09.11.2013

Kabul Tarihi: 13.12.2013

Yazışma Adresi: Demet Menekşe Gerede, Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Kardiyoloji Ana Bilim Dalı, Ankara

drmeneksegerede@yahoo.com