

Utilidad de la ecocardiografía tridimensional en la cuantificación del área valvular aórtica

Leopoldo Pérez de Isla, José Zamorano, Rocío Pérez de la Yglesia, Sara Cioccarelli, Carlos Almería, José L. Rodrigo, Ada L. Aubele, Dionisio Herrera, Luis Mataix, Viviana Serra y Carlos Macaya

Unidad de Imagen Cardiovascular. Instituto Cardiovascular. Hospital Clínico San Carlos. Madrid. España.

Introducción y objetivos. Determinar si la estimación del área del tracto de salida del ventrículo izquierdo (TSVI) mediante planimetría con ecografía tridimensional (Eco-3D) es más reproducible que con ecografía bidimensional (Eco-2D). Determinar el grado de circularidad del TSVI mediante Eco-3D. Determinar el impacto de la valoración del área del TSVI mediante Eco-3D en la cuantificación de la severidad de la estenosis aórtica valvular.

Métodos. Se reclutó a 40 pacientes con valvulopatía aórtica, 22 con estenosis aórtica. Se calculó el área del TSVI mediante Eco-2D y Eco-3D. Se calculó el índice de circularidad del TSVI mediante Eco-3D. Por último, se clasificó la severidad de las estenosis aórticas mediante Eco-2D y Eco-3D.

Resultados. El grado de acuerdo tanto entre observadores como intraobservador a la hora de determinar el área del TSVI fue superior cuando se usó Eco-3D. El índice de circularidad fue $1,5 \pm 0,25$ y presentó un grado de asociación lineal con el área del TSVI muy bajo ($r = -0,34$; $p = 0,47$). Los pacientes con estenosis aórtica valvular fueron clasificados de acuerdo con su severidad determinada con Eco-2D y Eco-3D. El grado de acuerdo entre los métodos fue débil ($\kappa = 0,36$).

Conclusiones. La medición del área del TSVI mediante Eco-3D es más reproducible que con Eco-2D. Por lo tanto, probablemente se trate de un método más preciso para evaluarla. La Eco-3D demuestra que el TSVI tiene una forma elíptica y que su tamaño no se relaciona con su morfología más o menos circular. La Eco-3D podría ayudar a clasificar la severidad de la estenosis aórtica.

Palabras clave: Estenosis aórtica. Ecocardiografía. Tridimensional.

Quantification of Aortic Valve Area Using Three-Dimensional Echocardiography

Introduction and objectives. To determine whether the reproducibility of left ventricular outflow tract (LVOT) area measurement is greater with three-dimensional echocardiographic (3D-echo) planimetry than with conventional 2D-echo. To determine the LVOT circularity index by means of 3D-echo. To determine the usefulness of measuring the LVOT area by 3D-echo for quantifying the severity of valvular aortic stenosis.

Methods. The study included 40 patients, of whom 22 had an aortic stenosis. The LVOT area was measured using both 2D-echo and 3D-echo, and the circularity index, using 3D-echo alone. In addition, the severity of valvular aortic stenosis was categorized using both 2D-echo and 3D-echo.

Results. The levels of inter- and intra-observer agreement on LVOT area measurements were better with 3D-echo. The circularity index was $1.50 (0.25)$, and there was a very poor linear correlation with LVOT area ($r = -0.34$; $P = .47$). Patients with valvular aortic stenosis were categorized according to the severity of their stenoses using both 2D-echo and 3D-echo. The level of agreement between the two techniques was poor ($\kappa = 0.36$).

Conclusions. Measurements of the LVOT area made using 3D-echo were more reproducible than those made using 2D-echo. Consequently, 3D-echo may be a better technique for assessing the LVOT area. In addition, 3D-echo showed that the LVOT is elliptical in form and that its size is not related to its circularity. Moreover, 3D-echo could also be helpful in classifying the severity of valvular aortic stenosis.

Key words: Aortic stenosis. Echocardiography. Three-dimensional.

Full English text available from: www.revespcardiol.org

Correspondencia: Dr. J.L. Zamorano.
Unidad de Imagen Cardiovascular. Hospital Clínico San Carlos.
Profesor Martín Lagos, s/n. 28040 Madrid. España.
Correo electrónico: jlzamorano@vodafone.es

Recibido el 26 de julio de 2007.
Aceptado para su publicación el 11 de enero de 2008.

INTRODUCCIÓN

La estenosis valvular aórtica se ha convertido en un problema de gran magnitud en nuestra sociedad. Su tratamiento en estadios avanzados se encuentra relativamente bien establecido, aunque en etapas más precoces, especialmente en los casos en que una estenosis de grado severo no se acompaña de sintomatología, es

ABREVIATURAS

AVA: área valvular aórtica.
 CCI: coeficiente de correlación intraclase.
 Eco-2D: ecocardiografía bidimensional.
 Eco-3D: ecocardiografía tridimensional.
 IC: intervalo de confianza.
 TSVI: tracto de salida del ventrículo izquierdo.

aún motivo de controversia en lo que respecta a su manejo^{1,2}. Uno de los aspectos más importantes en la valoración de un paciente con estenosis valvular aórtica es el cálculo del área valvular. El método más empleado para valorar la severidad de la estenosis valvular aórtica es el cálculo del área efectiva mediante la ecuación de continuidad. Sin embargo, éste no es un método exento de limitaciones. Una de las más importantes es el cálculo del área del tracto de salida del ventrículo izquierdo (TSVI), que normalmente se estima mediante ecocardiografía bidimensional (Eco-2D) a partir del diámetro obtenido desde un plano de eje largo desde la proyección paraesternal. Además de que esta fórmula presume que el TSVI es una estructura perfectamente circular, la medición estandarizada del área del tracto de salida ventricular izquierdo está sujeta a una gran variabilidad dependiente del operador que realice el estudio y a las limitaciones propias de la técnica, por lo que puede ser inexacta, lo cual afecta a mediciones tan importantes como la del área valvular aórtica^{3,4}.

Recientemente, la ecocardiografía tridimensional (Eco-3D) se ha incorporado a la rutina clínica de muchos laboratorios de ecocardiografía y aporta numerosas ventajas en la valoración de la enfermedad valvular. Esta técnica permite realizar mediciones de las diferentes estructuras del corazón en cualquier plano del espacio. Debido a esta característica, en otras situaciones clínicas como la estenosis mitral, la estenosis aórtica subvalvular o la determinación de los volúmenes y la función del ventrículo izquierdo, ha demostrado su alta precisión diagnóstica⁵⁻¹².

Nuestros objetivos fueron: determinar si la estimación del área del TSVI mediante planimetría con Eco-3D es más reproducible que la estimación de dicha área mediante la medición del diámetro del TSVI; en segundo lugar, determinar el grado de circularidad del TSVI mediante Eco-3D, y por último, determinar el impacto de la valoración del área del TSVI mediante Eco-3D en la cuantificación de la severidad de la estenosis valvular aórtica.

MÉTODOS**Población de estudio**

Se reclutó a 40 pacientes con valvulopatía aórtica. De ellos, 22 (55%) presentaban estenosis aórtica y 18

(45%) insuficiencia aórtica como problema fundamental. Ninguno tenía otra valvulopatía en grado superior a leve. Todos ellos fueron informados de las técnicas diagnósticas a las que iban a ser sometidos y dieron su consentimiento. Asimismo, fueron informados y dieron su consentimiento para que sus datos, de forma anónima, fueran empleados con fines de investigación.

Estudio ecocardiográfico

A todos los pacientes se les realizó un estudio por eco-Doppler completo con un equipo Philips IE-33 con sondas S5-1 y X3-1 (Philips, Andover, Massachusetts, Estados Unidos). Las imágenes fueron analizadas por dos observadores que realizaron las determinaciones independientemente; uno de ellos repetía la medición sin conocer el resultado de la primera.

Estudios ecocardiográficos convencionales

Las imágenes bidimensionales del TSVI fueron obtenidas desde una ventana paraesternal en el eje largo cardiaco. Sobre esas imágenes se realizó la medición del diámetro del TSVI. Se obtuvieron trazados de Doppler continuo espectral del flujo a través de la válvula aórtica durante el período sistólico desde un plano apical de cinco cámaras y desde un plano paraesternal derecho. Se consideró para su posterior análisis el trazado con mayores velocidades máxima y media. Por otro lado, se obtuvieron trazados mediante Doppler pulsado espectral a nivel del TSVI durante el período sistólico desde un plano apical de cinco cámaras. Se estimó el área valvular aórtica mediante la ecuación de continuidad.

Estudios ecocardiográficos tridimensionales

El estudio Eco-3D se realizó inmediatamente después del estudio eco-Doppler convencional. Para ello se empleó una sonda Philips X3-1 (Philips, Andover, Massachusetts, Estados Unidos). Este sistema permite emplear la técnica denominada de «volumen completo», una pirámide de datos de $60^\circ \times 60^\circ$ a partir de entre 4 y 7 latidos cardiacos; se puede ampliar el tamaño o reducirlo en función de las características morfológicas del paciente. Las imágenes tridimensionales fueron captadas desde la ventana apical. Los motivos para emplear esta ventana son múltiples: es el plano de captación de imágenes de tipo «volumen completo» con el que más experiencia tiene nuestra unidad; mediante esta vista se puede captar más extensión de las estructuras cardiacas y, al tratarse de una técnica tridimensional, la visualización de los planos de estudio puede ser obtenida desde cualquier proyección. Las imágenes se almacenaron en el servidor central de la unidad de imagen de nuestro hospital y fueron analizadas *off-line* en una estación de trabajo mediante el *softwa-*

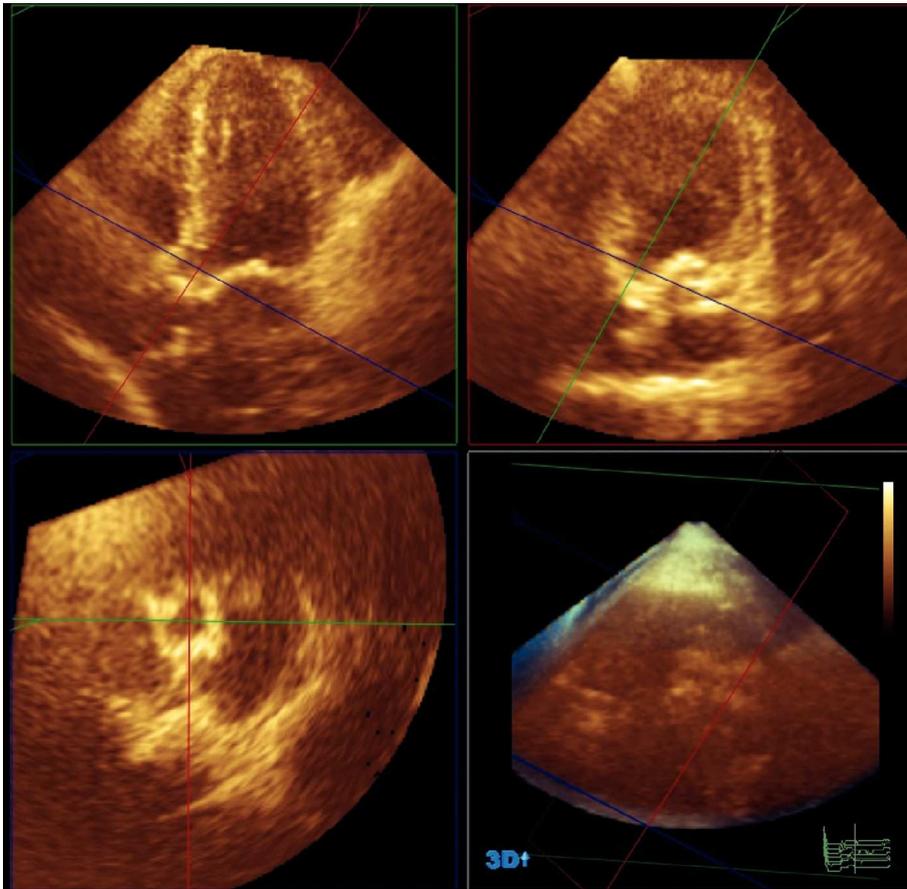


Fig. 1. Planimetría del tracto de salida del ventrículo izquierdo mediante ecocardiografía tridimensional, empleando el software Q-Lab® (Philips, Andoven, Massachusetts, Estados Unidos).

re Q-Lab® (Philips, Andoven, Massachusetts). Se realizó la planimetría del TSVI empleando un plano de corte del TSVI inmediatamente por debajo del plano de inserción de los velos valvulares y paralelo a él, durante la sístole ventricular (fig. 1). Posteriormente se realizó la medición del eje mayor y del eje más largo perpendicular al mayor (en adelante, eje menor) del TSVI a partir de la misma imagen, y se obtuvo el «índice de circularidad» del cociente entre el eje mayor dividido por el eje menor. Los valores empleados en el análisis final fueron el valor promedio de las mediciones de dos observadores independientes.

Métodos estadísticos

El programa estadístico empleado para este estudio fue el SPSS 11.0 (SPSS Inc., Chicago, Illinois, Estados Unidos). Los datos cuantitativos se muestran como media \pm desviación estándar. Los datos cualitativos se muestran como número absoluto (porcentaje). El acuerdo entre métodos fue evaluado mediante el coeficiente de correlación intraclase (CCI) y se calcularon sus intervalos de confianza (IC) del 95%. En el caso de variables categóricas se empleó el índice kappa. Para valorar el grado de asociación lineal entre variables, se empleó el análisis de regresión lineal sim-

ple. Se consideraron estadísticamente significativos los resultados con un valor $p < 0,005$.

RESULTADOS

De un total de 45 pacientes consecutivos con valvulopatía aórtica que fueron evaluados, no fue posible hacer un correcto análisis de las medidas del tracto de salida del ventrículo izquierdo por mala ventana acústica de 5 (11,1%) pacientes, por lo que fueron excluidos del estudio. Por lo tanto, se incluyó en total a 40 pacientes con valvulopatía aórtica. Su media de edad fue $65,5 \pm 11$ años. De ellos, 23 (57,5%) eran varones. Las determinaciones obtenidas mediante Eco-2D, Eco-3D, Doppler pulsado y Doppler continuo se muestran en la tabla 1.

Análisis del acuerdo entre observadores e intraobservador

Como se detalla en la tabla 2 y en la figura 2, el grado de acuerdo, tanto entre observadores como intraobservador, a la hora de determinar el área del TSVI es muy superior cuando se mide mediante planimetría directa con Eco-3D que cuando se estima a partir de la medición del diámetro del TSVI mediante Eco-2D.

TABLA 1. Diferentes parámetros obtenidos mediante el empleo de ecocardiografía bidimensional, Doppler espectral pulsado o continuo y ecocardiografía tridimensional

	Díámetro TSVI	Área TSVI	ITV TSVI	ITV VAo	AVAo	AVAo (EAo)
Eco-2D	2,1 ± 0,1	3,3 ± 0,3			1,4 ± 1,1	0,8 ± 0,3
Doppler pulsado			27,8 ± 10,7			
Doppler continuo				81,1 ± 33,5		
Eco-3D		3,9 ± 0,7			1,7 ± 1,5	0,9 ± 0,3

AVAo: área valvular aórtica; EAo: sólo pacientes con EAo; Eco-2D: ecocardiograma bidimensional; Eco-3D: ecocardiograma tridimensional; ITV: integral tiempo-velocidad; TSVI: tracto de salida del ventrículo izquierdo; VAo: válvula aórtica.

TABLA 2. Grado de acuerdo entre observadores e intraobservador en el cálculo del área del tracto de salida del ventrículo izquierdo

	CCI	IC del 95%	p
Intraobservador			
Área TSVI Eco-2D	0,27	0,025-0,537	0,037
Área TSVI Eco-3D	0,99	0,983-0,995	< 0,001
Entre observadores			
Área TSVI Eco-2D	0,43	0,143-0,656	0,001
Área TSVI Eco-3D	0,97	0,951-0,986	< 0,001

Eco-2D: ecocardiograma bidimensional; Eco 3D: ecocardiograma tridimensional; CCI: coeficiente de correlación intraclass; IC: intervalo de confianza; TSVI: tracto de salida del ventrículo izquierdo.

Análisis del índice de circularidad

Los valores medios obtenidos del eje mayor y el eje menor del TSVI fueron respectivamente $2,68 \pm 0,31$ y $1,82 \pm 0,28$ cm. El índice de circularidad fue $1,5 \pm 0,25$ y presentó un grado de asociación lineal con el

área del TSVI muy bajo, no alcanzando significación estadística ($r = -0,34$; $p = 0,47$).

Impacto del empleo de la Eco-3D en la cuantificación de la severidad de la estenosis valvular aórtica

Para valorar el posible impacto del empleo de la Eco-3D en la valoración de las estenosis aórticas valvulares, se seleccionó únicamente a los pacientes con diagnóstico de estenosis aórtica valvular ($n = 22$). A continuación, se determinaron dos puntos de corte teóricos del área valvular, y se dividió a los pacientes en tres grupos de acuerdo con la siguiente clasificación: estenosis aórtica moderada si el área valvular era $> 1 \text{ cm}^2$; severa si el área se situaba entre 1 y $0,75 \text{ cm}^2$, y crítica si el área valvular aórtica era $< 0,75 \text{ cm}^2$. Los pacientes fueron clasificados de acuerdo con lo descrito empleando los resultados de la Eco-2D y la Eco-3D aplicados a la ecuación de continuidad (fig. 3). El índice kappa entre ambos métodos fue de tan sólo $0,36$

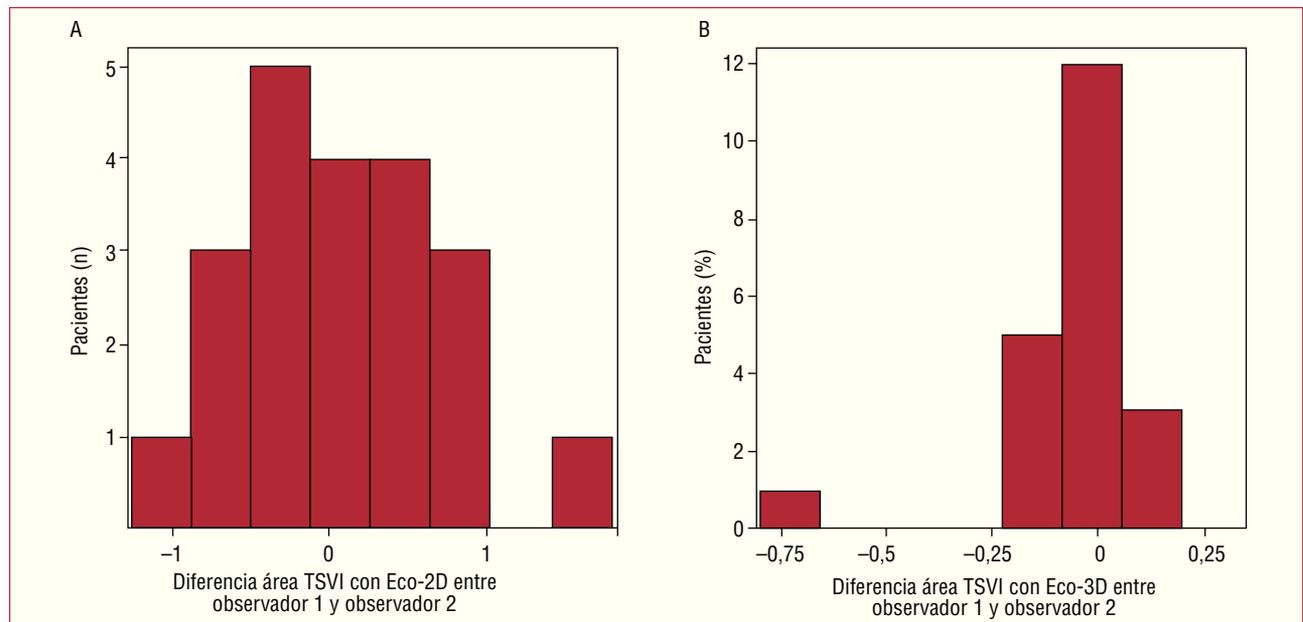


Fig. 2. Histogramas que representan las diferencias en las mediciones de ambos observadores del área del tracto de salida del ventrículo izquierdo. A: con ecocardiografía bidimensional (Eco-2D). B: con ecocardiografía tridimensional (Eco-3D).

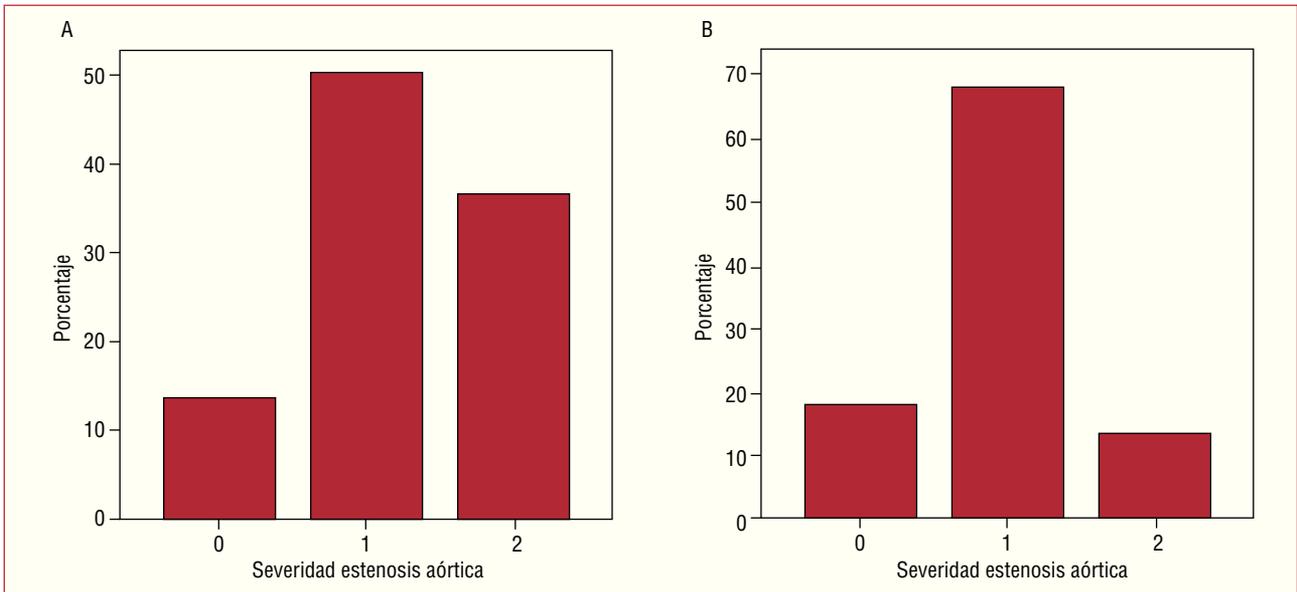


Fig. 3. Severidad de la estenosis valvular aórtica empleando la estimación del área del tracto de salida del ventrículo izquierdo. A: mediante ecocardiografía bidimensional. B: mediante planimetría directa con ecocardiografía tridimensional. Eje horizontal, 0: área valvular > 1 cm²; 1: área valvular 1-0,75 cm²; 2: área valvular < 0,75 cm².

TABLA 3. Tabla de acuerdo entre los resultados de la cuantificación del área valvular aórtica con Eco-2D y Eco-3D en pacientes con estenosis valvular aórtica

	Eco-3D			Total
	0	1	2	
Eco-2D				
0	3	1	0	4
1	1	8	1	10
2	0	6	2	8
Total	4	15	3	22

0: área valvular > 1 cm²; 1: área valvular, 1-0,75 cm²; 2: área valvular < 0,75 cm²; Eco-2D: ecocardiograma bidimensional; Eco 3D: ecocardiograma tridimensional.

(p = 0,01). En la tabla 3 se muestran los resultados del acuerdo entre las mediciones obtenidas del área valvular aórtica empleando Eco-2D y Eco-3D en pacientes con estenosis aórtica (fig. 4).

DISCUSIÓN

Actualmente, la valoración de la severidad de las estenosis aórticas valvulares es una pieza clave para el adecuado manejo de este tipo de pacientes^{3,4}. Aunque se emplean varios métodos, como la determinación de gradientes y velocidades pico a través de la válvula estenótica, se recomienda siempre efectuar la determinación del área valvular¹³. Sin embargo, esta técnica no está exenta de limitaciones. Una de las más importantes es el cálculo del área del TSVI, que normalmente se estima mediante ecocardiografía bidimensional a partir del diámetro obtenido desde un plano de eje lar-

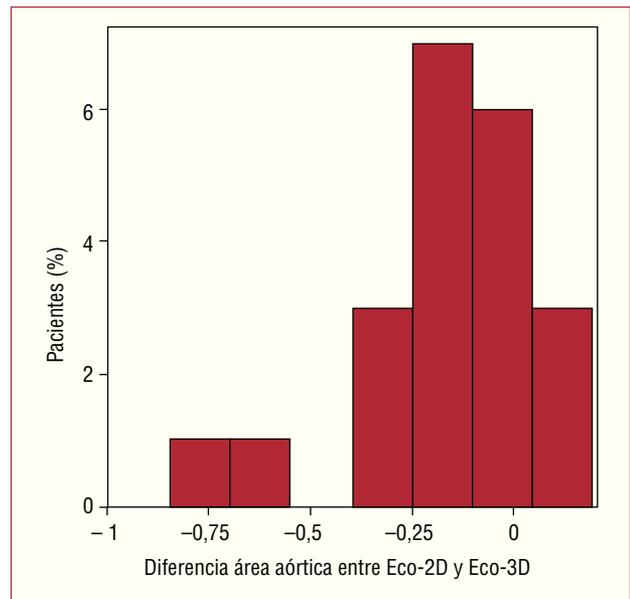


Fig. 4. Histograma que representa las diferencias en las mediciones del área valvular aórtica con ecocardiografía bidimensional (Eco-2D) y tridimensional (Eco-3D).

go desde la proyección paraesternal. Además de que esta fórmula presume que el TSVI es una estructura perfectamente circular, la medición estandarizada del área del TSVI está sujeta a una gran variabilidad dependiente del operador que realice el estudio y a las limitaciones propias de la técnica, por lo que puede ser inexacta, lo que afecta a la cuantificación del área valvular aórtica^{3,4}.

La Eco-3D presenta una ventaja teórica: con ella se puede realizar una planimetría directa del TSVI que proporciona una valoración de la realidad anatómica de esta estructura. Desde un punto de vista teórico, la Eco-3D puede ser una útil herramienta para hacer una valoración anatómica precisa del TSVI. Ello se debe a la posibilidad de realizar una aproximación muy exacta al orificio verdadero, pues podemos orientar el plano de corte en cualquier dirección del espacio y, por lo tanto, elegir el plano de corte óptimo^{5,6,11}. Por lo tanto, la Eco-3D podría eliminar una seria limitación del cálculo del área valvular mediante la ecuación de continuidad.

Los resultados del presente estudio muestran varios hallazgos interesantes. En primer lugar, menos variabilidad entre observadores e intraobservador de la determinación del área del TSVI con Eco-3D que cuando se estima mediante los métodos de Eco-2D clásicos. Ello indica que podría tratarse de una medida más precisa que la efectuada habitualmente mediante Eco-2D. Por otra parte, los resultados respaldan la idea de que el TSVI no es una estructura circular, sino elíptica. Es otro motivo de error en la determinación del área del TSVI a partir del diámetro del TSVI. Lo que se ha denominado en este estudio índice de circularidad muestra que la morfología del TSVI dista de ser circular. Ello justifica que los valores de área del TSVI obtenidos mediante Eco-2D sean inferiores a los obtenidos mediante planimetría directa con Eco-3D. Además, el análisis de regresión lineal demuestra que el hecho de que su morfología se aproxime más o menos a la de un círculo perfecto no depende del área del TSVI, sino que se trata de un parámetro con variaciones individuales y que la Eco-3D puede ser útil independientemente del tamaño del TSVI. Es decir, la circularidad del tracto de salida no depende de su tamaño, sino que es independiente de éste y en probable relación con características individuales del sujeto.

Por último, los datos demuestran que empleando la Eco-3D hay pacientes que pueden ser clasificados en diferente categoría de severidad que cuando se emplea la Eco-2D. Este hallazgo podría ser especialmente útil en el caso de pacientes con estenosis aórtica valvular asintomáticos, en los que el manejo terapéutico es especialmente complicado^{3,4,13,14}.

Limitaciones

La principal limitación de este estudio es no poder contar con una técnica de medición de referencia. Sobre destacar la gran dificultad que ello conllevaría. Sin embargo, estudios realizados recientemente con resonancia magnética cardíaca y otros estudios con los primitivos métodos de ecocardiografía tridimensional respaldan nuestras conclusiones^{15,16}. Por otra parte, la elevada reproducibilidad de la técnica podría justificar algún tipo de error sistemático de la técnica, fenómeno que no se puede descartar con el diseño del presente

estudio. Este trabajo es una primera aproximación a la valoración de la utilidad de la Eco-3D a la valoración de las estenosis valvulares aórticas. El empleo habitual en la clínica de este método diagnóstico y futuros estudios valorarán la posibilidad de generalizar los resultados del presente trabajo a diferentes tipos de pacientes.

CONCLUSIONES

La medición del área del TSVI mediante Eco-3D es más reproducible que con Eco-2D. Por tanto, probablemente se trate de un método más preciso para la evaluación del área del TSVI. La Eco-3D muestra que el TSVI tiene una forma elíptica y que su morfología más o menos circular no se relaciona con su tamaño. Es posible que la Eco-3D pueda ayudar a clasificar de una forma más precisa el grado de severidad de la estenosis aórtica valvular que la Eco-2D.

BIBLIOGRAFÍA

1. Selzer A. Changing aspects of the natural history of valvular aortic stenosis. *N Engl J Med.* 1987;317:91-8.
2. Dare AJ, Veinot JP, Edwards WD, Tazelaar HD, Schaff HV. New observations on the etiology of aortic valve disease: a surgical pathologic study of 236 cases from 1990. *Hum Pathol.* 1993;24:1330-8.
3. Zoghbi WA, Enriquez-Sarano M, Foster E, Grayburn PA, Kraft CD, Levine RA, et al. Recommendations for evaluation of the severity of native valvular regurgitation with two-dimensional and Doppler echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr.* 2003;16:777-802.
4. Otto CM, Burwash IG, Legget ME, Munt BI, Fujioka M, Healy NL, et al. Prospective study of asymptomatic valvular aortic stenosis: clinical, echocardiographic, and exercise predictors of outcome. *Circulation.* 1997;95:2262-70.
5. Zamorano J, Cordeiro P, Sugeng L, Perez de Isla L, Weinert L, Macaya C, et al. Real-time three-dimensional echocardiography for rheumatic mitral valve stenosis evaluation: an accurate and novel approach. *J Am Coll Cardiol.* 2004;43:2091-6.
6. Zamorano J, Perez de Isla L, Sugeng L, Cordeiro P, Rodrigo JL, Almería C, et al. Non-invasive assessment of mitral valve area during percutaneous balloon mitral valvuloplasty: role of real-time 3D echocardiography. *Eur Heart J.* 2004;25:2073-4.
7. Chen Q, Nosir YF, Vletter WB, Kint PP, Salustri A, Roelandt JR. Accurate mitral valve area assessment in patients with mitral stenosis by three-dimensional echocardiography. *J Am Coll Cardiol.* 1997;10:133-40.
8. Gutierrez-Chico JL, Zamorano JL, Pérez de Isla L, Orejas M, Almería C, Rodrigo JL, et al. C. Comparison of left ventricular volume and ejection fraction measured by three-dimensional echocardiography and cardiac magnetic resonance in patients with various cardiomyopathies. *Am J Cardiol.* 2005;95:809-13.
9. Pérez de Isla L, Zamorano J, Malangatana G, Almería C, Rodrigo JL, Cordeiro P, et al. Morphologic determinants of subaortic stenosis in hypertrophic cardiomyopathy: Insights from real time 3D echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr.* 2005;18:802-4.
10. Caiani EG, Corsi C, Zamorano J, Sugeng L, MacEneaney P, Weinert L, et al. Improved semiautomated quantification of left ventricular volumes and ejection fraction using 3-dimensional echocardiography with a full matrix-array transducer: comparison with magnetic resonance imaging. *J Am Soc Echocardiogr.* 2005;18:779-88.

11. Jacobs LD, Salgo IS, Goonewardena S, Weinert L, Coon P, Bardo D, et al. Real-time three-dimensional echocardiographic quantification of left ventricular volumes using a rapid tissue tracking algorithm. *Eur Heart J*. 2006;27:460-8.
12. Zamorano J, Pérez de Isla L. Real-time 3D echocardiography: a new gold standard for rheumatic mitral stenosis assessment. *Curr Cardiol Rev*. 2006;2:17-20.
13. Vahanian A, Baumgartner H, Bax J, Butchart E, Dion R, Filippatos G, et al. Guidelines on the management of valvular heart disease: The Task Force on the Management of Valvular Heart Disease of the European Society of Cardiology. *Eur Heart J*. 2007; 28:230-68.
14. Bonow RO, Carabello BA, Kanu C, De Leon AC Jr, Faxon DP, Freed MD, et al. 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): developed in collaboration with the Society of Cardiovascular Anesthesiologists: endorsed by the Society for Cardiovascular Angiography and Interventions and the Society of Thoracic Surgeons. *Circulation*. 2006;114:e84-231.
15. Burgstahler C, Kunze M, Löffler C, Gawaz MP, Hombach V, Merkle N. Assessment of left ventricular outflow tract geometry in non-stenotic and stenotic aortic valves by cardiovascular magnetic resonance. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2006;8:825-9.
16. Menzel T, Mohr-Kahaly S, Wagner S, Fischer T, Brückner A, Meyer J. Calculation of left ventricular outflow tract area using three-dimensional echocardiography. Influence on quantification of aortic valve stenosis. *Int J Card Imaging*. 1998;14:373-9.