

Ecocardiografía tridimensional. Nuevas perspectivas sobre la caracterización de la válvula mitral

Jorge Solis^a, Marta Sitges^b, Robert A. Levine^a y Judy Hung^a

^aCardiology Division. Massachusetts General Hospital. Harvard Medical School. Boston. Massachusetts. Estados Unidos.

^bServicio de Cardiología. Institut Clínic del Torax. Hospital Clínic. Institut d'Investigacions Biomèdiques August Pi i Sunyer. Universitat de Barcelona. Barcelona. España.

Recientes avances en la ecocardiografía tridimensional han permitido obtener imágenes en tiempo real, sin necesidad de realizar una reconstrucción *off-line*. Estos avances la han convertido en una importante herramienta tanto para la investigación como para la práctica clínica diaria. Gran parte de los trabajos realizados mediante ecocardiografía tridimensional se centran en el análisis de la válvula mitral, la fisiopatología de las lesiones mitrales y, en especial, la insuficiencia mitral funcional. El objetivo de este artículo es revisar la aportación de la ecocardiografía tridimensional en el conocimiento de la anatomía funcional de la válvula mitral, sus aplicaciones clínicas y sus implicaciones terapéuticas.

Palabras clave: *Ecocardiografía tridimensional. Ecocardiografía tridimensional en tiempo real. Insuficiencia mitral.*

Three-Dimensional Echocardiography. New Possibilities in Mitral Valve Assessment

Recent developments in three-dimensional echocardiography have made it possible to obtain images in real time, without the need for off-line reconstruction. These developments have enabled the technique to become an important tool for both research and daily clinical practice. A substantial proportion of the studies carried out using three-dimensional echocardiography have focused on the mitral valve, the pathophysiology of mitral valve disease and, in particular, functional mitral regurgitation. The aims of this article were to review the contribution of three-dimensional echocardiography to understand the functional

anatomy of the mitral valve and to summarize the resulting clinical applications and therapeutic implications.

Key words: *Three-dimensional echocardiography. Real-time three-dimensional echocardiography. Mitral regurgitation.*

Full English text available from: www.revespcardiol.org

INTRODUCCIÓN

En los últimos 10 años se ha producido un gran desarrollo de la ecocardiografía tridimensional en tiempo real (Eco-3DTR). Los avances en la adquisición, el almacenamiento y el análisis de las imágenes derivadas de esta técnica han hecho posible que cada vez sea más frecuente su uso en los laboratorios de ecocardiografía; no sólo en estudios de investigación, sino también en la práctica clínica diaria. Gran parte de los trabajos realizados mediante ecocardiografía tridimensional (Eco-3D) se centran en el análisis de la válvula mitral (VM). La Eco-3D nos ha permitido entender la anatomía funcional de la VM, la fisiopatología de las lesiones mitrales y, en especial, de la insuficiencia mitral funcional (IMF). La reciente incorporación de la Eco-3DTR transesofágica (Eco-3DTRTE) supone un gran avance y probablemente se convertirá en una herramienta imprescindible, tanto para el diagnóstico de lesiones mitrales como para la monitorización de la cirugía cardíaca y los procedimientos percutáneos sobre la válvula.

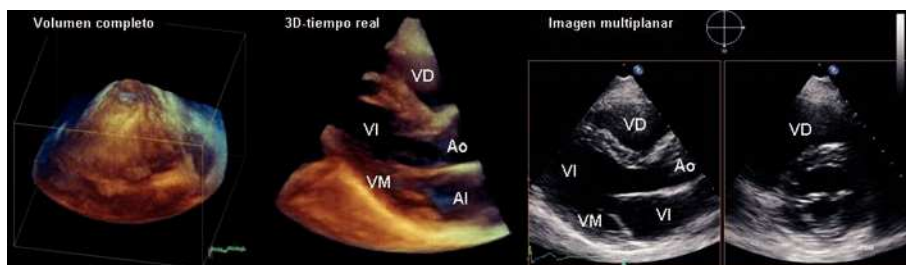
El objetivo de este artículo es revisar la aportación de la Eco-3D en el conocimiento de la anatomía funcional de la VM, sus aplicaciones clínicas y sus implicaciones terapéuticas.

DESARROLLO DE LA ECOCARDIOGRAFÍA TRIDIMENSIONAL

Las primeras imágenes tridimensionales del corazón mediante ecocardiografía fueron obtenidas

Correspondencia: Dr. J. Solis Martin.
Cardiology Division. Massachusetts General Hospital.
Blake 2. 55 Fruit Street. Boston, MA 02114. Estados Unidos.
Correo electrónico: jsolis-martin@partners.org.

Fig. 1. Modalidades de captación con Eco-3DTR: volumen completo donde se capta una pirámide de información; 3D-tiempo real en la que se observa un corte paraesternal en el eje largo; imagen multiplanar con la captación simultánea de dos planos bidimensionales (plano paraesternal longitudinal y plano paraesternal transversal a nivel de la válvula mitral). AI: aurícula izquierda; Ao: válvula aórtica; VD: ventrículo derecho; VI: ventrículo izquierdo; VM: válvula mitral.



por Dekker et al¹ en 1974. A partir de entonces, se desarrollaron diferentes sistemas tridimensionales que requerían la adquisición de imágenes bidimensionales (Eco-2D) sincronizadas con el electrocardiograma y la respiración, junto con un laborioso proceso de reconstrucción. Durante mucho tiempo, esta técnica ha aportado valiosa información sobre la anatomía y la función cardíaca. Sin embargo, su uso estaba limitado a unos pocos laboratorios de ecocardiografía y únicamente a estudios de investigación, debido al largo tiempo de procesado que requerían las imágenes.

El desarrollo de transductores matriciales, con más de 3.000 cristales, junto con nuevos procesadores, permite obtener imágenes en tiempo real, sin necesidad de realizar una reconstrucción *off-line*. Esta tecnología permite adquirir una pirámide tridimensional de datos que puede incluir todas las estructuras cardíacas. Estos nuevos avances han llevado a que, en la actualidad, la Eco-3D no esté únicamente limitada a la investigación, sino que puede formar parte de la práctica clínica diaria.

La Eco-3DTR presenta tres modalidades de adquisición: volumen completo, 3D-tiempo real, y la imagen multiplanar (adquisición de dos o tres planos simultáneos) (fig. 1). La utilización de una u otra dependerá de las estructuras cardíacas que se examina y el objetivo del estudio. Así, para obtener imágenes del ventrículo izquierdo y evaluar sus dimensiones y la función sistólica se recomienda captar un volumen completo en la ventana apical, con lo que podremos incluirlo en su totalidad. Requiere de 4 a 7 latidos y debe estar sincronizado con el electrocardiograma. Estructuras más pequeñas, como la válvula pulmonar o la aórtica, se pueden adquirir con 3D-tiempo real e incluso podremos realizar imágenes ampliadas (3D-zoom). Al ser en tiempo real, no requiere estar sincronizado con el electrocardiograma, pero el volumen captado será menor. Finalmente, la adquisición multiplanar, concretamente la biplanar, es muy útil para la VM, ya que permite ver al mismo tiempo un plano longitudinal y otro transversal de la válvula corrigiendo la angulación hasta conseguir el plano deseado. Es destacable también la aplicación de la Eco-3DTR multiplanar para la ecocardiografía de estrés, con lo

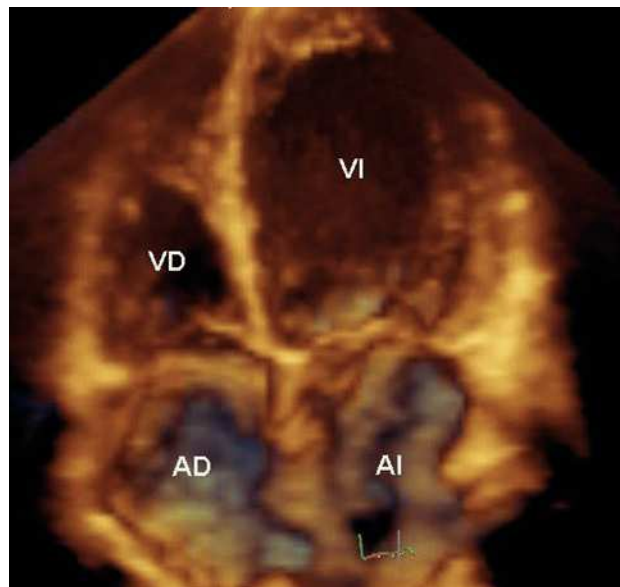


Fig. 2. Imagen tridimensional de las cavidades cardíacas captadas mediante volumen completo desde el plano apical. AD: aurícula derecha; AI: aurícula izquierda; VD: ventrículo derecho; VI: ventrículo izquierdo.

que se reduce el tiempo de adquisición de las imágenes de forma significativa.

Una vez captadas las imágenes, hay dos maneras de visualizarlas. Por un lado, creando imágenes tridimensionales con apariencia de volumen, lo que permite ver las cavidades cardíacas y las diferentes estructuras relacionadas entre sí (fig. 2). Por otra parte, podemos visualizar tres planos 2D al mismo tiempo (cortes coronal, sagital y transversal) (fig. 3). A partir de éstos, podremos orientar el plano de corte en cualquier dirección del espacio y conseguir el más adecuado para incluir el área de interés. Así por ejemplo, con la Eco-3D se corrigen los planos oblicuos o aquellos en los que no se visualiza el ápex, adquiridos con Eco-2D desde la ventana apical para el cálculo de volúmenes ventriculares. Esto justifica que la Eco-3D sea superior a la Eco-2D en el cálculo de volúmenes ventriculares, en especial en el caso de cavidades dilatadas y con geometría distorsionada²⁻⁵. Además, tenemos que tener en cuenta que, a diferencia de la Eco-2D, la Eco-3D no utiliza presunciones geométricas para el cálculo de volúmenes.

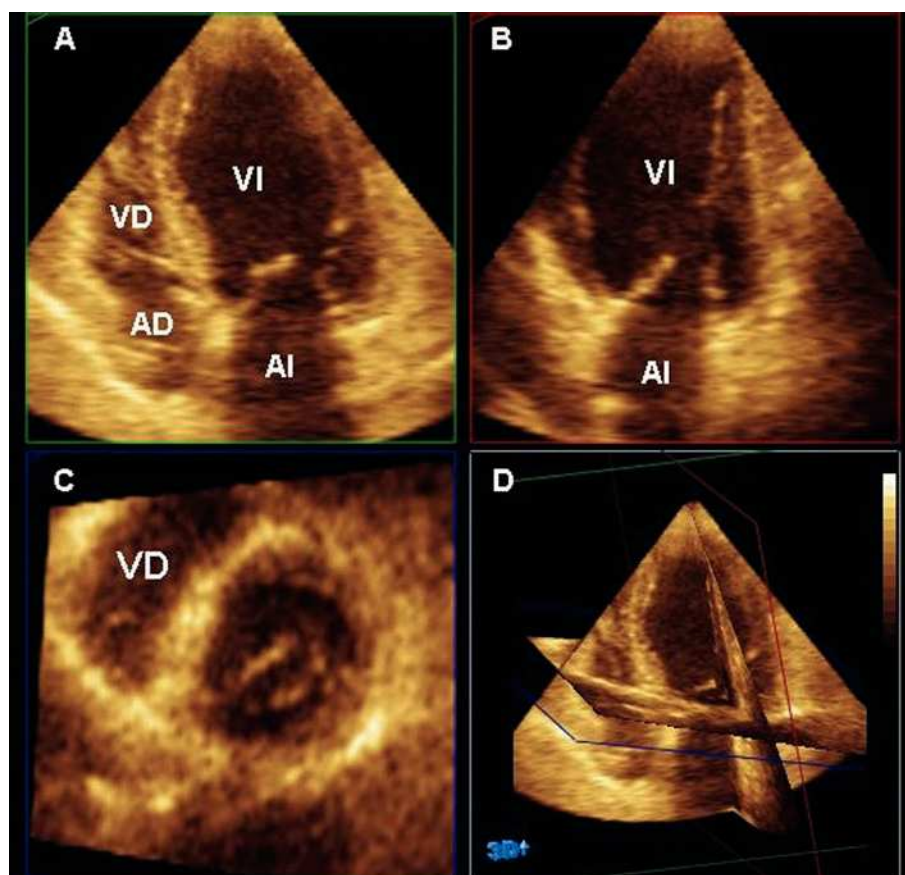


Fig. 3. Captación mediante volumen completo, en la que se visualiza simultáneamente tres planos bidimensionales (A: corte coronal; B: corte sagital; C: corte transversal; D: superposición de los tres planos). Mediante la reorientación de estos planos se puede estudiar cada una de las estructuras cardiacas. AD: aurícula derecha; AI: aurícula izquierda; VD: ventrículo derecho; VI: ventrículo izquierdo.

TABLA 1. Protocolo ecocardiográfico tridimensional completo

Ventana paraesternal	Adquisición de volumen completo Doppler color 3D a nivel de las válvulas mitral y aórtica Doppler color 3D a nivel de las válvulas tricúspide y pulmonar
Ventana apical	Adquisición de volumen completo. Incluye los dos ventrículos y las dos aurículas Doppler color 3D a nivel de las válvulas mitral, aórtica, tricúspide y pulmonar
Ventana subcostal	Adquisición de volumen completo Doppler color 3D a nivel de los septos interauricular e interventricular
Ventana supraesternal	Adquisición de volumen completo Doppler color 3D a nivel de la aorta descendente

Con los sistemas iniciales, el Doppler color en la Eco-3D también requería una reconstrucción laboriosa, pero en la actualidad se puede adquirir junto con un volumen completo. Se requieren 7 latidos para su adquisición y se puede visualizar el flujo en su totalidad. Es especialmente útil en flujos complejos con efecto coanda en los que la Eco-2D suele subestimar su grado de severidad^{6,7}. También se puede usar el Doppler color 3D con la adquisición multiplanar para flujos excéntricos y así estudiar su dirección.

En los últimos 2 años la Eco-3DTRTE se ha incorporado en algunos laboratorios de ecocardiografía. La principal ventaja respecto a la Eco-2D

transesofágica es que permite ver la VM desde cualquier punto de vista y realizar un mapa de las valvas mitrales tras una sola adquisición sin necesidad de una reconstrucción mental. Por ello, tanto los cirujanos como los cardiólogos intervencionistas especializados en la VM solicitan, cada vez con más frecuencia, un estudio previo al procedimiento con esta nueva modalidad ecocardiográfica.

La Sociedad Americana de Ecocardiografía propone un protocolo completo en la práctica clínica mediante Eco-3DTR (tabla 1). Como alternativa, la Eco-3DTR podría complementar el estudio 2D convencional y únicamente centrarse en las estructuras de interés en cada caso.

Aunque la Eco-3DTR ha conseguido eliminar algunas de las limitaciones que impedían aplicar las demás técnicas 3D a la práctica clínica, sigue teniendo importantes limitaciones. Es una técnica dependiente de la calidad de la imagen, que requiere de una curva de aprendizaje para optimizar su adquisición. Comparado con la Eco-2D convencional, presenta una baja resolución espacial, lo que dificulta, por ejemplo, la detección automática de bordes endocárdicos para cuantificar volúmenes. La menor tasa de imágenes por segundo también puede ser una limitación significativa a la hora de cuantificar flujos regurgitantes. Se requieren entre 4 y 7 latidos cardiacos para obtener un volumen completo, por lo que se puede obtener artefactos respiratorios o relacionados con arritmias cardiacas. Finalmente, la modalidad en tiempo real, aunque no requiere reconstrucción, está limitada por el pequeño volumen de adquisición.

ECOCARDIOGRAFÍA TRIDIMENSIONAL EN LA EVALUACIÓN DE LA ANATOMÍA FUNCIONAL DE LA VÁLVULA MITRAL

La Eco-3D es la técnica diagnóstica que más ha aportado al conocimiento de la anatomía y el funcionamiento de la VM. Mediante estudios in vitro y los realizados con Eco-3D en modelo animal, se ha comprobado los cambios que se producen en la geometría mitral y ventricular tras el infarto de miocardio y que dan lugar a la aparición de IM⁸. Los estudios posteriores en pacientes confirman estos resultados y la mayoría se centra en la IMF debido al complejo mecanismo que subyace a esta afección (fig. 4).

En la IMF, la VM presenta una estructura aparentemente normal. Hay un desequilibrio entre las fuerzas que condicionan el cierre de las valvas mitrales durante la sístole⁹. Por un lado, se produce una disminución de las fuerzas de cierre que vienen determinadas por el gradiente de presión creado por la contracción ventricular, disminuidas en este tipo de patología que cursa con disfunción sistólica ventricular. Por otro lado, el desplazamiento apical y lateral de los músculos papilares (MPs), secundario al remodelado del ventrículo izquierdo, condiciona una tracción de las valvas mitrales en sentido apical, disminuye su superficie de coaptación y en consecuencia se produce la IM. Además, en la mayoría de los casos hay un mayor o menor grado de dilatación del anillo mitral^{8,10}.

Mediante Eco-3D podemos hacer un análisis detallado de cada uno de los componentes del aparato funcional mitral, necesario para comprender la anatomía funcional normal y los cambios que se producen en la IMF.

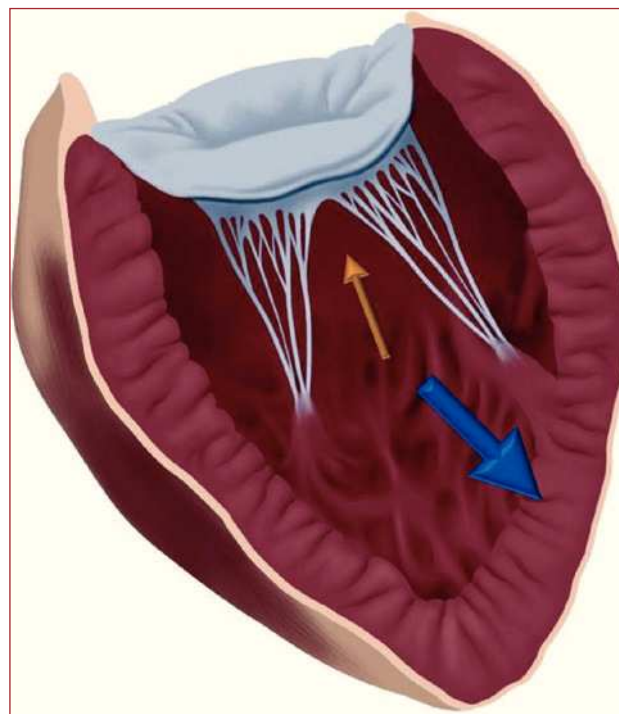


Fig. 4. Mecanismo de la insuficiencia mitral funcional. Disminución de la fuerza de cierre de la válvula mitral durante la sístole (flecha naranja). Aumento de la distancia de *tethering* debido al desplazamiento apical de los músculos papilares (flecha azul).

Geometría del anillo mitral

Mediante la Eco-3D se ha demostrado que el anillo mitral presenta una forma en silla de montar¹¹⁻¹². Los puntos más elevados, es decir, más alejados del ápex cardiaco, corresponden a la región anterior más próxima a la raíz aórtica y la región posterior próxima a la pared posterior del ventrículo izquierdo¹³. Los puntos más bajos son las dos comisuras mitrales (fig. 5A). En sujetos sanos, esta forma es más marcada durante mesosístole, momento en el que el anillo mitral alcanza su menor área¹⁴. Tanto al final de la sístole como en el de la diástole, el anillo adquiere una forma más aplanada¹⁵.

En pacientes con IMF se produce una dilatación junto con un aplanamiento del anillo mitral (fig. 5B). Aunque se dilatan tanto el diámetro intercomisural como el anteroposterior, éste es el más afectado, por lo que el anillo adquiere una forma más circular¹⁶. Estos cambios en la geometría del anillo parecen estar relacionados con el grado de insuficiencia mitral (IM)¹⁷. La IMF secundaria a una cardiopatía dilatada de origen isquémico presenta menos dilatación del anillo que la IMF secundaria a miocardiopatía dilatada idiopática, pero su remodelado suele ser asimétrico, probablemente en relación con el MP afectado. Asimismo, hay diferencias en el remodelado del anillo según la localización del

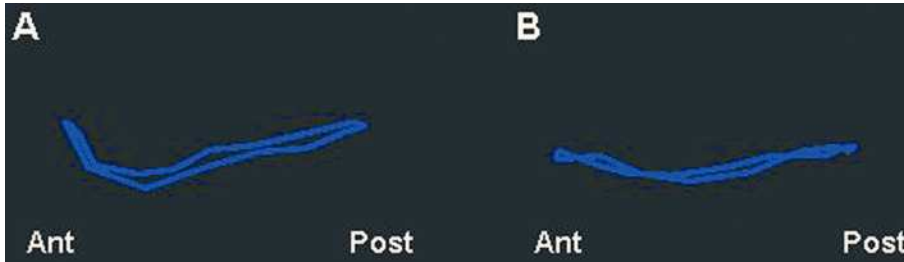


Fig. 5. Imagen tridimensional del anillo mitral. A: anillo mitral normal, con forma en silla de montar; las regiones más craneales corresponden a las regiones anterior y posterior del anillo. B: anillo mitral aplanado en paciente con insuficiencia mitral funcional.

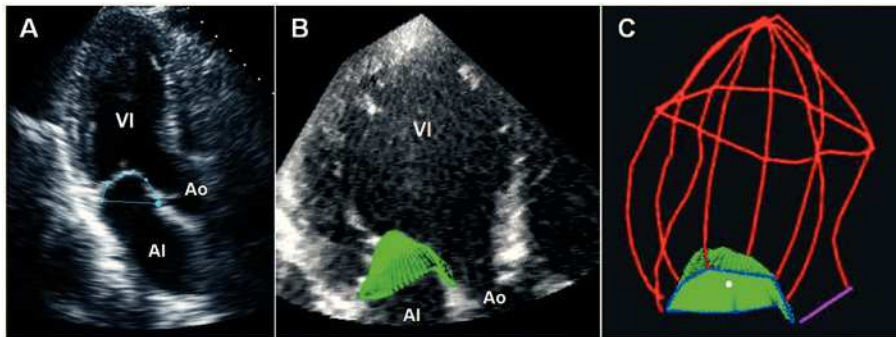


Fig. 6. A: imagen bidimensional en plano apical en el que se mide el área de tenting. B: visualización de un plano bidimensional mediante el programa OMNI4D (diseñado por el Massachusetts General Hospital), a partir de una adquisición de volumen completo. Se puede realizar una reconstrucción tridimensional de las valvas mitrales (en verde) mediante su trazado manual, utilizando un mínimo de 6 planos bidimensionales. Una vez trazado, se calcula automáticamente el volumen comprendido entre el anillo y las valvas mitrales (volumen de tenting). C: reconstrucción tridimensional del volumen de tenting (verde) junto con el ventrículo izquierdo (rojo) y el anillo mitral (azul).

infarto. En los infartos anteriores la dilatación y el aplanamiento del anillo mitral son mayores que en los infartos inferiores¹³.

También con Eco-3D se ha conseguido demostrar el desplazamiento del anillo mitral, mediante el cálculo del área de desplazamiento¹⁸. En sujetos sanos se produce un desplazamiento caudal, que es más acentuado en la región posterior. En pacientes con IMF se reduce ese desplazamiento, fundamentalmente en la región posterior.

Valvas mitrales

Salgo et al¹⁹ comprobaron que la forma en silla de montar de la VM disminuye la tensión a la que están sometidas las valvas, en comparación con anillos más aplanados. Esta curvatura contribuye al mecanismo que evita la aparición de IM y refleja la capacidad de contracción del anillo durante la sístole.

Mediante Eco-3D somos capaces actualmente de trazar las valvas mitrales y medir su área con la aplicación de programas informáticos especializados. Podemos medir el volumen entre el anillo mitral y las valvas mitrales para calcular el volumen de tenting. En sujetos normales, las valvas mitrales se encuentran a nivel del anillo mitral, con ligera protrusión hacia la aurícula de la porción más próxima a la raíz aórtica de la valva anterior. En la IMF, el área de coaptación se desplaza caudalmente debido a la tracción de las valvas por los MP. Hasta el mo-

mento se usaba la Eco-2D para determinar en qué grado se afecta la geometría del aparato subvalvular y el ventrículo izquierdo, mediante el cálculo del área de tenting²⁰ (fig. 6A). Sin embargo, estudios recientes han demostrado la asimetría de esta área²¹ y la existencia de diferentes patrones dependiendo de la etiología de la IMF²², por lo que un estudio basado en un único plano no sería óptimo. En cambio, con Eco-3D podemos medir el volumen de tenting, el diámetro máximo entre el anillo mitral y la superficie de las valvas mitrales y visualizar la deformación que sufren las valvas desde cualquier punto de vista (fig. 6B y C).

Aparato subvalvular y ventrículo izquierdo

La tracción que sufren las valvas mitrales debido al desplazamiento de los MP parece ser el principal mecanismo causante de la IMF. El remodelado que sufre el ventrículo izquierdo es diferente en cada trastorno y, por lo tanto, también el grado de desplazamiento de los MP. En pacientes con miocardiopatía dilatada idiopática se producirá un remodelado general con desplazamiento de ambos MP. En pacientes con IM crónica con infarto de localización anterior suele predominar también el remodelado general. En estos dos grupos de pacientes, el ventrículo izquierdo al dilatarse adquiere una forma más esférica. Por el contrario, en los casos de IMF debida a un infarto inferior, predomina un remodelado local con desplazamiento del MP posterome-

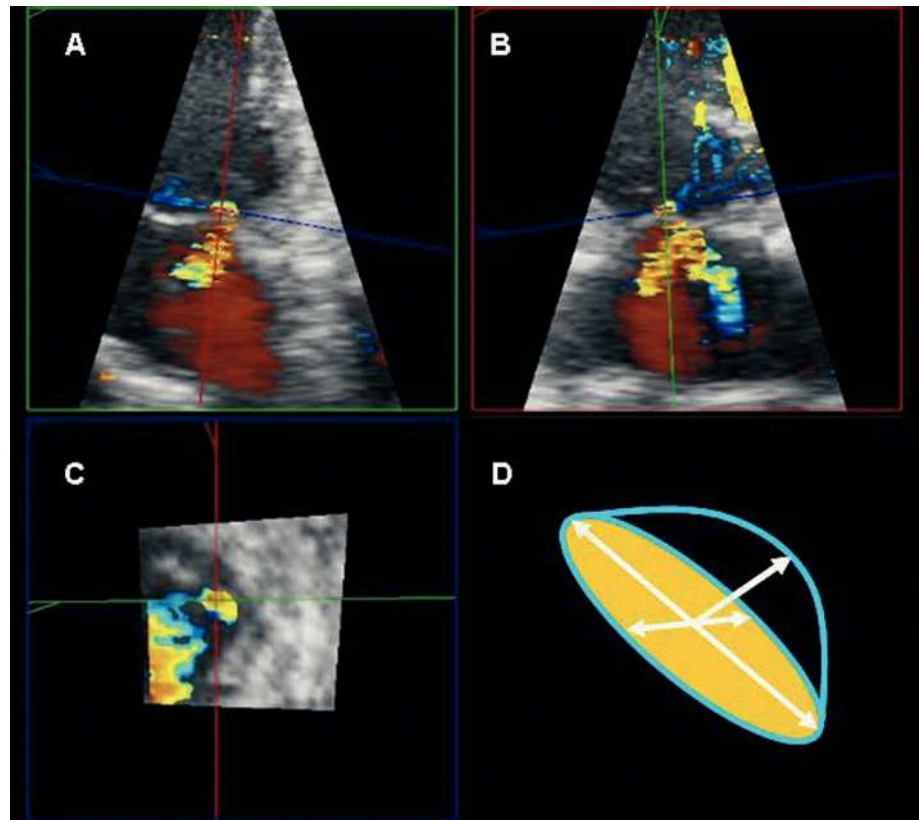


Fig. 7. Visualización simultánea de tres cortes ecocardiográficos obtenidos a partir de un volumen completo. Se debe reorientar los planos hasta encontrar los que incluyan el flujo de regurgitación en su totalidad. Los cortes coronal (A) y sagital (B) nos permiten medir la altura de la hemielipse para el cálculo del volumen regurgitante mediante el método de PISA. En el corte transversal (C) se visualiza la base de la hemielipse con un diámetro mayor y otro menor. D: representación de la forma del área de isoconvergencia proximal.

dial, que produce IM por tracción de la hemivalva isolateral²³.

Los cambios en el anillo y ventrículo izquierdo también se acompañan de cambios en la relación espacial entre los diferentes componentes de la VM. El principal parámetro utilizado hasta ahora por la Eco-3D ha sido la distancia de *tethering*, que sería aquella entre los trígonos y la cabeza de los músculos papilares. En la mayoría de los estudios se mide la distancia entre el trígono medio y la cabeza del MP posteromedial, y se encuentra muy buena relación entre esta distancia y el grado de distorsión de la geometría de la VM^{8,10,24,25}.

Geometría del orificio de regurgitación

La cuantificación de la IM basada en el área de isoconvergencia proximal (PISA) es uno de los métodos más utilizados y validados en la actualidad^{26,27}. Para su cálculo se asume que hay una aceleración simétrica del flujo hacia el orificio regurgitante que determina la formación de capas hemisféricas cuando usamos el Doppler color. Mediante Doppler color 3D, se ha comprobado que esta presunción geométrica no siempre se cumple^{28,29}, con lo que se puede subestimar el orificio regurgitante. Matsumura et al³⁰ compararon la geometría del orificio regurgitante entre pacientes

con prolapso mitral y aquellos con IMF. Los pacientes con prolapso mitral presentaron una forma esférica, mientras que en el grupo de IMF encontraron una forma de elipse. Por lo tanto, el Doppler color 3D sería una técnica adecuada para decidir si debemos usar el método PISA convencional o presumir una forma semielíptica para su cálculo matemático (fig. 7).

APLICACIONES CLÍNICAS DE LA ECOCARDIOGRAFÍA TRIDIMENSIONAL EN LA VÁLVULA MITRAL

Desde la incorporación de la Eco-3DTR a la práctica clínica, una de sus principales aplicaciones ha sido la patología de la válvula mitral, en particular en la cuantificación del área valvular y en el análisis de la anatomía funcional de la VM, tanto en las lesiones de tipo II (prolapso) como en la IMF.

Evaluación de la estenosis mitral

El diagnóstico y la valoración de la severidad de la estenosis mitral se basa en la Eco-2D y las técnicas Doppler^{31,32}. La determinación del área valvular mediante Doppler (tiempo de hemipresión, continuidad o flujo de convergencia proximal) es la técnica más usada. Sin embargo, es un hecho acep-

tado que estos métodos están influidos por el estado hemodinámico (frecuencia cardíaca, ritmo cardíaco, índice cardíaco) y la existencia de hipertrofia ventricular u otras lesiones valvulares asociadas³³⁻³⁵. Los métodos de planimetría del área mitral no están tan influidos por los cambios hemodinámicos, por lo que son muy utilizados en la actualidad³⁶⁻³⁸. Sin embargo, la planimetría requiere una correcta orientación del plano para obtener el área más pequeña trazada desde el borde libre de las valvas, y de hecho cortes oblicuos pueden sobreestimar el área mitral.

La Eco-3DTR es una técnica rápida y precisa en la valoración del orificio valvular, pues permite orientarse en cualquier plano de corte, para encontrar la mínima área de la VM, eliminando así una de las principales limitaciones de la Eco-2D en la valoración del área por planimetría. Son varios los trabajos que han comparado la Eco-3D con los métodos tradicionales para el cálculo del AVM³⁹⁻⁴¹. El área mitral medida por planimetría mediante Eco-3DTR tiene mejor correlación con el método de Gorlin que los métodos tradicionales (tiempo de hemipresión, método de flujo convergente proximal, planimetría del área valvular). Además, la Eco-3DTR presenta una menor variabilidad en un observador y entre observadores en el cálculo del área valvular mitral. Por otra parte, la variabilidad del observador para el cálculo del *score* de Wilkins para predecir el éxito de la valvuloplastia percutánea es menor con Eco-3DTR. Probablemente, la utilización de métodos tradicionales junto con la Eco-3DTR podría considerarse actualmente la mejor alternativa para el estudio de la estenosis mitral.

Análisis del prolapso mitral

En uno de sus primeros estudios con Eco-3D, Levine et al¹⁴ comprobaron que, debido a la forma en silla de montar del anillo mitral, se podía cometer el error de diagnosticar la existencia de prolapso mitral mediante Eco-2D por una falsa apariencia de desplazamiento de las valvas hacia la aurícula izquierda. Ese estudio hizo que se replanteara el diagnóstico de este trastorno y en algunos laboratorios de ecocardiografía se redujo su diagnóstico hasta en un 50%. Mediante Eco-3D, el segmento que prolapsa adquiere una forma de convexidad visto desde la aurícula izquierda y cóncavo si lo miramos desde el ventrículo izquierdo. Mediante la visualización de planos 2D (sagital, coronal, transversal) podremos conseguir el plano más adecuado para estudiar cada uno de los festones.

Sugeng et al⁴² estudiaron la utilidad de la Eco-3D transtorácica en la identificación del prolapso mitral. En el 70% de los casos consiguieron una adecuada reconstrucción de la VM. Probablemente

de debido a su mayor tamaño, la valva anterior se visualizaba más fácilmente, tanto en la ventana paraesternal como en la apical. La valva posterior se identificaba mejor desde la ventana paraesternal. En un estudio más reciente⁴³, se comparó eficacia diagnóstica de la Eco-3D transtorácica para el prolapso mitral con la de la ecocardiografía transesofágica 2D, y se comprobó que ambos métodos tenían una buena correlación, siempre y cuando la calidad de imagen fuera adecuada (el 89% de los casos). Comparadas todas las modalidades ecocardiográficas (Eco-2D transtorácica y transesofágica, Eco-3D transtorácica o transesofágica 2D), la Eco-3DTE tiene la mejor correlación con el examen anatómico que realiza el cirujano durante la intervención, con una correcta localización del prolapso en el 96% de los casos⁴⁴⁻⁴⁶.

Con la sonda 3D transesofágica, de una forma rápida y con una sola adquisición de imagen, somos capaces de estudiar cada uno de los festones mitrales desde cualquier punto de vista, sin tener que hacer una reconstrucción mental tras diferentes cortes ecocardiográficos⁴⁷. Antes de la cirugía, con el uso de programas informáticos dedicados, podemos medir el área de las valvas para indicar al cirujano si hace falta o no la resección de algún festón.

Implicaciones terapéuticas del análisis de la insuficiencia mitral funcional mediante Eco-3D

Implicaciones para la cirugía cardíaca

La anuloplastia mitral reductora sigue siendo el tratamiento quirúrgico de elección en pacientes con IMF^{48,49}. Sin embargo, es conocido que hasta el 30% de los casos presentan en el seguimiento recidiva de la IMF^{50,51} y, además, la Eco-3D ha demostrado que su principal mecanismo tiene relación con el remodelado ventricular. Por ello, es necesario plantearse una nueva estrategia terapéutica ante esta enfermedad. Antes de la cirugía se debería hacer un minucioso estudio de la anatomía y el funcionamiento mitral. La Eco-2D convencional presenta grandes limitaciones para estudiar con exactitud la estructura tridimensional de la VM, en especial en el contexto de la IMF. La Eco-3DTR permite verla desde cualquier punto de vista, incluida la que el cirujano tiene en la mesa de operación, con una orientación superior de la valva anterior e inferior de la posterior (fig. 8). Por todo ello, la Eco-3DTR-TE se está convirtiendo en una de las principales herramientas para el cirujano tanto en la planificación de este tipo de cirugía como en la monitorización de la intervención.

Por otro lado, los nuevos anillos protésicos mitrales están diseñados para recuperar la forma original del anillo mitral y permitir, en la medida de



Fig. 8. Imagen tridimensional obtenida mediante Eco-3DTRTE. Se visualiza la válvula mitral desde la aurícula con la aorta a las once (visión del cirujano). La valva mitral posterior (VMP) presenta un prolapso a nivel del su festón medio (flecha roja). VA: válvula aórtica; VMA: valva mitral anterior.

lo posible, la contracción y el desplazamiento anular⁴⁸. En este sentido, en los trabajos de Yamaura et al⁵²⁻⁵⁴, el anillo flexible ha demostrado tener mejores resultados que los rígidos. En este nuevo contexto, sería necesario realizar una cuantificación tridimensional previa a la cirugía para seleccionar el anillo más adecuado y, después, comprobar la recuperación de la geometría normal.

Debido al complejo mecanismo patogénico de la IMF, es importante realizar un estudio preciso de

la geometría mitral y ventricular. Para conseguir unas medidas reproducibles, es necesario identificar el mismo plano que define cada una de las estructuras cardíacas. Mediante Eco-2D no somos capaces de localizar todos los puntos de interés, como por ejemplo los trígonos mitrales, ni garantizar buena reproducibilidad en cada uno de ellos. Con Eco-3D podemos identificar y localizar el plano exacto que necesitamos (fig. 9). Gracias a los nuevos programas informáticos para el análisis de imágenes 3D, el tiempo necesario para medir la geometría mitral no sobrepasa los 5 min. Los parámetros de interés que actualmente se pueden medir mediante Eco-3D podrían ayudar a mejorar los resultados de la reparación mitral (tabla 2).

Así, la visualización del anillo y las valvas mitrales en su totalidad, junto con análisis del aparato subvalvular, permitiría al cirujano conocer el mecanismo exacto de la IM y el grado de distorsión de la geometría mitral y ventricular en cada paciente. De esta forma, se podría planificar una cirugía reparadora individualizada y mejorar sus resultados.

Aportación de la Eco-3D al desarrollo de nuevas opciones terapéuticas

Durante los últimos años, son varios los dispositivos y las técnicas que han demostrado experimental y clínicamente la reducción de la IM y el remode-

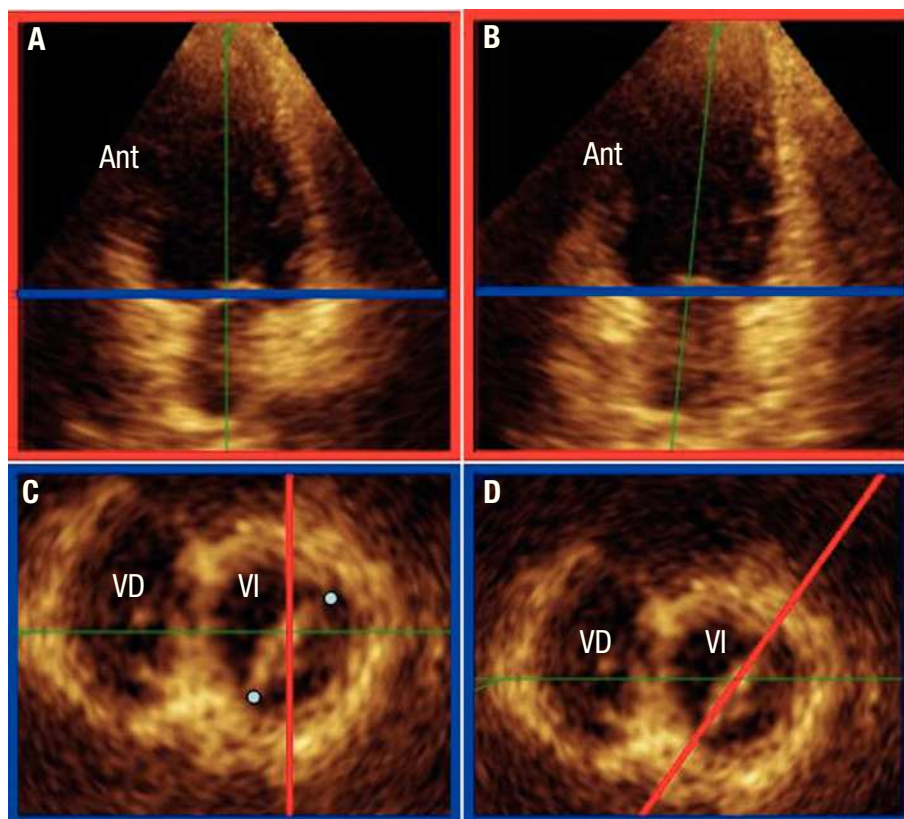


Fig. 9. Mediante Eco-3D obtenemos mediciones más exactas y reproducibles de la geometría mitral. La visualización de dos cortes simultáneos, A (sagital) y C (transversal), nos permite ver el error que cometemos cuando intentamos medir el diámetro intercomisural del anillo mitral (puntos). Reorientando estos dos planos conseguimos un corte sagital (B) que pasa por ambas comisuras mitrales (D).. Ant: anterior; VD: ventrículo derecho; VI: ventrículo izquierdo.

TABLA 2. Parámetros que se miden mediante Eco-3D

Área del anillo mitral en 3D
Volumen de <i>tenting</i> : volumen comprendido entre el anillo mitral y las valvas mitrales
Superficie de las valvas mitrales
Distancia de <i>tethering</i> . Distancia desde cualquier punto del anillo mitral a los MP
Distancia interpapilar
Volumen ventricular en 3D
Índice de esfericidad en 3D
Ángulo entre la válvula mitral y la válvula aórtica
Ángulos entre las diferentes componentes de la válvula mitral

MP: músculos papilares.

lado inverso del ventrículo izquierdo. Los estudios realizados por Levine et al utilizando Eco-3D demuestran que con la recolocación del MP postero-inferior mediante un parche epicárdico se reduce la IM, con disminución de la distancia de *tethering*⁵⁵. Messas et al⁵⁶⁻⁵⁸ han propuesto también una técnica que consiste en cortar las cuerdas tendinosas causantes del desplazamiento de las valvas mitrales, que consigue los mismos resultados, aunque su aplicación clínica ha sido más controvertida^{59,60}. Son necesarios más estudios para demostrar la eficacia de estas nuevas terapias.

La terapia de resincronización cardíaca es una alternativa terapéutica en pacientes con insuficiencia cardíaca avanzada refractaria al tratamiento médico^{61,62} y se ha demostrado que disminuye el grado de IMF⁶³. Sin embargo, sus efectos en la geometría mitral y ventricular no han sido tan establecidos, a pesar de ser un factor decisivo en el desarrollo de la IM. Resultados preliminares muestran que en los pacientes tratados con TRC se produce una disminución significativa de los volúmenes ventriculares y cambios favorables en la relación espacial entre los componentes de la VM, lo que se refleja en una reducción significativa del volumen de *tenting*⁶⁴. La Eco-3D podría ayudar a comprender mejor cuáles son los mecanismos que llevan a la reducción de la IMF con la terapia de resincronización cardíaca y quizá optimizar la selección de pacientes que se benefician de dicha terapia.

Implicaciones de la Eco-3DTR en el tratamiento percutáneo de la enfermedad mitral

La aplicación de la ecocardiografía en el laboratorio de intervencionismo cardíaco ha supuesto un avance terapéutico en el sentido de facilitar determinados procedimientos evitando y detectando precozmente sus eventuales complicaciones. Así, en los últimos años hemos vivido la incorporación de la Eco-2D transesofágica o intracardiaca en el

laboratorio de intervencionismo para procedimientos de cierre percutáneo de cortocircuitos intracardíacos o punciones transeptales. La Eco-3DTRTE proporciona una herramienta óptima para incorporarla a estos procedimientos, dada su capacidad tridimensional que refleja la disposición espacial y anatómica de las distintas estructuras cardíacas. Se ha comentado ya la utilidad de la Eco-3D para la estimación del área valvular mitral en pacientes con estenosis mitral, que podría ser de aplicación en los procedimientos de valvuloplastia mitral percutánea. Ello es de especial interés si se tiene en cuenta la imprecisión de las técnicas no invasivas convencionales inmediatamente después del procedimiento^{65,66}. Asimismo, la Eco-3DTRTE podría ser de utilidad para guiar la punción del tabique interauricular necesaria para el implante de dispositivos mitrales. La visualización 3D de todo el anillo protésico mitral en los pacientes con fugas periprotésicas permite evitar la reconstrucción mental necesaria para localizar su origen y, en consecuencia, mejorar la precisión diagnóstica. Aunque hay mínima evidencia científica al respecto, la aplicación de la Eco-3DTR puede suponer un gran avance en la realización de los procedimientos de cierre percutáneo de fugas periprotésicas. Además, podría guiar otros procedimientos sobre la VM como la técnica de Alfieri percutánea⁶⁷ o el implante de un anillo a través del seno coronario.

CONCLUSIONES

La aplicación de Eco-3D al estudio de la VM aporta conocimientos únicos sobre su anatomía funcional que pueden ser de gran utilidad en el mejor conocimiento y tratamiento de sus trastornos. Concretamente, su aplicación en el campo de la cirugía reparadora y en el intervencionismo percutáneo puede contribuir a un importante avance terapéutico en los próximos años.

AGRADECIMIENTOS

El Dr. Jorge Solís agradece la colaboración de la Sociedad Española de Cardiología (Beca de la SEC 2007 para formación en investigación post-residencia en centros extranjeros) y del Dr. Solís-García. Los autores agradecen a Daniel Jiménez la realización de la figura 4 y a Mark D. Handschumacher el desarrollo de su programa Omni4D para el análisis de imágenes tridimensionales.

BIBLIOGRAFÍA

1. Dekker DL, Piziali RL, Dong E Jr. A system for ultrasonically imaging the human heart in three dimensions. *Comput Biomed Res.* 1974;7:544-53.
2. Buck T, Hunold P, Wentz KU, Tkalec W, Nesser HJ, Erbel R. Tomographic three-dimensional echocardiographic determination of chamber size and systolic function in patients

- with left ventricular aneurysm: comparison to magnetic resonance imaging, cineventriculography, and two-dimensional echocardiography. *Circulation*. 1997;96:4286-97.
3. Jacobs LD, Salgo IS, Goonewardena S, Weinert L, Coon P, Bardo D, et al. Rapid online quantification of left ventricular volume from real-time three-dimensional echocardiographic data. *Eur Heart J*. 2006;27:460-8.
 4. Vogel M, Gutberlet M, Dittrich S, Hosten N, Lange PE. Comparison of transthoracic three-dimensional echocardiography with magnetic resonance imaging in the assessment of right ventricular volume and mass. *Heart*. 1997;78:127-30.
 5. Ota T, Fleishman CE, Strub M, Stetten G, Ohazama CJ, Von Ramm OT, et al. Real-time, three-dimensional echocardiography: feasibility of dynamic right ventricular volume measurement with saline contrast. *Am Heart J*. 1999;137:958-66.
 6. De Simone R, Glombitza G, Vahl CF, Albers J, Meinzer HP, Hagl S. Three-dimensional color Doppler: a clinical study in patients with mitral regurgitation. *J Am Coll Cardiol*. 1999;33:1646-54.
 7. De Simone R, Glombitza G, Vahl CF, Albers J, Meinzer HP, Hagl S. Three-dimensional color Doppler: a new approach for quantitative assessment of mitral regurgitant jets. *J Am Soc Echocardiogr*. 1999;12:173-85.
 8. Otsuji Y, Handschumacher MD, Schwammenthal E, Jiang L, Song JK, Guerrero JL, et al. Insights from three-dimensional echocardiography into the mechanism of functional mitral regurgitation: direct in vivo demonstration of altered leaflet tethering geometry. *Circulation*. 1997;96:1999-2008.
 9. Levine RA, Schwammenthal E. Ischemic mitral regurgitation on the threshold of a solution: from paradoxes to unifying concepts. *Circulation*. 2005;112:745-58.
 10. Otsuji Y, Handschumacher MD, Liel-Cohen N, Tanabe H, Jiang L, Schwammenthal E, et al. Mechanism of ischemic mitral regurgitation with segmental left ventricular dysfunction: three-dimensional echocardiographic studies in models of acute and chronic progressive regurgitation. *J Am Coll Cardiol*. 2001;37:641-8.
 11. Levine RA, Weyman AE, Handschumacher MD. Three-dimensional echocardiography: techniques and applications. *Am J Cardiol*. 1992;69:H121-30.
 12. Pai RG, Tanimoto M, Jintapakorn W, Azevedo J, Pandian NG, Shah PM. Volume-rendered three-dimensional dynamic anatomy of the mitral annulus using a transesophageal echocardiographic technique. *J Heart Valve Dis*. 1995;4:623-7.
 13. Watanabe N, Ogasawara Y, Yamaura Y, Wada N, Kawamoto T, Toyota E, et al. Mitral annulus flattens in ischemic mitral regurgitation: geometric differences between inferior and anterior myocardial infarction: a real-time 3-dimensional echocardiographic study. *Circulation*. 2005;112:I458-62.
 14. Levine RA, Handschumacher MD, Sanfilippo AJ, Hagege AA, Harrigan P, Marshall JE, et al. Three-dimensional echocardiographic reconstruction of the mitral valve, with implications for the diagnosis of mitral valve prolapse. *Circulation*. 1989;80:589-98.
 15. Kaplan SR, Bashein G, Sheehan FH, Legget ME, Munt B, Li XN, et al. Three-dimensional echocardiographic assessment of annular shape changes in the normal and regurgitant mitral valve. *Am Heart J*. 2000;139:378-87.
 16. Kwan J, Shiota T, Agler DA, Popovic ZB, Qin JX, Gillinov MA, et al. Geometric differences of the mitral apparatus between ischemic and dilated cardiomyopathy with significant mitral regurgitation: real-time three-dimensional echocardiography study. *Circulation*. 2003;107:1135-40.
 17. Glasson JR, Komeda M, Daughters GT 2nd, Bolger AF, MacIsaac A, Oesterle SN, et al. Three-dimensional dynamics of the canine mitral annulus during ischemic mitral regurgitation. *Ann Thorac Surg*. 1996;62:1059-67.
 18. Ahmad RM, Gillinov AM, McCarthy PM, Blackstone EH, Apperson-Hansen C, Qin JX, et al. Annular geometry and motion in human ischemic mitral regurgitation: novel assessment with three-dimensional echocardiography and computer reconstruction. *Ann Thorac Surg*. 2004;78:2063-8.
 19. Salgo IS, Gorman JH 3rd, Gorman RC, Jackson BM, Bowen FW, Plappert T, et al. Effect of annular shape on leaflet curvature in reducing mitral leaflet stress. *Circulation*. 2002;106:711-7.
 20. Calafiore AM, Di Mauro M, Gallina S, Di Giammarco G, Iaco AL, Teodori G, et al. Mitral valve surgery for chronic ischemic mitral regurgitation. *Ann Thorac Surg*. 2004;77:1989-97.
 21. Daimon M, Shiota T, Gillinov AM, Hayase M, Ruel M, Cohn WE, et al. Percutaneous mitral valve repair for chronic ischemic mitral regurgitation: a real-time three-dimensional echocardiographic study in an ovine model. *Circulation*. 2005;111:2183-9.
 22. Watanabe N, Ogasawara Y, Yamaura Y, Yamamoto K, Wada N, Kawamoto T, et al. Geometric differences of the mitral valve tenting between anterior and inferior myocardial infarction with significant ischemic mitral regurgitation: quantitation by novel software system with transthoracic real-time three-dimensional echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*. 2006;19:71-5.
 23. Kumar N, Kumar M, Duran CM. A revised terminology for recording surgical findings of the mitral valve. *J Heart Valve Dis*. 1995;4:70-5.
 24. Hung J, Guerrero JL, Handschumacher MD, Supple G, Sullivan S, Levine RA. Reverse ventricular remodeling reduces ischemic mitral regurgitation: echo-guided device application in the beating heart. *Circulation*. 2002;106:2594-600.
 25. Kumanohoso T, Otsuji Y, Yoshifuku S, Matsukida K, Koriyama C, Kisanuki A, et al. Mechanism of higher incidence of ischemic mitral regurgitation in patients with inferior myocardial infarction: quantitative analysis of left ventricular and mitral valve geometry in 103 patients with prior myocardial infarction. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2003;125:135-43.
 26. Vandervoort PM, Rivera JM, Mele D, Palacios IF, Dinsmore RE, Weyman AE, et al. Application of color Doppler flow mapping to calculate effective regurgitant orifice area. An in vitro study and initial clinical observations. *Circulation*. 1993;88:1150-6.
 27. Enriquez-Sarano M, Miller FA Jr, Hayes SN, Bailey KR, Tajik AJ, Seward JB. Effective mitral regurgitant orifice area: clinical use and pitfalls of the proximal isovelocity surface area method. *J Am Coll Cardiol*. 1995;25:703-9.
 28. Sitges M, Jones M, Shiota T, Qin JX, Tsujino H, Bauer F, et al. Real-time three-dimensional color doppler evaluation of the flow convergence zone for quantification of mitral regurgitation: Validation experimental animal study and initial clinical experience. *J Am Soc Echocardiogr*. 2003;16:38-45.
 29. Yosefy C, Levine RA, Solis J, Vaturi M, Handschumacher MD, Hung J. Proximal flow convergence region as assessed by real-time 3-dimensional echocardiography: challenging the hemispheric assumption. *J Am Soc Echocardiogr*. 2007;20:389-96.
 30. Matsumura Y, Fukuda S, Tran H, Greenberg NL, Agler DA, Wada N, et al. Geometry of the proximal isovelocity surface area in mitral regurgitation by 3-dimensional color Doppler echocardiography: difference between functional mitral regurgitation and prolapse regurgitation. *Am Heart J*. 2008;155:231-8.
 31. Hatle L, Brubakk A, Tromsdal A, Angelsen B. Noninvasive assessment of pressure drop in mitral stenosis by Doppler ultrasound. *Br Heart J*. 1978;40:131-40.
 32. Brubakk AO, Angelsen BA, Hatle L. Diagnosis of valvular heart disease using transcutaneous Doppler ultrasound. *Cardiovasc Res*. 1977;11:461-9.
 33. Nakatani S, Masuyama T, Kodama K, Kitabatake A, Fujii K, Kamada T. Value and limitations of Doppler echocardiography in the quantification of stenotic mitral valve area: comparison

- of the pressure half-time and the continuity equation methods. *Circulation*. 1988;77:78-85.
34. Fredman CS, Pearson AC, Labovitz AJ, Kern MJ. Comparison of hemodynamic pressure half-time method and Gorlin formula with Doppler and echocardiographic determinations of mitral valve area in patients with combined mitral stenosis and regurgitation. *Am Heart J*. 1990;119:121-9.
35. Smith MD, Wisenbaugh T, Grayburn PA, Gurley JC, Spain MG, DeMaria AN. Value and limitations of Doppler pressure half-time in quantifying mitral stenosis: a comparison with micromanometer catheter recordings. *Am Heart J*. 1991;121:480-8.
36. Nichol PM, Gilbert BW, Kisslo JA. Two-dimensional echocardiographic assessment of mitral stenosis. *Circulation*. 1977;55:120-8.
37. Wann LS, Weyman AE, Feigenbaum H, Dillon JC, Johnston KW, Eggleston RC. Determination of mitral valve area by cross-sectional echocardiography. *Ann Intern Med*. 1978;88:337-41.
38. Faletta F, Pezzano A Jr, Fusco R, Mantero A, Corno R, Crivellaro W, et al. Measurement of mitral valve area in mitral stenosis: four echocardiographic methods compared with direct measurement of anatomic orifices. *J Am Coll Cardiol*. 1996;28:1190-7.
39. Binder TM, Rosenhek R, Porenta G, Maurer G, Baumgartner H. Improved assessment of mitral valve stenosis by volumetric real-time three-dimensional echocardiography. *J Am Coll Cardiol*. 2000;36:1355-61.
40. Sebag IA, Morgan JG, Handschumacher MD, Marshall JE, Nesta F, Hung J, et al. Usefulness of three-dimensionally guided assessment of mitral stenosis using matrix-array ultrasound. *Am J Cardiol*. 2005;96:1151-6.
41. De Agustin JA, Nanda NC, Gill EA, De Isla LP, Zamorano JL. The use of three-dimensional echocardiography for the evaluation of and treatment of mitral stenosis. *Cardiol Clin*. 2007;25:311-8.
42. Sugeng L, Coon P, Weinert L, Jolly N, Lammertin G, Bednarsz JE, et al. Use of real-time 3-dimensional transthoracic echocardiography in the evaluation of mitral valve disease. *J Am Soc Echocardiogr*. 2006;19:413-21.
43. Sharma R, Mann J, Drummond L, Livesey SA, Simpson IA. The evaluation of real-time 3-dimensional transthoracic echocardiography for the preoperative functional assessment of patients with mitral valve prolapse: a comparison with 2-dimensional transesophageal echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*. 2007;20:934-40.
44. Pepi M, Tamborini G, Maltagliati A, Galli CA, Sisillo E, Salvi L, et al. Head-to-head comparison of two- and three-dimensional transthoracic and transesophageal echocardiography in the localization of mitral valve prolapse. *J Am Coll Cardiol*. 2006;48:2524-30.
45. Macnab A, Jenkins NP, Bridgewater BJ, Hooper TL, Greenhalgh DL, Patrick MR, et al. Three-dimensional echocardiography is superior to multiplane transesophageal echo in the assessment of regurgitant mitral valve morphology. *Eur J Echocardiogr*. 2004;5:212-22.
46. Fabricius AM, Walther T, Falk V, Mohr FW. Three-dimensional echocardiography for planning of mitral valve surgery: current applicability? *Ann Thorac Surg*. 2004;78:575-8.
47. Foster GP, Iselbacher EM, Rose GA, Torchiana DF, Akins CW, Picard MH. Accurate localization of mitral regurgitant defects using multiplane transesophageal echocardiography. *Ann Thorac Surg*. 1998;65:1025-31.
48. Gillinov AM, Cosgrove DM 3rd, Shiota T, Qin J, Tsujino H, Stewart WJ, et al. Cosgrove-Edwards Annuloplasty System: midterm results. *Ann Thorac Surg*. 2000;69:717-21.
49. Calafiore AM, Gallina S, Di Mauro M, Gaeta F, Iaco AL, D'Alessandro S, et al. Mitral valve procedure in dilated cardiomyopathy: repair or replacement? *Ann Thorac Surg*. 2001;71:1146-52.
50. Tahta SA, Oury JH, Maxwell JM, Hiro SP, Duran CM. Outcome after mitral valve repair for functional ischemic mitral regurgitation. *J Heart Valve Dis*. 2002;11:11-8.
51. Hung J, Papakostas L, Tahta SA, Hardy BG, Bollen BA, Duran CM, et al. Mechanism of recurrent ischemic mitral regurgitation after annuloplasty: continued LV remodeling as a moving target. *Circulation*. 2004;110:II85-90.
52. Yamaura Y, Yoshikawa J, Yoshida K, Hozumi T, Akasaka T, Okada Y. Three-dimensional analysis of configuration and dynamics in patients with an annuloplasty ring by multiplane transesophageal echocardiography: comparison between flexible and rigid annuloplasty rings. *J Heart Valve Dis*. 1995;4:618-22.
53. Yamaura Y, Hozumi T, Akasaka T, Okada Y, Yoshikawa J. Three-dimensional echocardiographic evaluation of configuration and dynamics of the mitral annulus in patients fitted with an annuloplasty ring. *J Heart Valve Dis*. 1997;6:43-7.
54. Yamaura Y, Yoshida K, Hozumi T, Akasaka T, Morioka S, Yoshikawa J. Evaluation of the mitral annulus by extracted three-dimensional images in patients with an annuloplasty ring. *Am J Cardiol*. 1998;82:534-6.
55. Hung J, Chaput M, Guerrero JL, Handschumacher MD, Papakostas L, Sullivan S, et al. Persistent reduction of ischemic mitral regurgitation by papillary muscle repositioning: structural stabilization of the papillary muscle-ventricular wall complex. *Circulation*. 2007;116:I259-63.
56. Messas E, Yosefy C, Chaput M, Guerrero JL, Sullivan S, Menasche P, et al. Chordal cutting does not adversely affect left ventricle contractile function. *Circulation*. 2006;114:I524-8.
57. Messas E, Pouzet B, Touchot B, Guerrero JL, Vlahakes GJ, Desnos M, et al. Efficacy of chordal cutting to relieve chronic persistent ischemic mitral regurgitation. *Circulation*. 2003;108 Suppl 1:111-5.
58. Messas E, Guerrero JL, Handschumacher MD, Conrad C, Chow CM, Sullivan S, et al. Chordal cutting: a new therapeutic approach for ischemic mitral regurgitation. *Circulation*. 2001;104:1958-63.
59. Rodriguez F, Langer F, Harrington KB, Tibayan FA, Zasio MK, Liang D, et al. Effect of cutting second-order chordae on in-vivo anterior mitral leaflet compound curvature. *J Heart Valve Dis*. 2005;14:592-601.
60. Rodriguez F, Langer F, Harrington KB, Tibayan FA, Zasio MK, Liang D, et al. Cutting second-order chords does not prevent acute ischemic mitral regurgitation. *Circulation*. 2004;110:II91-7.
61. Cleland JG, Daubert JC, Erdmann E, Freemantle N, Gras D, Kappenberger L, et al. The effect of cardiac resynchronization on morbidity and mortality in heart failure. *N Engl J Med*. 2005;352:1539-49.
62. Breithardt OA, Sinha AM, Schwammenthal E, Bidaoui N, Markus KU, Franke A, et al. Acute effects of cardiac resynchronization therapy on functional mitral regurgitation in advanced systolic heart failure. *J Am Coll Cardiol*. 2003;41:765-70.
63. Lancellotti P, Melon P, Sakalihasan N, Waleffe A, Dubois C, Bertholet M, et al. Effect of cardiac resynchronization therapy on functional mitral regurgitation in heart failure. *Am J Cardiol*. 2004;94:1462-5.
64. Vidal B MS, Delgado V, Mont L, Tolosana JM, Pérez-Villa F, Azqueta M, et al. Impact of cardiac resynchronization therapy on mitral valve geometry: implications for mitral regurgitation reduction in patients with heart failure. *Eur Heart J Suppl*. 2007;27:869.
65. Reid CL, Rahimtoola SH. The role of echocardiography/Doppler in catheter balloon treatment of adults with aortic and mitral stenosis. *Circulation*. 1991;84:I240-9.
66. Thomas JD, Wilkins GT, Choong CY, Abascal VM, Palacios IF, Block PC, et al. Inaccuracy of mitral pressure half-time immediately after percutaneous mitral valvotomy. Dependence on transmitral gradient and left atrial and ventricular compliance. *Circulation*. 1988;78:980-93.
67. Agrawal R, Rangasetty UC, Kollar A, Tuero E, Ahmad M. Live three-dimensional echocardiography in evaluation of Alfieri mitral valve repair a case report. *Echocardiography*. 2008;25:214-6.