

Análisis de las características de la válvula mitral en ecocardiograma tridimensional

Three-Dimensional Echocardiographic Analysis of Mitral Valve Characteristics

MARTÍN A. MUNÍN[†], JORGE THIERER^{MTSAC}, IGNACIO M. RAGGIO, MARÍA S. GOERNER, MARTÍN LOMBARDEO, JOSÉ GODIA, GUSTAVO A. SÁNCHEZ, FERNANDO SPERNANZONI, JULIO ORTEGA, VÍCTOR TORRES

RESUMEN

Introducción: El ecocardiograma transesofágico en tres dimensiones (ETE 3D) es una herramienta especialmente útil en el estudio de la patología de la válvula mitral. En la bibliografía existe poca información, ninguna de nuestro país, acerca de los valores normales a partir de los cuales se pueda definir la enfermedad.

Objetivo: Definir los valores normales de las medidas del anillo y de las valvas de la válvula mitral a través del estudio de una población sin cardiopatía utilizando el ETE 3D.

Material y métodos: Se incluyeron prospectivamente 26 pacientes sin patología cardiovascular que fueron estudiados con ETE en dos y tres dimensiones. Con el mejor volumen 3D adquirido se construyó un modelo tridimensional de la válvula mitral del que se obtuvieron las medidas de las valvas y del anillo (indexadas por superficie corporal). Los datos se presentan como mediana con rango intercuartil.

Resultados: La edad fue de 64,5 años (39,1-69,7), el 46% eran hombres. Las medidas del anillo mitral fueron: diámetro intercomisural 18,7 mm (16,5-19,9), diámetro anteroposterior 16,4 mm (15,1-17,8), altura 4,4 mm (3,6-5,4), circunferencia en un plano 55,1 mm (52,2-60), circunferencia en 3D 57,8 mm (55,5-64,1), área en un plano 433,9 mm² (405,3-489) y área en 3D 457,8 mm² (431,2-515,8). Las medidas de las valvas fueron: longitud de la valva anterior 13,4 mm (12,4-14), área de la valva anterior 328,6 mm² (297-359,8), longitud de la valva posterior 7,8 mm (7,1-8,3) y área de la valva posterior 242 mm² (214,3-265,5). Se evaluó la reproducibilidad de las mediciones del anillo mitral en 3D y se observó muy buena concordancia tanto intraobservador como interobservador.

Conclusiones: Los resultados muestran los valores de referencia de las valvas y del anillo de la válvula mitral en una población sin cardiopatía estudiada con ETE 3D. Sientan las bases para futuros estudios que, asociando mediciones similares en todo el rango de gravedad de la patología mitral, permitan definir prospectivamente la sensibilidad y la especificidad del estudio para enfermedad mitral.

Palabras clave: Ecocardiografía transesofágica - Ecocardiografía tridimensional - Válvula mitral - Insuficiencia de la válvula mitral

ABSTRACT

Introduction: Three-dimensional transesophageal echocardiography (3D TEE) is a useful tool, particularly for the evaluation of mitral valve disease. There are few reports in the literature, none of our country, about the normal values in order to define the disease.

Objective: The aim of this study was to define the normal values of the mitral valve annulus and leaflets in a population without heart disease using 3D TEE.

Methods: Twenty-six patients without heart disease were prospectively included and underwent two-dimensional and 3D TEE. The best 3D volume acquired was used to construct a three dimensional model of the mitral valve to measure the mitral valve leaflets and annulus (indexed for body surface area). Data are presented as median with interquartile range.

Results: Age was 64.5 years (39.1-69.7) and 46% were men. Mitral annulus measurements were: intercommissural diameter 18.7 mm (16.5-19.9), anteroposterior diameter 16.4 mm (15.1-17.8), height 4.4 mm (3.6-5.4), circumference in projection plane 55.1 mm (52.2-60), 3D circumference 57.8 mm (55.5-64.1), area in projection plane 433.9 mm² (405.3-489) and 3D area 457.8 mm² (431.2-515.8). The leaflets measurements were: anterior leaflet length 13.4 mm (12.4-14), anterior leaflet area 328.6 mm² (297-359.8), posterior leaflet length 7.8 mm (7.1-8.3) and posterior leaflet area 242 mm² (214.3-265.5). The reproducibility of mitral annulus measurements in 3D was evaluated and showed good intraobserver and interobserver agreement.

Conclusions: Results show reference values of the mitral valve leaflets and annulus estimated by 3D TEE in a population without heart disease. These data lay the foundations for future studies which, by associating similar measurements across all the ranges of severity of mitral valve disease, may prospectively define the sensitivity and specificity of the method for mitral valve assessment.

Key words: Echocardiography, Transesophageal - Echocardiography, Three-Dimensional - Mitral Valve - Mitral Valve Insufficiency

REV ARGENT CARDIOL 2014;82:297-302. <http://dx.doi.org/10.7775/rac.es.v82.i4.3809>

Recibido: 08/01/2014 - Aceptado: 05/02/2014

Dirección para separatas: Martín A. Munín - Francia 2048 - (1602) Florida (Vicente López) - Pcia. de Buenos Aires, Argentina - e-mail: mmunin@hotmail.com

Centro de Educación Médica e Investigaciones Clínicas (CEMIC)

^{MTSAC} Miembro Titular de la Sociedad Argentina de Cardiología

[†] Para optar a Miembro Titular de la Sociedad Argentina de Cardiología

Abreviaturas

2D	Bidimensional	ETE	Ecocardiograma transesofágico
3D	Tridimensional	SC	Superficie corporal
AI	Aurícula izquierda	VI	Ventrículo izquierdo

INTRODUCCIÓN

La enfermedad degenerativa de la válvula mitral es una entidad prevalente, más aún en la población añosa. (1, 2) El estudio de esta patología constituye un desafío constante para la ecocardiografía, que actualmente es la técnica más utilizada en la evaluación de las enfermedades valvulares. (3) En el escenario de la valvulopatía mitral regurgitante, el ecocardiograma aporta información valiosa acerca de la etiología, lesiones, gravedad y extensión de la enfermedad, datos muy útiles al tiempo de evaluar la factibilidad de una eventual reparación plástica sobre la válvula. (4-6) Si bien el ecocardiograma bidimensional (eco 2D) es la herramienta más comúnmente utilizada, es oportuno decir que la técnica cuenta con algunas limitaciones en la cuantificación de una estructura tridimensional compleja como es el aparato valvular mitral. (7) El reciente desarrollo del ecocardiograma transesofágico en tres dimensiones (ETE 3D) ha permitido superar dichas dificultades. (8) Con el eco 2D es necesario obtener múltiples planos tomográficos, con y sin Doppler color, para intentar caracterizar la anatomía valvular, mientras que con el ETE 3D se obtienen imágenes tridimensionales de la válvula mitral en tiempo real de muy buena calidad. (9) Y si bien la visualización de la anatomía en su estado tridimensional real, y en movimiento, es importante y reveladora, probablemente la mayor virtud del ETE 3D reside en su capacidad de realizar una cuantificación real y reproducible de cada uno de los componentes del aparato valvular mitral. (9) De este modo, la estructura tridimensional real del anillo, las valvas y el aparato de sostén pueden ser medidos.

El desarrollo de criterios para establecer la presencia de enfermedad valvular exige definiciones de “normalidad” y “anormalidad”. En la bibliografía existen pocas comunicaciones, ninguna de nuestro país, con escasa cantidad de casos, de los valores considerados normales para la válvula mitral a partir de los cuales se pueda definir la enfermedad con ETE 3D. (10-13) El objetivo del presente trabajo fue definir los valores normales de las medidas del anillo y de las valvas de la válvula mitral a través del estudio de una población sin cardiopatía utilizando el ETE 3D.

MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la institución y, previo a su participación, todos los pacientes firmaron un consentimiento informado.

Entre junio de 2008 y diciembre de 2011 se incluyeron en forma prospectiva 26 pacientes que habían sido derivados a nuestro laboratorio para la realización de un ETE y que fueron considerados sujetos sin cardiopatía. El estudio fue

solicitado por búsqueda de fuente embolígena en 16 pacientes y por síndrome febril en 10.

Para definir a los pacientes como saludables, sin cardiopatía, se consideraron los siguientes criterios de inclusión:

1. Presencia de ritmo sinusal.
2. Diámetro diastólico del ventrículo izquierdo (VI) < 56 mm.
3. Función sistólica del VI conservada (fracción de eyección \geq 55%).
4. Ausencia de trastornos de la motilidad segmentaria.
5. Ausencia de valvulopatías estenóticas.
6. Ausencia de valvulopatías regurgitantes mayores de grado I/IV (leve).
7. Ausencia de hipertensión pulmonar (presión sistólica pulmonar > 40 mm Hg).

A todos los pacientes se les realizó un eco-Doppler transtorácico y posteriormente se procedió a realizar el ETE según la técnica habitualmente utilizada. Se realizó el estudio en modo bidimensional, Doppler color, Doppler pulsado y continuo, y luego fueron adquiridas las secuencias de datos en tres dimensiones del aparato valvular mitral, dos en modo *zoom* 3D (vivo) y dos en modo volumen completo. La adquisición de las imágenes 3D requirió aproximadamente dos minutos adicionales de estudio. El examen ecocardiográfico se realizó con un equipo Philips iE33 y se utilizó una sonda transesofágica X7-2t (Philips Medical Systems, Andover, MA). Las imágenes se almacenaron en forma digital y se transfirieron a una estación de trabajo provista de un *software* de cuantificación de la válvula mitral (Q-Lab 9.0 Philips Medical Systems). Con la mejor secuencia de *zoom* 3D adquirida se construyó un modelo tridimensional de la válvula mitral en telesístole, del que se obtuvieron las medidas correspondientes de las valvas y del anillo. Se definió final de la sístole al último cuadro con la válvula aórtica abierta. Para realizar la construcción del modelo, se efectuó en forma automática la transección del volumen con la válvula mitral en tres planos ortogonales (Figura 1 A). Posteriormente se asignaron cuatro puntos de referencia en el anillo (anterolateral, posteromedial, anterior y posterior) y luego en 10 planos rotacionales sucesivos se marcaron otros 20 sitios para completar 24 puntos que definieron la conformación tridimensional del anillo. A continuación, el volumen de la válvula mitral se cortó en múltiples planos paralelos desde la comisura anterolateral a la posteromedial cada 2,5 milímetros (Figura 1 B). En cada uno de estos planos se asignaron puntos a las valvas y de ese modo terminó de confeccionarse el modelo valvular en tres dimensiones que representa con código de color un mapa topográfico de las valvas y el anillo mitral (Figura 2). Luego, el programa genera automáticamente las mediciones de las dimensiones, la geometría y las áreas del anillo y las valvas. En cada paciente las medidas del anillo mitral obtenidas fueron: diámetro intercomisural, diámetro anteroposterior, altura (distancia en milímetros entre el punto de inserción más alto y el punto de inserción más bajo del anillo), circunferencia en un plano, circunferencia en 3D, área en un plano, área en 3D y la relación entre altura y diámetro intercomisural (medida de la forma de silla de montar del anillo). Las medidas de las valvas obtenidas fueron: longitud y área de la valva anterior, longitud y área de la valva posterior, altura de angulación (distancia desde el plano anular al punto de

Fig. 1. A. Asignación de puntos al anillo mitral. En dos planos ortogonales del volumen valvular en telesístole se asignan los cuatro puntos iniciales: anterolateral y posteromedial (*arriba a la izquierda*); anterior y posterior (*arriba a la derecha*). **B.** Volumen valvular cortado en múltiples planos paralelos desde la región lateral a la región medial. En cada plano de corte se asignan puntos a las valvas (*arriba a la derecha*).

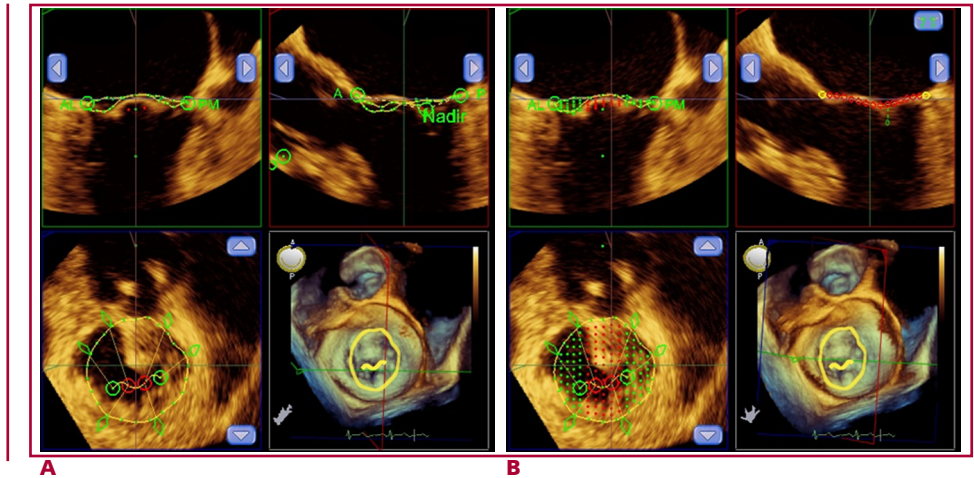
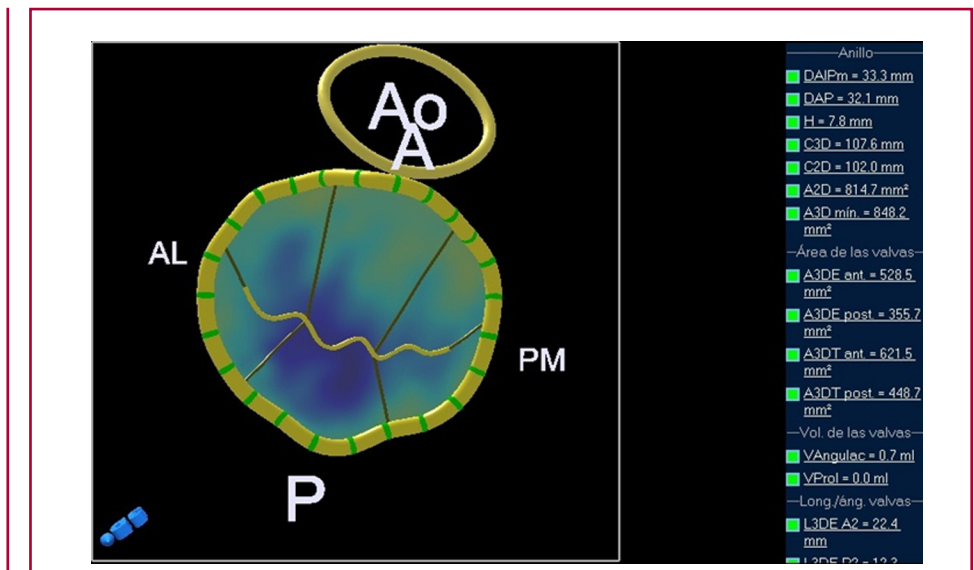


Fig. 2. Modelo de reconstrucción tridimensional de la válvula mitral en telesístole a través del software de cuantificación. A: anterior. AL: Anterolateral. Ao: Válvula aórtica. P: Posterior. PM: posteromedial.



coaptación valvar más bajo en el ventrículo), volumen de angulación (volumen encerrado entre el plano del anillo y las valvas mitrales hacia el ventrículo), altura de prolapso (distancia entre el plano anular y el sector de las valvas que por encima del anillo se encuentra más alto en la aurícula izquierda) y volumen de prolapso (volumen encerrado entre el plano anular y las valvas mitrales hacia la aurícula). Las medidas obtenidas posteriormente se indexaron por superficie corporal (SC). Para el cálculo de la SC se utilizó la fórmula de DuBois.

Los datos se presentan como mediana con rango intercuartil.

Se evaluó la reproducibilidad de las mediciones del anillo mitral en 3D en todos los pacientes. La variabilidad intraobservador se estudió a través de una segunda medición realizada por el mismo observador un mes más tarde. La variabilidad interobservador se investigó a través de la repetición del análisis por un segundo observador independiente ciego a los resultados de todas las mediciones anteriores. La concordancia intraobservador e interobservador se estudió a través del coeficiente de correlación intraclase. El grado de acuerdo o concordancia se definió como: pobre < 0,4, entre

regular y bueno de 0,4 a 0,75 y muy bueno > 0,75. (14, 15) Los coeficientes de correlación se obtuvieron mediante método de remuestreo (*bootstrapping*) con 1.000 repeticiones.

Para el análisis estadístico de los datos se empleó el programa STATA versión 10.0.

RESULTADOS

La edad de la población fue de 64,5 años (39,1-67,9 años), el 46% de los pacientes eran de sexo masculino y la SC se estimó en 1,84 m² (1,7-2,03 m²). En el ecocardiograma de superficie se obtuvieron los siguientes datos: diámetro diastólico del VI 25,7 mm (23,5-26,9 mm), diámetro sistólico del VI 14,2 mm (13-16,2 mm), fracción de acortamiento del VI 43,6% (38,6 a 46,5%), fracción de eyección del VI 63,7% (60-67%), diámetro de la aurícula izquierda (AI) 19,5 mm (17,3-21,8 mm), área de la AI 10,9 cm² (9-12,6 cm²). En la Tabla 1 se detallan las medidas de las valvas y los anillos obtenidas con el modelo de reconstrucción tridimensional de la

válvula mitral en telesístole. Las mediciones pudieron realizarse en el 100% de los casos.

En cuanto a la reproducibilidad de las mediciones del anillo mitral en 3D, se observó que la concordancia intraobservador fue muy buena para todas las variables cuantificadas. La concordancia interobservador fue buena en lo referente a la medición del diámetro anteroposterior y muy buena para el resto de los parámetros cuantificados (Tabla 2).

DISCUSIÓN

La enfermedad degenerativa de la válvula mitral es una entidad de presentación frecuente y su prevalencia se encuentra en constante ascenso debido al crecimiento en número y en años de la población general. (1, 2)

Tabla 1. Medidas del anillo y de las valvas de la válvula mitral obtenidas del modelo de reconstrucción tridimensional de la válvula mitral en telesístole

	Mediana (rango intercuartil)
Parámetros anillos	
Diámetro intercomisural, mm/m ² SC	18,7 (16,5-19,9)
Diámetro anteroposterior, mm/m ² SC	16,4 (15,1-17,8)
Altura, mm/m ² SC	4,4 (3,6-5,4)
Circunferencia en un plano, mm/m ² SC	55,1 (52,2-60)
Circunferencia en 3D, mm/m ² SC	57,8 (55,5-64,1)
Área en un plano, mm ² /m ² SC	433,9 (405,3-489)
Área en 3D, mm ² /m ² SC	457,8 (431,2-515,8)
Altura/diámetro intercomisural (*)	0,23 (0,21-0,27)
Parámetros valvas	
Longitud valva anterior, mm/m ² SC	13,4 (12,4-14)
Área de valva anterior, mm ² /m ² SC	328,6 (297-359,8)
Longitud de la valva posterior, mm/m ² SC	7,8 (7,1-8,3)
Área de la valva posterior, mm ² /m ² SC	242 (214,3-265,5)
Altura de angulación, mm/m ² SC	1,59 (1,1-2,24)
Volumen de angulación, ml/m ² SC	0,29 (0,12-0,41)
Altura de prolapso, mm/m ² SC	0,7 (0,39-1,41)
Volumen de prolapso, ml/m ² SC	0,05 (0-0,21)

SC: Superficie corporal. *Expresa la medida de la forma de silla de montar del anillo.

Publicaciones de los Estados Unidos y Europa muestran que la presencia de esta patología determina un aumento significativo de la morbimortalidad. (1, 2, 16) La cirugía reparadora de la válvula, en el escenario de la insuficiencia mitral, ha permitido cambiar la evolución de la enfermedad y mejorar la sobrevida de los pacientes. (17, 18) El éxito de la reparación plástica depende de la anatomía valvular y, en gran medida, de la habilidad y experiencia del cirujano. (19, 20) En este contexto, el conocimiento acabado de la enfermedad valvular (etiología, lesiones, mecanismo de disfunción, extensión de la enfermedad) resulta indispensable para plantear una estrategia de manejo adecuada que genere la derivación de los pacientes más graves a los centros con mayor experiencia. (21, 22) La definición anatómica correcta de la enfermedad valvular en situación preoperatoria es de suma utilidad para el cirujano a la hora de planificar la estrategia quirúrgica. En este sentido, el ETE 3D tiene un papel esencial. (22-25) Esta tecnología no solo permite obtener imágenes en tres dimensiones y en tiempo real del aparato valvular en movimiento con exquisita definición anatómica, sino que además posibilita una cuantificación real y reproducible de todos los componentes del aparato valvular mitral. (22) Otra ventaja de la técnica es que las imágenes son fácilmente reconocidas por el cirujano y el hemodinamista, lo que permite un gran intercambio entre los profesionales a cargo del cuidado de los pacientes. El método ha tenido gran aceptación en la comunidad médica y su uso se ha extendido rápidamente. Todas las ventajas de la técnica han convertido al ETE 3D en el procedimiento de elección para el estudio de la patología mitral y ello obliga al establecimiento de valores de referencia para la población general a partir de los cuales se pueda definir la enfermedad. (26, 27) El presente estudio estuvo dirigido a determinar las dimensiones y las características del aparato valvular mitral en una población sin cardiopatía a través del estudio con ETE 3D. Los datos que aquí se presentan acerca de dimensiones, áreas y forma del anillo y las valvas en pacientes sin patología cardíaca son de utilidad para el desarrollo de criterios que permitan establecer la presencia de enfermedad a partir de una definición de normalidad.

Existen pocas publicaciones, todas del exterior, sobre dimensiones, áreas y forma del anillo en sujetos sin cardiopatía. En estas experiencias, los pacientes sin enfermedad fueron estudiados como controles de

Parámetros anillo mitral	Concordancia intraobservador (IC 95%)	Concordancia interobservador (IC 95%)
Área en un plano	0,976 (0,946-0,989)	0,859 (0,746-0,924)
Área en 3D	0,960 (0,939-0,983)	0,851 (0,758-0,911)
Circunferencia en un plano	0,954 (0,894-0,981)	0,849 (0,741-0,914)
Circunferencia en 3D	0,936 (0,876-0,967)	0,831 (0,744-0,890)
Diámetro intercomisural	0,885 (0,732-0,953)	0,795 (0,539-0,916)
Diámetro anteroposterior	0,928 (0,863-0,963)	0,657 (0,445-0,800)

Tabla 2. Coeficiente de correlación intraclase, variabilidad intraobservador e interobservador para las medidas del anillo mitral en tres dimensiones

enfermos con patología degenerativa de la válvula mitral. (10-12) En estas publicaciones, a diferencia de la nuestra, el número de pacientes sin enfermedad es menor, solo en dos de ellas se comunican mediciones de las valvas, y en ninguna de ellas se refieren las mediciones indexadas por SC.

Es importante destacar que el *software* utilizado denomina prolapso a la presencia de *billowing* (protrusión hacia la aurícula de una parte o de todo cuerpo de la valva por encima del plano del anillo) aun en ausencia de prolapso verdadero (protrusión hacia la aurícula del borde libre de la valva por encima del plano del anillo). Por este motivo es que aun en poblaciones sanas, sin enfermedad cardíaca, podemos encontrar que pequeñas porciones del cuerpo de las valvas mitrales sobrepasan el plano del anillo al final de la sístole y es así que en nuestro trabajo la mediana de altura de prolapso fue de 0,7 mm/m² SC y la mediana de volumen de prolapso fue de 0,05 ml/m² SC. En el trabajo de Chandra y colaboradores, (12) la media de altura de prolapso en la población sana fue de 0,27 mm, menor que en nuestra experiencia.

Con ecocardiografía transesofágica 3D, los datos se pueden obtener en modo de volumen completo o en modo vivo (*live* 3D o *zoom* 3D). Las adquisiciones en modo de volumen completo requieren la presencia de ritmo regular y el logro de una apnea adecuada. Posteriormente, y a través del ensamblado de al menos 4 subvolumenes obtenidos en cuatro latidos sucesivos, se forma una pirámide completa que contiene los datos de la estructura en estudio. La ventaja de este modo de adquisición es que la pirámide adquirida tiene una cantidad mayor de datos y, por ende, mayor resolución temporal y espacial. Las desventajas, en estudios transesofágicos, son la frecuente aparición de artefactos de ensamblado (*stitching*) debido a las dificultades que tienen los pacientes para mantenerse quietos y realizar apneas durante el estudio, especialmente si están bajo efectos de anestesia, o por la presencia de arritmias. Por el contrario, las adquisiciones en modo vivo (*zoom* 3D) de la válvula mitral no presentan estos problemas; pueden hacerse en ausencia de apnea y no requieren el gatillado del electrocardiograma, aunque la pirámide de datos obtenida tiene menos cuadros por segundo, entre 5 y 10. Sin embargo, dado que permite la visualización "en vivo" de las estructuras estudiadas, el modo *zoom* 3D es la modalidad más comúnmente utilizada en la práctica diaria para el estudio de la válvula mitral en la sala de hemodinamia y cirugía. (9) En nuestro trabajo elegimos la modalidad *zoom* 3D para realizar las mediciones dado que preferimos a expensas de un poco menos de resolución temporal y espacial no tener artefactos de ensamblado. La experiencia de otros autores ha sido dispar; Grewal y colaboradores (11) y Maffessanti y colaboradores (13) utilizaron el modo de volumen completo para el estudio de sus pacientes, mientras que Chandra y colaboradores (12) prefirieron el modo *zoom* 3D. En tanto, Moustafa y colaboradores (10) utilizaron indistintamente volúmenes adquiridos en modo *zoom* 3D o en modo volumen completo.

La construcción del modelo tridimensional de la válvula mitral puede realizarse luego de un corto entrenamiento y requiere unos 15 minutos aproximadamente por cada paciente. Las estimaciones de dimensiones, circunferencias, áreas, altura y forma del anillo de la válvula mitral son muy reproducibles según muestran los muy buenos valores de concordancia tanto intraobservador como interobservador.

CONCLUSIONES

Los resultados del presente trabajo muestran los valores de referencia de diámetros, circunferencia, área, altura y forma del anillo, así como de las valvas de la válvula mitral en una población sin cardiopatía estudiada con ETE 3D. Sientan las bases para futuros estudios que, asociando mediciones similares en todo el rango de gravedad de la patología mitral, permitan definir prospectivamente la sensibilidad y la especificidad del estudio para enfermedad mitral.

Declaración de conflicto de intereses

Los autores declaran que no poseen conflicto de intereses.

BIBLIOGRAFÍA

1. Nkomo VT, Gardin JM, Skelton TN, Gottdiener JS, Scott CG, Enriquez-Sarano M. Burden of valvular heart diseases: a population-based study. *Lancet* 2006;368:1005-11. <http://doi.org/dhzdrf>
2. Iung B, Baron G, Tornos P, Gohlke Bärwolf C, Butchart EG, et al. Valvular heart disease in the community: A European experience. *Curr Probl Cardiol* 2007;32:609-61. <http://doi.org/chtr59>
3. Bonow RO, Carabello BA, Chatterjee K, de León AC, Faxon DP, Freed MD, et al. 2008 Focused update incorporated into the ACC/AHA 2006 guidelines for the management of patients with valvular heart disease: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Writing Committee to revise the 1998 guidelines for the management of patients with valvular heart disease). *J Am Coll Cardiol* 2008;52:e1-e142. <http://doi.org/bw957v>
4. Shah PM. Current concepts in mitral valve prolapse- Diagnosis and management. *J Cardiol* 2010;56:125-33. <http://doi.org/bh9p8x>
5. Verma S, Mesana TG. Mitral-valve repair for mitral-valve prolapse. *N Engl J Med* 2009;361:2261-9. <http://doi.org/bdxkdk>
6. Filsoufi F, Carpentier A. Principles of reconstructive surgery in degenerative mitral valve disease. *Semin Thorac Cardiovasc Surg* 2007;19:103-10. <http://doi.org/dk5w89>
7. Veronesi F, Corsi C, Sugeng L, Mor-Avi V, Caiani EG, Weinert L, et al. A study of functional anatomy of aortic-mitral valve coupling using 3D matrix transesophageal echocardiography. *Circ Cardiovasc Imaging* 2009;2:24-31. <http://doi.org/brsnz4>
8. Mor-Avi V, Sugeng L, Lang RM. Contemporary reviews in cardiovascular medicine real-time 3-dimensional echocardiography: An integral component of the routine echocardiographic examination in adult patients? *Circulation* 2009;119:314-29. <http://doi.org/fg4m77>
9. Lang RM, Badano LP, Tsang W, Adams DH, Agricola E, Buck T, et al. EAE/ASE recommendations for image acquisition and display using three-dimensional echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2012;25:3-46. <http://doi.org/dt5z3f>
10. Moustafa SE, Mookadam F, Alharthi M, Kansal M, Bansal RC, Chandrasekaran K. Mitral annular geometry in normal and myxomatous mitral valves: three-dimensional transesophageal echocardiographic quantification. *J Heart Valve Dis* 2012;21:299-310.
11. Grewal J, Suri R, Mankad S, Tanaka A, Mahoney DW, Schaff HV,

- et al. Mitral annular dynamics in myxomatous valve disease: new insights with real-time 3-dimensional echocardiography. *Circulation* 2010;121:1423-31. <http://doi.org/d4p2m6>
12. Chandra S, Salgo IS, Sugeng L, Weinert L, Tsang W, Takeuchi M, et al. Characterization of degenerative mitral valve disease using morphologic analysis of real-time three-dimensional echocardiographic images. Objective insight into complexity and planning of mitral valve repair. *Circ Cardiovasc Imaging* 2011;4:24-32. <http://doi.org/c9qfsh>
13. Maffessanti F, Marsan NA, Tamborini G, Sugeng L, Caiani EG, Gripari P, et al. Quantitative analysis of mitral valve apparatus in mitral valve prolapse before and after annuloplasty: a three-dimensional intraoperative transesophageal study. *J Am Soc Echocardiogr* 2011;24:405-13. <http://doi.org/d329cv>
14. Fleiss JL. The design and analysis of clinical experiments. New York: Wiley; 1986.
15. Prieto L, Lamarca R, Casado A. Assessment of the reliability of clinical findings: the intraclass correlation coefficient. *Med Clin (Barc)* 1998;110:142-5.
16. Ling LH, Enriquez-Sarano M, Seward JB, Tajik AJ, Schaff HV, Bailey KR, et al. Clinical outcome of mitral regurgitation due to flail leaflet. *N Engl J Med* 1996;335:1417-23. <http://doi.org/ftq9jz>
17. Gammie JS, Sheng S, Griffith BP, Peterson ED, Rankin JS, O'Brien SM, et al. Trends in mitral valve surgery in the United States: Results from the Society of Thoracic Surgeons Adult Cardiac Database. *Ann Thorac Surg* 2009;87:1431-9. <http://doi.org/bffsbq>
18. Enriquez-Sarano M, Schaff HV, Orszulak TA, Tajik AJ, Bailey KR, Frye RL. Valve repair improves the outcome of surgery for mitral regurgitation. A multivariate analysis. *Circulation* 1995;91:1022-8. <http://doi.org/sgp>
19. Bolling SF, Li S, O'Brien SM, Brennan JM, Prager RL, Gammie JS. Predictors of mitral valve repair: clinical and surgeon factors. *Ann Thorac Surg* 2010;90:1904-11. <http://doi.org/drjj95>
20. David TE. Outcomes of mitral valve repair for mitral regurgitation due to degenerative disease. *Semin Thorac Cardiovasc Surg* 2007;19:116-20. <http://doi.org/c6t2cb>
21. Adams DH, Rosenhek R, Falk V. Degenerative mitral valve regurgitation: best practice revolution. *Eur Heart J* 2010;31:1958-66. <http://doi.org/cmd5pf>
22. Adams DH, Anyanwu AC, Sugeng L, Lang RM. Degenerative mitral valve regurgitation: surgical echocardiography. *Curr Cardiol Rep* 2008;10:226-32. <http://doi.org/dtf3mb>
23. O'Gara P, Sugeng L, Lang R, E. Sarano M, Hung J, Raman S, et al. The role of imaging in chronic degenerative mitral regurgitation. *JACC Imag* 2008;1:221-37. <http://doi.org/bx5b5n>
24. Grewal J, Mankad S, Freeman WK, Click RL, Suri RM, Abel MD, et al. Real-time three-dimensional transesophageal echocardiography in the intraoperative assessment of mitral valve disease. *J Am Soc Echocardiogr* 2009;22:34-41. <http://doi.org/dnwdn6>
25. Biaggi P, Jedrzkiewicz S, Gruner C, Meineri M, Karski J, Vegas A, et al. Quantification of mitral valve anatomy by three-dimensional transesophageal echocardiography in mitral valve prolapse predicts surgical anatomy and the complexity of mitral valve repair. *J Am Soc Echocardiogr* 2012;25:758-65. <http://doi.org/sgq>
26. Ben Zekry S, Nagueh SF, Little SH, Quinones MA, McCulloch ML, Karanbir S, 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;24:1079-85. <http://doi.org/bwrfx5>
27. Castillo JG, Solís J, González-Pinto A, Adams DH. Ecocardiografía quirúrgica de la válvula mitral. *Rev Esp Cardiol* 2011;64:1169-81. <http://doi.org/dkbtb7s>