

Actualización en técnicas de imagen cardiaca. Ecocardiografía, resonancia magnética en cardiología y tomografía computarizada con multidetectores

Juan C. Paré-Bardera^a, Río Aguilar-Torres^b, Pastora Gallego García de Vinuesa^c
y Sonia Velasco del Castillo^d

^aServicio de Cardiología. IDIBAPS. Hospital Clínic. Barcelona. España.

^bServicio de Cardiología. Hospital Universitario Vall d'Hebrón. Barcelona. España.

^cServicio de Cardiología. Hospital Virgen de la Macarena. Sevilla. España.

^dServicio de Cardiología. Hospital de Galdakao. Vizcaya. España.

En este artículo realizamos una selección de las publicaciones más relevantes en técnicas de imagen cardiaca recientes. La creciente importancia de las nuevas tecnologías en ecocardiografía queda reflejada en los apartados de ecocardiografía tridimensional (ECO 3D), en la ecocardiografía de contraste y en el estudio de la deformación (*strain*) para el análisis de la función miocárdica. En un breve resumen se mencionan las aportaciones más significativas de la resonancia magnética (cardio-RM) y de la tomografía computarizada con multidetectores (cardio-TC) en el terreno cardiológico. Esta revisión concluye con una detallada descripción de la contribución de las técnicas de imagen al diagnóstico de las enfermedades de la aorta.

Palabras clave: Ecocardiografía de estrés. Ecocardiografía de contraste. Strain (deformación miocárdica). Terapia de resincronización cardíaca. Resonancia magnética. Tomografía computarizada. Enfermedades de la aorta.

Update on Cardiac Imaging Techniques. Echocardiography, Cardiac Magnetic Resonance Imaging, and Multidetector Computed Tomography

This article contains a review of the most significant publications on non-invasive recent cardiac imaging techniques in 2005. The increasing importance of technological innovation in echocardiography is reflected in the sections on three dimensional echocardiography, contrast echocardiography, and myocardial deformation measurement techniques (i.e., strain echocardiography). The most important developments affecting cardiology in the techniques of magnetic resonance imaging and multidetector computed tomography are also summarized. This review ends with a detailed description of the contributions made by imaging techniques to the diagnosis of aortic disease.

Key words: Stress echocardiography. Contrast echocardiography. Strain echocardiography. Myocardial deformation imaging. Cardiac resynchronization therapy. Cardiac magnetic resonance. Computed tomography. Aortic disease.

Full English text available from: www.revespcardiol.org

INTRODUCCIÓN

En los años 2005 y 2006, se han producido una verdadera eclosión de artículos sobre técnicas de imagen en cardiología y, en concreto, sobre las aplicaciones clínicas cardiológicas de la resonancia magnética (cardio-RM) y, en menor cuantía, pero también de gran relevancia, sobre tomografía computarizada con multidetectores (cardio-TC). El avance y la importancia de estas dos últimas técnicas, demostrados en varios terrenos del diagnóstico cardiológico y previsible en otros, como el de la cardiopatía isquémica, ha determinado la elaboración y la publicación de un documento conjunto de la European Association of Echocardiography (EAE) con los grupos de trabajo implicados en el diagnóstico por la imagen, como el de cardio-RM, Computers en cardiología y de Isótopos en cardiología de la Sociedad Europea de Cardiología, junto con la Asociación Europea de Cardiología Pediátrica¹. Este documento es una declaración de todas las entidades europeas implicadas en el diagnóstico por imagen cardiaca con varias intenciones. La primera es una llamada a la colaboración y a la no competición entre todos los profesionales que trabajan en las diferentes modalidades de imagen representados en ellas. Es también un documento de propuestas para una correcta utilización de las pruebas diagnósticas que pueden realizarse en el estudio de la enfermedad cardiovascular. Por último, recomiendan la integración en servicios de diagnóstico clínico donde colaboren los expertos en dichas modalidades y donde se formen los futuros profesionales especialistas en diagnóstico por imagen. Es muy

graphy (EAE) con los grupos de trabajo implicados en el diagnóstico por la imagen, como el de cardio-RM, Computers en cardiología y de Isótopos en cardiología de la Sociedad Europea de Cardiología, junto con la Asociación Europea de Cardiología Pediátrica¹. Este documento es una declaración de todas las entidades europeas implicadas en el diagnóstico por imagen cardiaca con varias intenciones. La primera es una llamada a la colaboración y a la no competición entre todos los profesionales que trabajan en las diferentes modalidades de imagen representados en ellas. Es también un documento de propuestas para una correcta utilización de las pruebas diagnósticas que pueden realizarse en el estudio de la enfermedad cardiovascular. Por último, recomiendan la integración en servicios de diagnóstico clínico donde colaboren los expertos en dichas modalidades y donde se formen los futuros profesionales especialistas en diagnóstico por imagen. Es muy

Correspondencia: Dr. J.C. Paré Bardera.
Servicio de Cardiología. Hospital Clínic.
Villarroel, 170. 08036 Barcelona. España.
Correo electrónico: cpare@clinic.ub.es

ABREVIATURAS

AI: aurícula izquierda,
Cardio-RM: resonancia magnética cardíaca.
Cardio-TC: tomografía computarizada cardíaca.
DAVD: displasia arritmogénica de ventrículo derecho.
EC: ecocardiografía de contraste.
ECG: electrocardiograma.
ECO 3D: ecocardiografía tridimensional.
ED: ecocardiografía con dobutamina.
EE: ecocardiografía de esfuerzo.
ETE: ecocardiografía transesofágica.
FA: fibrilación auricular.
IM: insuficiencia mitral.
IAM: infarto agudo de miocardio.
IVUS: ultrasonografía intravascular.
S: *strain*.
SR: *strain rate*.
TRC: terapia de resincronización cardíaca.
VD: ventrículo derecho.
VI: ventrículo izquierdo.

probable que sea un documento asumible por la inmensa mayoría de los miembros de esta Sección de Ecocardiografía y otras Técnicas de Imagen y su trascendencia nos obliga a reseñarlo como el primer artículo de máxima actualidad.

En esta revisión de los temas más actuales en cardiología sobre técnicas de imagen nos vamos a referir a la bibliografía relativa a la ecocardiografía y a las tecnologías que crecen con ella. También a las novedades en el terreno de la cardio-TC y haremos una breve reseña de los artículos que nos parecen más relevantes sobre cardio-RM. Hace pocos meses se publicaba en esta misma Revista un suplemento dirigido por el Grupo de trabajo de cardio-RM y cardio-TC dedicado a las aplicaciones actuales de la resonancia magnética, con abundante bibliografía que pone al día en cuanto al conocimiento de la cardio-RM y hacen superflua y redundante otra revisión bibliográfica.

ECOCARDIOGRAFÍA

Ecocardiografía general

El interés por el papel de la aurícula izquierda (AI) como marcador de disfunción del ventrículo izquierdo (VI) se demuestra en un nuevo trabajo en el que se establece una clara relación entre la disfunción diastólica y el tamaño de dicha cavidad². Así, con grados crecientes de disfunción diastólica se incrementa su volumen, que llega a ser un 62% superior en los grados III y IV. En el estudio de las arritmias, el tamaño de la AI también tiene importancia y, como se demuestra en el

estudio AFFIRM³, es un factor de riesgo de fibrilación auricular (FA) recurrente. En este estudio multicéntrico de 2.474 pacientes, un episodio de duración mayor de 48 h y el diámetro de la AI se asocian con mayor riesgo de FA recurrente, aunque no de ictus. Además, la probabilidad se incrementa a medida que aumenta el diámetro. La participación de la ecocardiografía en el diagnóstico de las causas de las arritmias incluye el diagnóstico de la displasia arritmogénica del ventrículo derecho (DAVD), que es una entidad a menudo difícil de identificar. En un estudio multidisciplinario, 29 individuos con criterios de DAVD se comparan con 29 normales. Además de presentar dilatación de cavidades derechas y reducción de la función ventricular, el 89% de los afectados de DAVD tenía dilatación (> 30 mm) de la cámara de salida del VD medida en diástole en los planos paraesternales⁴, signo que deberá utilizarse para mejorar la precisión diagnóstica.

El valor de la ecocardiografía en la estratificación pronóstica de la insuficiencia cardíaca (IC) ha sido demostrado de nuevo en un subestudio ecocardiográfico del ensayo clínico BEST (Beta-blocker Evaluation of Survival Trial) que incluye 336 pacientes en IC con una FE media del 24,9%. De una serie de parámetros ecocardiográficos y de Doppler, únicamente el índice de volumen telediastólico del VI > 120 ml/m² es predictor de muerte. Un tiempo de deceleración mitral ≤ 150 ms y el tamaño de la vena contracta de la insuficiencia mitral > 4 mm fueron predictores de un combinado de eventos como muerte, duración del ingreso y trasplante⁵.

Ecocardiografía de estrés

Quizá sea ésta la técnica ecocardiográfica que más consolidación ha tenido en el terreno diagnóstico, tanto por la gran cantidad de evidencia científica como por la experiencia de una amplia mayoría de laboratorios que la utilizan de manera sistemática en alguna de sus modalidades farmacológica o de esfuerzo. La última aportación de uno de los laboratorios con más experiencia de nuestro país ha demostrado que la ecocardiografía de esfuerzo (EE) tiene valor añadido sobre las variables clínicas, la propia prueba de esfuerzo (PE) y la ecocardiografía basal en una amplia población estudiada (2.436 pacientes) con una prevalencia pretest moderada-alta de enfermedad coronaria e incluso en pacientes con antecedentes de infarto. Además, la positividad a distancia es un marcador de mal pronóstico en comparación con otros tipos de respuesta⁶. Previamente, este mismo grupo lideraba un estudio multicéntrico con la intención de demostrar la concordancia intercentros en la interpretación de la EE y la precisión de la técnica realizada de forma «ciega», o sea, sin conocer los datos clínicos de los pacientes⁷. Después de valorar 150 casos, de los que 125 eran desconocidos para cada centro, los autores concluyen que

la concordancia intercentros en la interpretación de la EE es moderada, con una media de los valores kappa obtenidos de 0,48 (rango, 0,45-0,52). El grado de acuerdo mejoraba en la enfermedad de 3 vasos (93%, rango 85-95%) y de la descendente anterior (83%, rango 80-86%), o si había alteraciones de la motilidad segmentaria basal.

La ecocardiografía con administración de dobutamina (ED) muestra un valor pronóstico añadido a la PE sin criterios de alto riesgo en una población de 124 pacientes con angina crónica estable, elevada probabilidad de enfermedad coronaria y baja incidencia de infarto previo⁸. En este estudio de Castillo et al⁸, la puntuación de Duke en la PE fue un predictor independiente de eventos y no el resultado positivo de la PE como variable individual. Ello podría deberse, como apuntan sus autores, a la mayor capacidad de la ED para proporcionar información no accesible a la PE, como la relacionada con la extensión de la isquemia.

En pacientes con cardiopatía dilatada de origen isquémico la ED, junto con el análisis por Doppler de la función diastólica, también proporciona valor pronóstico. Así, en un estudio de 69 pacientes con esta enfermedad se analizó el comportamiento del patrón restrictivo del llenado VI por Doppler en reposo y con máxima dosis de dobutamina. En situación basal, 42 pacientes tenían un patrón restrictivo, que en el momento de máximo estrés se normalizó en 24 y persistió en 18. A los 3 años de seguimiento, la probabilidad de supervivencia era del 89% si no tenían patrón restrictivo, del 79% si se normalizaba en el pico de ED y del 49% si persistía ($p < 0,001$). Por tanto, en la cardiopa-

tía dilatada isquémica, la persistencia del patrón restrictivo con el estrés significa una presión auricular izquierda elevada junto con una respuesta inotrópica VI muy atenuada y mal pronóstico a 3 años⁹.

Ecocardiografía de contraste

La ecocardiografía de contraste (EC), utilizada de forma más controlada de lo que se suponía en el momento de la introducción de la técnica, ha demostrado su utilidad en los años precedentes. Entre los avances reflejados en la literatura científica durante 2005 destacan los que exponemos a continuación.

Volúmenes y fracción de eyección del ventrículo izquierdo

En las recomendaciones conjuntas de las asociaciones de Ecocardiografía Europea y Americana para la medida ecocardiográfica de las dimensiones de las cavidades cardíacas, se insiste en la conveniencia del uso de contraste de segunda o tercera generación para la opacificación del VI en los casos con mala definición del borde endocárdico¹⁰.

Cardiopatía isquémica

Los estudios de perfusión miocárdica en tiempo real en los que se ha empleado EC han demostrado su utilidad en el diagnóstico de enfermedad coronaria, isquemia y viabilidad miocárdica¹¹⁻¹³, con una mejora de la localización espacial de los segmentos afectados (fig. 1) y un adecuado grado de acuerdo en la comparación



Fig. 1. Reconstrucción volumétrica del ventrículo izquierdo obtenida con material de contraste transpulmonar para estudio de la perfusión miocárdica. En la imagen derecha, que corresponde a una ampliación de 4 cámaras, se aprecia un defecto de perfusión marcado por la ausencia de contraste en todo el ápex del ventrículo izquierdo y en el septo distal.

con las técnicas isotópicas¹⁴; asimismo, aportan mayor información en los defectos subendocárdicos, al ofrecer la técnica ecocardiográfica mayor resolución espacial y temporal. Más aún, parece que la perfusión miocárdica evaluada mediante EC aporta importante información pronóstica que completa la clásica valoración de las alteraciones de la contractilidad durante las pruebas ecocardiográficas de provocación de isquemia. Además, el estudio de la perfusión miocárdica durante el ecocardiograma de estrés se presenta como una técnica segura, sin complicaciones graves (muerte o infarto) en una serie en la que se evaluó a 2.489 pacientes, de los que 1.482 recibieron contraste¹⁵.

Las principales limitaciones del estudio de perfusión miocárdica con EC siguen siendo los artefactos y las atenuaciones que pueden interferir con la evaluación de algunos segmentos y la experiencia del que realiza e interpreta el estudio. El desarrollo de algoritmos con imagen paramétrica puede facilitar la interpretación de los resultados¹⁶.

Con vistas a resolver problemas inherentes al estudio bidimensional de los defectos de perfusión que obligan a la obtención, no simultánea, de distintos planos para la valoración de defectos de perfusión y alteraciones segmentarias de la contractilidad, se presentan como prometedoras el desarrollo de técnicas para el estudio de la perfusión mediante EC tridimensional^{17,18}, que podrían permitir acortar el tiempo empleado en la adquisición de imágenes, mejorar la reproducibilidad de la técnica y, quizá, minimizar los problemas de atenuación y los artefactos dependientes del ángulo.

Una de las limitaciones más importantes de la EC es que, en lugar de cuantificar la perfusión absoluta (flujo sanguíneo/gramo tejido), lo que se hace es semicuantificar parámetros de las curvas de destrucción-relleno. Por primera vez se presentan los datos de un algoritmo para el cálculo de la perfusión absoluta, validado *in vitro* y frente a la determinación, en controles sanos, del flujo sanguíneo miocárdico mediante tomografía por emisión de positrones¹⁹.

Otras indicaciones de la ecocardiografía de contraste

La EC ha demostrado ser especialmente útil en el diagnóstico de algunas miocardiopatías infrecuentes, cuyo diagnóstico ecocardiográfico puede resultar, en ocasiones, difícil: la displasia arritmogénica de ventrículo derecho, la miocardiopatía no compactada y la miocardiopatía hipertrófica apical²⁰⁻²².

El uso de contraste en la aterosclerosis aórtica se ha extendido, ya que gracias a la potenciación del contraste se define mejor la interfase íntima-media/luz aórtica, lo que permite reconocer placas que pueden pasar desapercibidas en el estudio transesofágico convencional²³.

A pesar de seguir demostrando en el uso clínico diario su capacidad en la mejora del rendimiento diagnóstico, parece que la EC no termina de consolidarse en muchos laboratorios de nuestro país. El debate sobre la seguridad de los agentes de contraste en la ecocardiografía ha surgido a raíz de las limitaciones impuestas para el uso de un agente en la cardiopatía isquémica aguda, por las Agencias Española y Europea del Medicamento y por la escasez de información contrastada ofrecida por las compañías responsables de la producción y la comercialización, que limita la aprobación de la indicación de los contrastes a la opacificación de cavidades y potenciación de la señal Doppler.

Hasta que no se disponga de información fiable sobre eficacia-seguridad, y con la cautela a la que obliga el no disponer de información rigurosa sobre los posibles efectos adversos que se hayan podido producir asociados con el uso de contrastes ecocardiográficos, las sociedades científicas no podrán realizar recomendaciones para indicaciones, como el estudio de la perfusión miocárdica, que pueden tener gran trascendencia. Sería deseable que estas incertidumbres sobre la seguridad se resolvieran con rigor, sin generar falsas alarmas.

Ecocardiografía tridimensional

Aunque aún en pleno proceso de evolución tecnológica, la ECO 3D ya ofrece interesantes resultados de sus potenciales aplicaciones clínicas. Las mejoras en las técnicas de procesado volumétrico, la reconstrucción 3D en tiempo real, o con muy pocos latidos, de imágenes con mayor resolución espacio-temporal, permiten la reproducción precisa de la anatomía cardíaca en movimiento. Se han reducido, como se preveía²⁴, los tiempos necesarios en el tratamiento de la imagen en directo y en las mediciones y el procesado de las imágenes «off-line». En los últimos 2 años hemos asistido a la incorporación del Doppler color y tisular en 3D. Además, los algoritmos para la valoración semiautomática de la función sistólica regional²⁵, que permiten el análisis simultáneo de todos los segmentos del ventrículo, han sido ya implementados por algunas compañías. Habrá que esperar hasta obtener resultados de su validación en aplicaciones clínicas de estudios ya en marcha (ecocardiografía de estrés, resincronización, etc.).

La EC, rápidamente actualizada a las 3 dimensiones²⁶, permite resolver el problema de la escasa definición del borde endocárdico en pacientes con mala ventana ecocardiográfica y, además, el desarrollo de la técnica y las aplicaciones permitirán tratar de evaluar la ECO 3D de perfusión miocárdica en tiempo real¹⁰.

Volúmenes ventriculares y fracción de eyección del ventrículo izquierdo

Los estudios comparativos frente a cardio-RM que han evaluado la medida de los volúmenes ventriculares

con ECO 3D, que no el cálculo, al no tener que realizar asunciones geométricas, muestran de manera sistemática resultados similares entre ambas técnicas, tanto en la fiabilidad como en la reproducibilidad de la medida²⁷. Los sesgos en el volumen telediastólico son habitualmente inferiores a los 20 ml, incluidos los ventrículos dilatados, con distorsiones geométricas y disfunción sistólica. Con los algoritmos semiautomáticos, los tiempos empleados en la adquisición y la medición de los volúmenes son con frecuencia < 2 min²⁸.

En el cálculo de los volúmenes y la fracción de eyección del ventrículo izquierdo (FEVI) en pacientes con diversas miocardiopatías, la ECO 3D con reconstrucciones de 4 u 8 planos comparada con la cardio-RM, ha demostrado una excelente correlación (de hasta 0,995) y concordancia (coeficiente de correlación intraclass (CCI) > 0,995). Este grado de acuerdo se produjo tanto en pacientes con volúmenes ventriculares normales como con dilatación y depresión de la FE de distintas etiologías. La reproducibilidad de las medidas mostró una mínima variabilidad intraobservador e interobservador con CCI siempre superior al 0,99 al emplear la técnica 3D con al menos 4 planos, y ninguno de los 35 pacientes utilizados en este estudio fue excluido por mala ventana acústica²⁹.

En comparación con la resonancia, la ECO 3D en el cálculo de volúmenes, FE y contractilidad regional del VI tiene a su favor: un menor coste y duración, la posibilidad de realizarla a la cabecera del paciente, en pacientes con alteraciones del ritmo en los que es conveniente promediar latidos, en portadores de marcapasos u otro material protésico incompatible con la resonancia y la ausencia de problemas de claustrofobia. En contra, tiene la menor fiabilidad y reproducibilidad en pacientes con mala ventana acústica.

Volúmenes y función sistólica del ventrículo derecho

La estimación de volúmenes y la FE del ventrículo derecho (VD) con ECO 3D, al precisar asunciones geométricas, sigue siendo muy limitada. Al compararla con la cardio-RM, la estimación de los volúmenes y la FE por ECO 3D sólo muestra correlaciones moderadas, similares a las obtenidas con ecocardiografía bidimensional³⁰.

Volumen de la aurícula izquierda

El volumen de la AI es un importante parámetro en la evaluación de la función diastólica y el riesgo embolígeno, entre otros. Sin embargo, la aportación en su medición de las técnicas volumétricas 3D, ecocardiografía y cardio-RM parece menos importante, a diferencia del VI, ya que las asunciones geométricas en técnica bidimensional parecen adecuadas para el cálculo del volumen de la AI³¹.

Valvulopatías

El área donde más utilidad clínica parece que va a tener la aplicación de la ECO 3D es el estudio de la válvula mitral. La valoración anatómica y funcional de todos los componentes de la válvula mitral se puede realizar con gran grado de detalle, obteniéndose imágenes muy fácilmente interpretables por los cardiólogos y cirujanos que se dedican a la selección de candidatos y al tratamiento reparador de la válvula mitral³².

Estenosis mitral. Uno de los aspectos que más interesaba a los ecocardiografistas es si la técnica 3D podría aportar mayor información al estudio convencional de la estenosis mitral. Además del mayor detalle en las imágenes respecto al estado estructural de la válvula, sus comisuras o el aparato subvalvular, una aportación importante podría ser la medición del orificio valvular por planimetría. En dos estudios distintos, parece que la medida del orificio valvular mitral con ECO 3D es más fiable y reproducible, de acuerdo con las medidas Doppler y hemodinámica, que con la planimetría 2D. Al parecer, la técnica bidimensional es más variable por cambios en la angulación del plano del orificio y tendería a sobrestimar el orificio interno real^{33,34}, pudiendo ser causa de clasificaciones incorrectas en la severidad de la estenosis en una proporción importante de los casos.

Insuficiencia mitral. Si hay un área donde la incorporación de la ECO 3D era esperada con ansia por cardiólogos y cirujanos cardíacos ésta es, sin duda, la regurgitación mitral. La posibilidad de obtener reconstrucciones precisas, en movimiento, de los componentes de la válvula mitral ha resultado muy importante, no sólo para la mejor localización de las lesiones causantes de la regurgitación, sino que, además, nos permite profundizar más en los mecanismos dinámicos de insuficiencia mitral (IM).

En la IM de origen isquémico, la geometría dinámica del anillo mitral, con sus distorsiones y alteraciones en el desplazamiento, es un área donde la ECO 3D en tiempo real está realizando interesantes aportaciones³⁵⁻³⁸, demostrando que sus alteraciones junto con el *tenting* valvular son determinantes en la severidad y que también podrían ser muy útiles para su diagnóstico.

La posibilidad de valorar el flujo regurgitante de la IM con Doppler color en 3 dimensiones ofrece la ocasión de reevaluar los métodos para la cuantificación de la regurgitación basados en el Doppler color (vena contracta, área-volumen de turbulencia, PISA, etc.) y compararlos con los métodos de referencia empleados hasta ahora³⁹. La evaluación de técnicas reparadoras percutáneas para el tratamiento de la IM es otra indicación potencial para la ECO 3D cuyos resultados habrá que seguir con atención en los próximos años⁴⁰.

Otras valvulopatías. Hasta el momento, la experiencia comunicada con ECO 3D en otras valvulopatías es escasa⁴¹⁻⁴³. Habrá que esperar a los próximos años en los que, con la mayor difusión y experiencia en la técnica, probablemente tendremos ocasión de contar con nuevas aportaciones en el estudio de las valvulopatías.

Cardiopatía isquémica

Aún esperamos, tras su valoración en modelos experimentales, la introducción de las nuevas aplicaciones semiautomáticas para la ECO 3D en tiempo real que ayuden a la valoración de la contractilidad segmentaria y el ecocardiograma de estrés. La técnica tridimensional podría contribuir a aminorar los problemas debidos a falsos acortamientos (*foreshortening*) del VI en las proyecciones apicales y los cambios en la alineación durante el desarrollo de la prueba. Sería posible, además, valorar más segmentos en latidos simultáneos y emplear menos tiempo en la adquisición de los planos.

Otras aplicaciones de la ECO 3D

Dentro del capítulo de miocardiopatías, donde más utilidad está mostrando la ECO 3D es en la miocardiopatía hipertrófica obstructiva. La técnica tridimensional permite comprender mejor los mecanismos de la obstrucción dinámica en el tracto de salida del VI⁴⁴ y puede mejorar la identificación de obstrucción en localización apical¹⁴. Tras terapias de reducción septal (quirúrgica o ablación con alcohol) en la miocardiopatía hipertrófica obstructiva, la ECO 3D se presenta como una interesante alternativa, al permitir evaluar el resultado en términos del área alcanzada en el tracto de salida, en lugar del gradiente por Doppler continuo sujeto a múltiples fuentes de variabilidad⁴⁵.

Dada la medida más fiable de las áreas de los tractos de salida, ya se ha evaluado la fiabilidad de la determinación del volumen/minuto, con muy buena correlación (siempre superior a 0,93), tanto en modelos experimentales animales como en humanos, niños y adultos, con y sin miocardiopatía dilatada⁴⁶⁻⁴⁸.

Las cardiopatías congénitas parecían un área con enormes posibilidades de desarrollo para la ECO 3D en tiempo real, ya desde el período fetal; sin embargo, por el momento los artículos publicados en revistas cardiológicas y quirúrgicas de adultos son sorprendentemente escasos^{49,50}.

Strain-strain rate

Desde la introducción, hace apenas 5 años, de los parámetros de deformación miocárdica, *strain* (S) y *strain rate* (SR) para la evaluación de la función mio-

cárdica regional, muchos han sido los trabajos que han demostrado su aplicabilidad clínica. Desde la valoración inicial de estos parámetros mediante modo M hasta la actualidad, sin duda, es en este campo de la ecocardiografía donde ha sido más patente el avance tecnológico, tanto en el método de adquisición como en el análisis. Las publicaciones más numerosas durante el último año han hecho referencia a su utilidad en la valoración de la función ventricular derecha e izquierda, particularmente en la identificación de afección subclínica en las miocardiopatías y su respuesta al tratamiento, en la función auricular, así como a su valor añadido en las técnicas de estrés y en la valoración de viabilidad.

Función ventricular

Miocardiopatías. Si bien la utilidad del análisis del S y el SR como sensibles marcadores de afección subclínica en diferentes miocardiopatías ya ha sido evaluada en años anteriores, en nuevos trabajos se ha continuado demostrando su utilidad en enfermedades como la amiloidosis⁵¹, la enfermedad de Fabry⁵², la esclerosis sistémica⁵³ y la miocardiopatía hipertrófica⁵⁴, particularmente debido a su potencial capacidad para identificar la afección de la función regional de pequeñas áreas miocárdicas.

Función ventricular derecha. La evaluación de la función ventricular derecha es un componente esencial en el tratamiento clínico, particularmente en las cardiopatías congénitas⁵⁵, y la aplicación de estos nuevos parámetros ha proporcionado nueva información cuantitativa no invasiva. Urheim et al⁵⁶ demostraron un punto de corte de S del 20% para determinar la disfunción de VD, con una sensibilidad y una especificidad del 91 y el 63%, respectivamente.

Valvulopatías. El análisis de los parámetros de deformación miocárdica ha demostrado su utilidad en la valoración de la disfunción ventricular izquierda subclínica en las valvulopatías, fundamentalmente en la insuficiencia mitral y aórtica^{57,58}.

Función auricular

Así como los parámetros de deformación facilitan el análisis de la función ventricular, la aparición de nuevos trabajos que permiten la valoración de la función auricular mediante S y SR no se ha hecho esperar. Así, durante el año 2005 se han publicado los valores normales⁵⁹ y la utilidad del SR para evaluar la disfunción auricular, demostrando incluso valor pronóstico en el mantenimiento del ritmo sinusal en pacientes con fibrilación auricular⁶⁰.

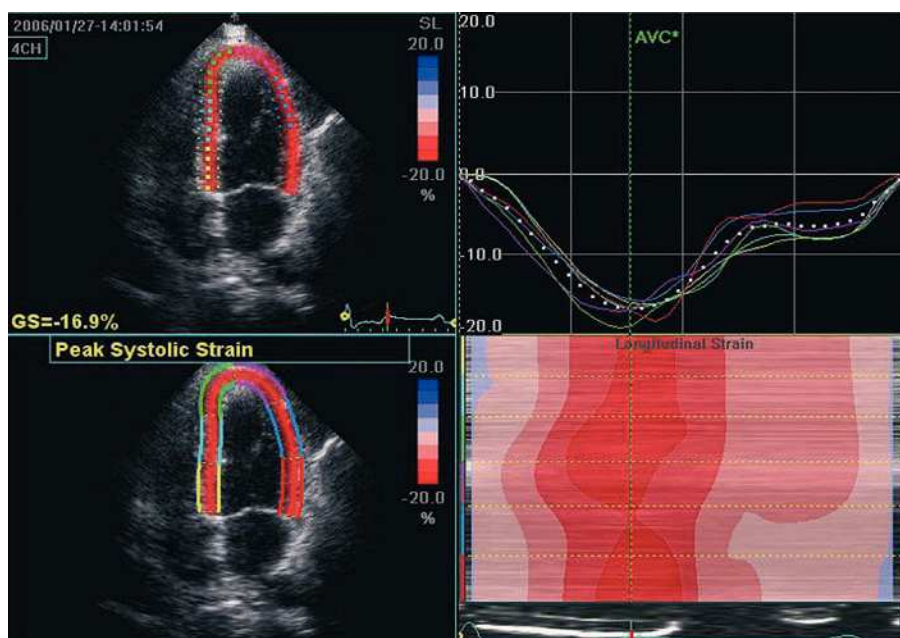


Fig. 2. 2D strain. Proyección apical de 4 cámaras. Imagen paramétrica en modo M anatómico. Curvas de componente longitudinal de strain en varios segmentos.

Detección de isquemia. Ecocardiografía de estrés

Desde 2003, año en el que se publicaron los primeros trabajos que hacían referencia a la utilidad del SR en la detección de isquemia⁶¹, numerosos artículos han puesto de manifiesto el valor añadido del análisis de la deformación miocárdica durante la ecocardiografía de estrés con dobutamina. El análisis cuantitativo y cualitativo del SR ha demostrado incrementar la sensibilidad y la especificidad de la técnica en comparación con la evaluación convencional de la contractilidad desde un 81-82% hasta un 86-90%⁶².

Viabilidad miocárdica

La búsqueda permanente de una técnica sencilla, fiable y reproducible en la valoración de la viabilidad miocárdica ha supuesto un campo de enorme interés para evaluar la aplicación de las técnicas de deformación miocárdica. Hanekom et al⁶³ demostraron que el análisis cuantitativo del S y SR durante la realización del ecocardiograma de estrés a dosis bajas, si bien no presenta por sí solo mayor sensibilidad que el análisis visual de la contractilidad, la utilidad de una estrategia combinada ha demostrado aumentar la sensibilidad para predecir potencial recuperación funcional (el 82 frente al 73%; $p = 0,015$; área bajo la curva, 0,88 frente a 0,73; $p < 0,001$)⁶³. Asimismo, el análisis del comportamiento diastólico del SR con dosis bajas de dobutamina también se ha correlacionado con la presencia de viabilidad⁶⁴. La incuestionable utilidad de la cardioresonancia magnética para la detección de viabilidad

también ha impulsado la realización de trabajos que han comparado la utilidad del SR para la detección de miocardio viable, e incluso han demostrado su capacidad para determinación el grado de transmuralidad tras un infarto agudo de miocardio⁶⁵.

Avances tecnológicos

2D strain

El desarrollo tecnológico llevado a cabo tanto en la adquisición como en el análisis de estos parámetros ha contribuido a paliar las limitaciones principales de esta técnica basada en el Doppler y que derivan fundamentalmente de su inherente dependencia angular. Así, con el desarrollo de nuevas tecnologías basadas en la estimación de los parámetros de deformación miocárdica en escala de grises (*speckle tracking*), disponemos en la actualidad de una nueva tecnología que permite obtener, de forma simultánea, las componentes longitudinal, radial y circunferencial de la deformación en todos los segmentos miocárdicos, con independencia del ángulo (fig. 2). Este nuevo método puede lograr el análisis del movimiento de la pared en tiempo real y tiene el potencial para convertirse en el estándar de evaluación ecocardiográfica automática la función cardíaca, lo que abre nuevos campos de investigación en el análisis de la deformación torsional (*twist*) del miocardio^{66,67}.

Resincronización cardíaca

Las nuevas tecnologías en ecocardiografía tienen un campo de aplicación importante en varios aspectos re-

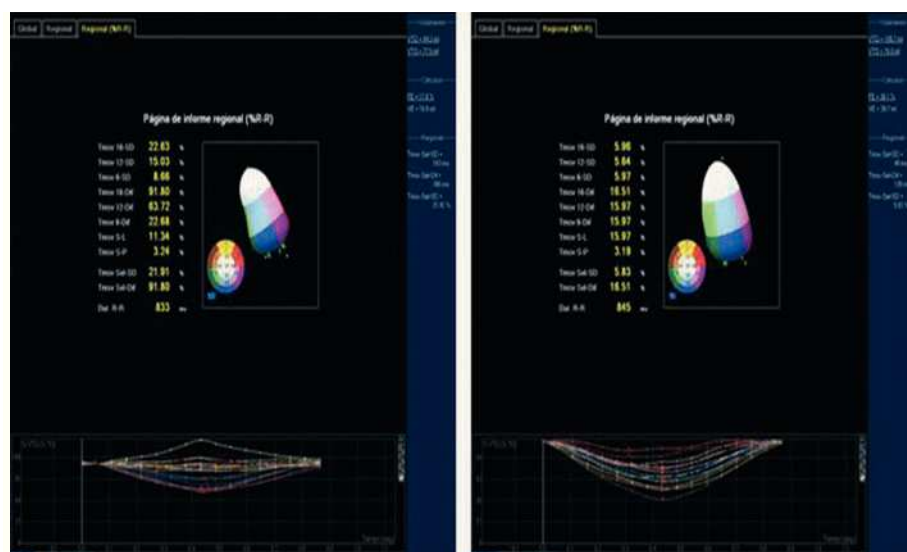


Fig. 3. El análisis 3D ofrece la posibilidad de cuantificar los volúmenes del ventrículo izquierdo antes (izquierda) y después (derecha) de la resincronización. Puede apreciarse la mejora de la sincronía en los gráficos de volúmenes segmentarios del ventrículo izquierdo respecto al tiempo, en la base de la figura.

lacionados con la terapia de resincronización cardíaca (TRC) en el tratamiento de la IC refractaria al tratamiento médico. El primero es la identificación de pacientes potenciales candidatos a beneficiarse de este tratamiento. El segundo es la determinación de la secuencia óptima de estimulación para un paciente concreto y, por último, el seguimiento con la valoración de la respuesta morfológica y funcional. Este último aspecto ha sido evaluado en un excelente trabajo del grupo de la Universidad de Leiden, en el que se estudian, basalmente y a los 6 meses, a 144 pacientes tratados con TRC⁶⁸. Además de la evaluación clínica, se realiza una ECO 2D basal a los 3 y 6 meses para determinar los volúmenes y la FEVI, junto con un estudio de Doppler tisular para valorar la disincronía VI, estudio que repiten el día después de la implantación del dispositivo para evaluar la resincronización. Con la definición de respuesta clínica como la mejoría de ≥ 1 grado de la New York Heart Association (NYHA), hallan un 70% de respondedores. Estos, además, también mejoran otros parámetros clínicos, como el test de caminar 6 min. La concordancia entre respuesta clínica y ecocardiográfica se observó en el 76% de casos y la discordancia en un 19% que mejoró clínicamente pero no redujo el volumen telesistólico del VI, y un 5% que redujo el volumen y no mejoró la clínica. Como en otros estudios, explican la mejoría clínica sin remodelado reverso del VI por un efecto placebo de la inserción del resincronizador. Así, confirman la correlación entre respuesta clínica y ecocardiográfica a la TRC.

En un estudio similar realizado en nuestro país por Vidal et al⁶⁹ pero con un seguimiento de un año, los respondedores a la TRC, definidos como en el artículo previo, reducían significativamente las dimensiones y los volúmenes del VI y mejoraban la FE. Los no respondedores no modificaban ninguno de los parámetros, ni a los 6 ni a los 12 meses. Por tanto, concluyen

que el remodelado reverso del VI conseguido por la TRC explica, al menos en parte, el beneficio clínico que se logra en estos pacientes.

La definición de asincronía del VI por la duración del complejo QRS y el retraso del movimiento septal respecto al de la pared posterior medido por modo M ≥ 130 ms identifican a los pacientes con menos probabilidad de progresión de la IC a una media de 14 meses de seguimiento. Así, mejoran la FE un 79% de pacientes con retraso ≥ 130 ms y sólo en un 9% < 130 ms ($p < 0,0001$), por lo que dicho parámetro, ya validado previamente por la misma autora, vuelve a mostrarse como un potente predictor de mejoría clínica a largo plazo de la TRC en pacientes con IC grave y bloqueo de la rama izquierda del haz de His (BRIHH)⁷⁰.

La reciente introducción del análisis 3D del VI ha eliminado la asunción geométrica y ha mejorado el cálculo de los volúmenes y de la FE. Así, con la división en 17 segmentos volumétricos se elabora un índice de sincronía que ayuda en la identificación de pacientes que potencialmente se beneficiarán de la TRC (fig. 3).

CARDIORRESONANCIA MAGNÉTICA

Como se adelantaba en la introducción, hacemos aquí un breve resumen de la literatura científica más relevante del año 2005 y dirigimos al lector al suplemento de esta Revista dedicado exclusivamente a esta técnica de imagen⁷¹.

Uno de los principales avances técnicos en cardio-RM es la creciente aplicación de la imagen a 3 Tesla en vez de la más habitual a 1,5 Tesla. Al conseguir un mayor campo magnético mejoran la resolución espacial y la calidad de imagen. Por tanto, además de dar respuesta a las preguntas más frecuentes en la práctica clínica, puede ser superior a la cardio-RM de 1,5 T en

el estudio de las arterias coronarias o del *tagging*, y marcadamente superior en el estudio de la perfusión miocárdica y del metabolismo con espectroscopia⁷².

Se sigue trabajando en métodos que aceleran la adquisición de la imagen y mejoran la resolución temporal y espacial, y en nuevos contrastes supraparamagnéticos (SPIO) que permiten realizar estudios celulares.

Cardiopatía isquémica

Estudio de la isquemia miocárdica

La cardio-RM permite la detección de isquemia, bien mediante el estudio de la contractilidad ventricular tras la administración de dobutamina o mediante el estudio de la perfusión con técnicas de primer paso, que pueden estar limitadas por la presencia de artefactos. En un estudio reciente, la perfusión de primer paso con cardio-RM en 42 pacientes con estenosis coronarias significativas se correlaciona bien con la reserva fraccional de flujo detectada mediante cateterismo cardíaco⁷³.

Los estudios farmacológicos con cardio-RM indican que la dobutamina ofrece mayor precisión en el diagnóstico de la isquemia, aunque el estudio con vasodilatadores (adenosina/dipiridamol) es la técnica más sensible.

Necrosis y viabilidad

El estudio de necrosis/viabilidad tras un infarto agudo de miocardio (IAM) es una de las aplicaciones de la cardio-RM más extendida en la práctica clínica habitual, al proporcionar información diagnóstica muy fiable. La cardio-RM ha demostrado ser más sensible que la tomografía computarizada por emisión de fotón único (SPECT) para detectar precozmente necrosis miocárdica en 78 pacientes con IAM en los que se realiza cardio-RM/SPECT una semana después de la angioplastia coronaria primaria. En el contexto del IAM inferior, el realce tardío detecta una afección ventricular derecha 5 veces más frecuente que la sospechada clínicamente⁷⁴.

La cardio-RM proporciona, además, información pronóstica. Así, la cuantificación del tamaño del infarto por cardio-RM permite predecir eventos mayores tras el IAM reperfundido. En el estudio de Kaushal et al⁷⁵ realizado en 100 pacientes se estudiaron factores de pronóstico como los síntomas de insuficiencia cardíaca, la FE, la severidad de la enfermedad coronaria y el tamaño del infarto determinado por cardio-RM, de los cuales sólo el tamaño del infarto > 15% de la masa del VI y una FE disminuida fueron predictores de pronóstico independientes. En el análisis multivariable, un infarto > 15% de la masa ventricular izquierda fue el predictor más importante de muerte⁷⁵. En otro estudio realizado en 144 pacientes, la extensión de la zona periinfarto fue,



Fig. 4. Imagen transversal del ventrículo izquierdo en un estudio de realce tardío con gadolinio para detectar zonas viables postinfarto tratado con angioplastia primaria. Se aprecia un defecto característico de obstrucción microvascular caracterizado por la aparición de una zona de hipocaptación rodeada por otra de hipercaptación de contraste en el segmento posterior del ventrículo izquierdo.

junto con el volumen sistólico indexado de ventrículo izquierdo, el predictor más potente de mortalidad⁷⁶.

La cardio-RM con contraste permite el diagnóstico de la obstrucción microvascular, definida por la presencia de una zona de hipocaptación rodeada por otra de hipercaptación de contraste (fig. 4). La obstrucción microvascular se asocia con reperfusión más tardía, mayor transmuralidad del infarto, peor función ventricular, mayor volumen ventricular y mayor masa infartada⁷⁷. En otro trabajo se discute la utilización combinada del realce tardío con gadolinio y la respuesta a dosis bajas de dobutamina en un segmento dado como una nueva estrategia en la predicción de recuperación funcional tras la revascularización de segmentos con infarto crónico no transmural⁷⁸.

Miocarditis y miocardiopatías

A falta de una técnica diagnóstica sensible y específica, la cardio-RM ha supuesto una gran contribución al diagnóstico de la miocarditis en su fase aguda, ya que ofrece una alternativa no invasiva y de menor riesgo respecto a la biopsia endomiocárdica, considerada como el patrón de referencia. En la miocarditis hay una captación tardía parcheada y subepicárdica de predominio en la cara lateral del VI.

Abdel-Aty emplea una triple secuencia (imagen potenciada en T2 que detecta el edema, realce precoz y tardío de gadolinio) con la que consigue un 85% de precisión diagnóstica⁷⁹.

En la miocardiopatía dilatada, la cardio-RM es una alternativa diagnóstica válida a la coronariografía en la

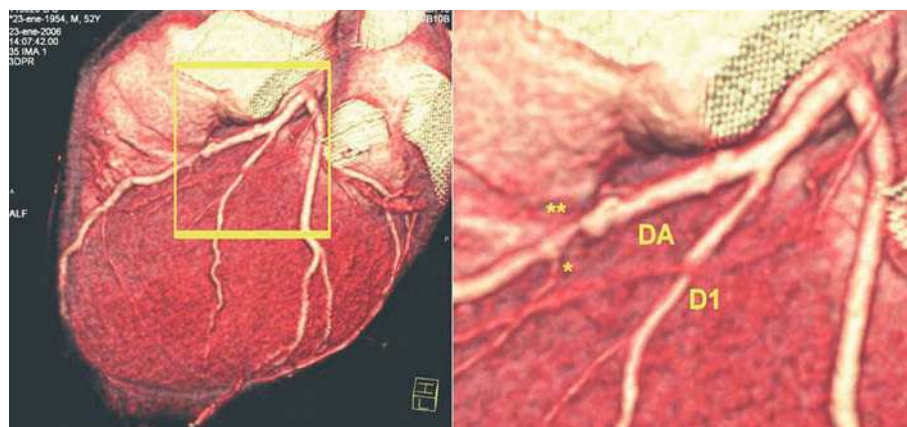


Fig. 5. Reconstrucción volumétrica con cardio-TC de 16 detectores (panel derecha detalle ampliado). Paciente con infarto anterior no reperfundido: lesión severa (**) en la arteria descendente anterior (DA) media, después del nacimiento de la primera rama diagonal (D1). Afectación también del origen de la segunda diagonal (*).

detección de enfermedad coronaria significativa mediante la detección de captación subendocárdica y/o transmural⁸⁰. En este sentido, la cardio-RM es capaz de detectar a un potencial grupo de riesgo de pacientes con infartos no reconocidos⁸¹.

En la búsqueda de respondedores, como ya se ha mencionado, el papel de la cardio-RM parece relevante, puesto que la presencia de cicatriz en los segmentos laterales predice una mala respuesta a la resincronización cardíaca⁸².

En la miocardiopatía espongiforme, la cardio-RM permite un diagnóstico preciso si la relación de miocardio no compactado/compactado medida en diástole es mayor de 2,3⁸³.

En pacientes con miocardiopatía hipertrófica e infiltrativa, la presencia de fibrosis detectada por cardio-RM en el estudio de realce tardío podría identificar a los pacientes de alto riesgo de muerte súbita. Hay una relación entre fibrosis y disfunción diastólica, de manera que en la miocardiopatía hipertrófica un 35% de los pacientes con realce tiene un patrón restrictivo, que aparece sólo en un 7% de los pacientes sin realce⁸⁴.

Otras aplicaciones

La cardio-RM, por su fiabilidad en la valoración de la anatomía cardíaca, se utiliza en el estudio de las cardiopatías congénitas, las enfermedades de la aorta como mencionamos más adelante, la displasia arritmogénica ventricular derecha y las masas cardíacas, entre otras cardiopatías. Otros usos menos habituales pero también de ayuda en la práctica clínica son el estudio de la anatomía de las venas pulmonares y de la cicatriz producida tras su ablación en los pacientes con FA⁸⁵, la estimación no invasiva de resistencias vasculares pulmonares⁸⁶, el remodelado del VI en estudios de terapia celular⁸⁷ o de regresión de las placas ateroscleróticas en respuesta a las estatinas. Se están explorando también las posibilidades de la cardio-RM en la valoración cuantitativa de la asincronía ventricular⁸⁸.

Aplicabilidad y seguridad

La cardio-RM es una técnica segura, ya que utiliza ondas de radiofrecuencia en un campo magnético en vez de radiación y un contraste potencialmente menos alergénico que el contraste yodado. Su aplicabilidad está limitada en sujetos con claustrofobia y en pacientes portadores de marcapasos y desfibriladores implantables por el riesgo de calentamiento de los electrodos y disfunción de los dispositivos. En pacientes que dependen del marcapasos se recomienda reprogramar en modo asincrónico y en los que no dependen, reprogramarlo en modo de sensado, anulando la función de estimulación⁸⁹. Recientes estudios demuestran que los marcapasos más modernos y los desfibriladores implantables pueden ser escaneados con seguridad, idealmente en presencia de un electrofisiólogo. Queda por conocer qué sucederá con el calentamiento del electrodo con campos de 3 Teslas.

En cuanto a pacientes portadores de *stents*, Patel et al⁹⁰ estudian a 66 pacientes mediante cardio-RM precoz (< 14 días) tras la implantación de un *stent* por IAM (el 39% de los *stents* eran recubiertos) con un riesgo de eventos bajo y similar al del grupo control.

CARDIOTOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA CON MULTIDECTORES

El creciente interés de la comunidad cardiológica por la cardio-TC reside en los avances experimentados por esta técnica de imagen en la valoración no invasiva de la anatomía coronaria en los últimos años. Así, la TC helicoidal ha cambiado de forma considerable desde un único detector a múltiples detectores (fig. 5). Desde el año 2005, 4 firmas comerciales disponen ya de la TC de 64 detectores, con una excelente resolución temporal y espacial.

La sensibilidad y la especificidad en la detección de estenosis significativas de las arterias coronarias nativas de la cardio-TC multicorte de 64 detectores son superiores al 90% y el tiempo de adquisición disminu-

ye, aunque se precisa la misma cantidad de contraste y una mayor exposición a la radiación (un 50% más en relación con la cardio-TC de 16 detectores).

Aunque con esta técnica la precisión diagnóstica cualitativa y cuantitativamente analizadas son muy elevadas en comparación con la coronariografía convencional, la presencia de calcificación arterial, la obesidad y la variabilidad de la frecuencia cardíaca o que ésta sea > 70 lat/min (comienzan a usarse protocolos con bloqueadores beta) son factores limitantes como demuestran Raff et al⁹¹. En cambio, en otros estudios, la presencia de calcio en las arterias coronarias valorada con el *score* cálcico de Agatston demuestra una estrecha correlación con el número de arterias estenosadas, y cuando dicha puntuación se combina con el estudio de las arterias coronarias por cardio-TC con un valor de 400, se incrementa la sensibilidad de la cardio-TC del 93 al 100% en la detección de estenosis coronarias significativas por paciente, sin merma de la especificidad (85%)⁹².

En un prometedor estudio aún no publicado, Rubinshtein et al⁹³ estudiaron a 113 pacientes con dolor torácico con cardio-TC multicorte y diagnosticó enfermedad coronaria significativa en el 25% de los pacientes con ergometría negativa y en el 44% con ergometría dudosa. El 91% de estos pacientes presentaba enfermedad coronaria significativa en la angiografía⁹³.

La cardio-TC también es útil para la valoración no invasiva de la reestenosis intra-*stent*. Así, en el estudio de Gaspar et al⁹⁴ se analiza a 65 pacientes a los que se les realiza una cardio-TC de 40 detectores y coronariografía 1-3 días después. La estenosis del *stent* se graduó de 1 a 4 según la atenuación del contraste intraluminal (1 ligera-4 severa). Los hallazgos de la cardio-TC le confieren una moderada sensibilidad global (72,2%) y una buena especificidad (92,5%), con un bajo valor predictivo positivo (65 %) y muy buen valor predictivo negativo (94,5%), por lo que puede ser utilizada en pacientes con baja sospecha clínica, ya que la técnica, hoy por hoy, precisa ser mejorada antes de convertirse en una herramienta de uso clínico sistemático.

En un reciente artículo, Trigo et al⁹⁵ estudiaron 117 injertos coronarios de los que visualizaron 99 (84,6%) por angiografía convencional y 109 (93,2%) mediante cardio-TC, y analizaron los 98 injertos que fueron valorados por ambas técnicas. Los valores de sensibilidad y especificidad de la TC para el total de injertos fueron del 92 y el 97,3%, para los injertos venosos del 89,5 y el 97,6%, y para los injertos arteriales del 100 y el 96,8%, respectivamente.

En el estudio del VI, y a diferencia de la cardio-RM, la medida del volumen ventricular telediastólico y telesistólico resulta problemático para la cardio-TC multicorte en comparación con la cardio-RM.

En el estudio de viabilidad por realce tardío de contraste similar al de la cardio-RM se ha encontrado una

buena concordancia entre ambas técnicas ($\kappa = 0,878$) en 28 pacientes examinados 2 semanas post-IAM⁹⁶. Esta técnica podría ser útil en pacientes que precisan estudio de viabilidad y no pueden ser explorados con cardio-RM.

Siempre debe tenerse en cuenta la relación entre el riesgo a la exposición radiológica y el beneficio por la información obtenida. Los riesgos de exposición podrían reducirse con estrategias de sincronización electrocardiográfica.

TÉCNICAS DE IMAGEN EN LAS ENFERMEDADES DE LA AORTA

Las enfermedades de la aorta constituyen entidades de tratamiento multidisciplinario en las que el avance en las intervenciones terapéuticas y el mejor pronóstico de los pacientes están íntimamente relacionados con el desarrollo de las diferentes técnicas de diagnóstico por imagen. Aún más, la tendencia al enfoque no invasivo ha supuesto, entre otras cosas, una reducción significativa de la exposición del paciente a riesgos innecesarios. La aorta, normal o patológica, puede ser estudiada antes de planear algún tipo de tratamiento con gran precisión mediante la llamada «imagen multimodalidad»: una combinación de técnicas de ultrasonido, TC y RM. Además, estas mismas modalidades de imagen, que se han desarrollado para el tratamiento clínico de los pacientes, están siendo de gran ayuda para el estudio in vivo de la arteriosclerosis de una forma que nunca antes se hubiera planteado.

Síndrome aórtico agudo

Actualmente, la aproximación diagnóstica al paciente con sospecha clínica de síndrome aórtico agudo es uniforme y aboga por la utilización inmediata de cualquiera de las técnicas no invasivas de imagen: TC con o sin contraste, ecocardiografía transesofágica (ETE) o, con menos frecuencia, cardio-RM, reconociéndose para todas ellas cifras de sensibilidad y especificidad superiores al 90-95%⁹⁷. No obstante, por su accesibilidad y amplia disponibilidad en urgencias, numerosas publicaciones en el último año^{98,99} apuntan al empleo sistemático de la cardio-TC como técnica de primera elección en la evaluación de cualquier paciente con dolor torácico en el que el síndrome coronario agudo ha sido descartado, concediéndosele una sensibilidad y una especificidad cercanas al 100%. Con el uso de equipos de 16, 32 y 64 detectores se obtiene una excelente resolución espacial, submilimétrica, en un tiempo de adquisición rápido. Además, la cardio-TC con disparo cardíaco sincronizado con electrocardiograma (ECG), realizada prospectiva o retrospectivamente, elimina la principal fuente potencial de errores en el diagnóstico de disección de aorta de esta técnica: artefactos de movimiento, principalmente en la aorta as-

cedente. Por último, la técnica posibilita incluso el análisis simultáneo de la anatomía coronaria. Quizá, esta aproximación diagnóstica, junto con la aplicación de la ETE intraoperatoria, en los centros en que se disponga de esta técnica y en las disecciones tipo A, constituya una estrategia adecuada en el tratamiento del síndrome aórtico agudo.

Datos recientemente publicados del Registro IRAD¹⁰⁰ arrojan una prevalencia de hasta el 5,7% de hematoma intramural. El hecho de que el hematoma se presente con una semiología menos florida y en segmentos difícilmente explorables por ETE, hacen más conveniente el uso de otras técnicas no invasivas que permiten toda la valoración de la aorta y en toda su extensión, como el cardio-TC.

Dilatación de aorta torácica

En lo que respecta a las enfermedades de la aorta no urgentes, el principal problema clínico lo constituye la aorta dilatada, cuyas consecuencias, roturas o disección, se ha demostrado, a su vez, que son directamente proporcionales al tamaño del aneurisma. Por ello, la decisión de realizar cirugía o intervencionismo electivo sobre la aorta torácica descansa fundamentalmente en la medida de las dimensiones mediante técnicas de imagen no invasivas. Esto supone una aproximación adecuada, aunque simple, al problema. En primer lugar, hoy día sabemos que, en todos sus segmentos, el tamaño de la aorta normal muestra una variabilidad sustancial en la población general. Tradicionalmente, la superficie corporal se considera el principal factor determinante de las dimensiones del anillo y la raíz aórtica¹⁰⁰ y, aunque se ha demostrado que el riesgo de complicaciones es proporcional al tamaño del aneurisma en valor absoluto, la medida de una dimensión determinada puede representar una dilatación aórtica mayor en pacientes con menor superficie corporal. De hecho, el empleo de nomogramas ha incrementado la sensibilidad de las pruebas de imagen en el diagnóstico de la dilatación de aorta, al permitir comparar valores medidos y valores esperados. En segundo lugar, la fuerza de la asociación entre la superficie corporal y las dimensiones varía para los distintos segmentos aórticos y los diámetros de la aorta en segmentos más distales a la raíz, como son la unión sinotubular, la aorta ascendente y la aorta torácica, y parece depender más directamente de la edad¹⁰¹. A pesar de ello, en el seguimiento reciente de 410 pacientes durante un período de 10 años (1985-2005), Davies et al¹⁰² demuestran que las dimensiones corregidas o «indexadas» para la superficie corporal en cualquiera de los segmentos de la aorta torácica predicen mejor el riesgo y encuentran dos puntos de corte de incremento marcado en la tasa anual de complicaciones. Esto permite estratificar a los pacientes en 3 grupos de riesgo: riesgo bajo (4% anual) en los que tienen un índice < 2,75 cm/m², ries-

go moderado (8% anual) entre 2,75 y 4,25 cm/m² y riesgo alto (20% anual) por encima de 4,25 cm/m², parámetros aconsejables a la hora de tomar decisiones quirúrgicas.

Síndrome de Marfan

Probablemente, la más reciente y prometedora aportación de la investigación al síndrome de Marfan, publicada por Habashi et al¹⁰³ en *Science* en abril de 2006, sea la demostración experimental en un modelo de rata con síndrome de Marfan del papel de la citocina TGF- β en el desarrollo de aneurismas aórticos y de la utilidad del antagonista de los receptores de la angiotensina II (ARA-II), losartán, para evitar la aparición de manifestaciones cardiovasculares del síndrome. No obstante, en tanto y en cuanto esto no sea una realidad clínica, la indicación precisa de cirugía electiva de sustitución de aorta ascendente, con el objetivo de prevenir el síndrome aórtico agudo o la muerte, continúa siendo la piedra angular del tratamiento de estos pacientes. La ecocardiografía, transtorácica o transesofágica, se considera la técnica de elección en el seguimiento de las dimensiones de la aorta proximal y las nuevas guías de práctica clínica aceptan la intervención, en ausencia de valvulopatía aórtica asociada, cuando el diámetro de la raíz alcanza los 50 mm o la tasa de crecimiento es mayor de 2 mm/año. Sin embargo, ninguna de las actuales guías contempla la influencia del sexo en la presentación de complicaciones aórticas, como sí lo hacen el artículo de Davies et al¹⁰² previamente comentado o publicaciones derivadas del registro IRAD¹⁰⁴. En este sentido, es de particular interés el reciente artículo de Meijboom et al¹⁰⁵, en el que las dimensiones de la raíz de la aorta medidas por ecocardiografía en los senos de Valsalva en mujeres, ajustadas para la edad, resultan una media de 5 mm menor que las medidas en varones. Más aún, aunque la tasa de crecimiento anual no presentaba diferencias significativas, la incidencia de disección de aorta tipo A en el seguimiento fue superior en mujeres y se produjo 5 mm por debajo del tamaño necesario para indicar la cirugía electiva. Por el contrario, el número de varones remitidos para cirugía de sustitución de aorta ascendente fue superior al de las mujeres. Posiblemente, la causa radique en que los criterios de dilatación aórtica que se consideran indicación de cirugía (≥ 50 mm) pueden no ser adecuados en las mujeres. Por ello, se aboga por la utilización de diámetros inferiores en las mujeres. Se establezcan o no diferencias en función del sexo, lo cierto es que la cirugía electiva precoz de la aorta proximal ha mejorado enormemente el pronóstico del síndrome de Marfan. Es probable que, por ello, la enfermedad de la aorta distal empiece a considerarse como un nuevo motivo de preocupación en el seguimiento de estos pacientes¹⁰⁶. Durante el último año, la publicación de datos procedentes del EuroHe-

art Survey on Adult Congenital Heart Disease sobre el síndrome de Marfan por Engelfriet et al¹⁰⁷ demuestran que, entre los 268 pacientes incluidos, la cirugía previa de aorta ascendente se asociaba con un incremento de hasta 4 veces en la probabilidad de dilatación de la aorta distal, tras ajustar las medidas para la edad y el sexo. Por otro lado, en pacientes no intervenidos o sin historia previa de disección, la dimensión de la aorta descendente en el estudio basal fue un predictor independiente de riesgo de complicaciones futuras, con el resultado de que una de cada 3 complicaciones en el seguimiento de los pacientes con síndrome de Marfan tenía lugar en la aorta distal. Puesto que sólo en el 38% de los casos recogidos en este registro de manera retrospectiva se disponía de mediciones de la aorta torácica descendente o abdominal mediante TC o RM, debe insistirse en la estricta vigilancia de todos los segmentos de la aorta en el seguimiento de estos pacientes, intervenidos o no.

Tratamiento endovascular de la aorta

En espera de la próxima publicación de los resultados del estudio INSTEAD¹⁰⁸, que nos aclare el papel del tratamiento intravascular en la disección tipo B no complicada comparado con el tratamiento médico antihipertensivo en el seguimiento a 2 años de los pacientes incluidos, y en ausencia hasta ahora de recomendaciones sobre el papel de las distintas técnicas de imagen para guiar la implantación intravascular de prótesis en la aorta torácica o abdominal, Koschyck et al¹⁰⁹ nos presentan un interesante estudio en el que analizan la utilidad periprocedimiento de la ETE y la ecografía intravascular (IVUS) asociadas con la angiografía en 42 pacientes en los que se realizan 48 procedimientos. En esta serie, los procedimientos de ultrasonidos resultan ser significativamente superiores a la angiografía sola en la localización de múltiples puertas de entrada, en la detección de flujo lento y ecocontraste espontáneo en la falsa luz después de la implantación de la prótesis, y en la aposición incompleta de la prótesis a la pared de aorta. Si bien el IVUS resultó superior la ETE en el estudio de extensión a la aorta abdominal, la ETE diagnosticó 5 *endoleaks* frente a ninguno de la IVUS y uno fue detectado por angiografía. Por lo tanto, si bien la IVUS y la ETE no se consideran herramientas indispensables en la mayoría de los procedimientos de intervencionismo, su contribución resulta notable y se asocia con escasas complicaciones en implantación intravascular de prótesis aórticas.

Arteriosclerosis aórtica

Como en años anteriores, es uno de los campos más documentados es el estudio de la arteriosclerosis aórtica como fuente embólica mediante ecocardiografía, principalmente transesofágica. Son muy interesantes

los datos publicados respecto al elevado acuerdo interobservador e intraobservador en el diagnóstico ecocardiográfico de la arteriosclerosis aórtica¹¹⁰ y sobre la escasa utilidad del empleo sistemático de la ETE en el estudio de la fuente embólica en los pacientes mayores de 65 años¹¹¹, en los que la arteriosclerosis aórtica, complicada o no, constituye el principal hallazgo ecocardiográfico en la serie de Vitebskiv et al¹¹¹. Estudios como este justifican la política restrictiva de indicaciones de ETE en la población geriátrica seguida en muchos de los centros y concuerdan con la tasa de hasta un 13,5% de ictus sin diagnóstico etiológico encontrada en la serie de Pujadas et al¹¹². Además, justifica que estos casos fueran todos tratados empíricamente con antiagregantes plaquetarios, dada la alta prevalencia de la enfermedad arteriosclerótica en nuestra población de edad avanzada. El análisis de la prevalencia de placas de ateroma complicadas en la aorta de los pacientes en los que ocurre un segundo accidente cerebrovascular (83,4%) y la comparación histórica entre esta prevalencia y la del French Study of Aortic Plaque in Stroke en los pacientes que no tuvieron recurrencia embólica (21%) demostró que la arteriosclerosis aórtica desempeña un papel fundamental en la etiología del ictus en estos casos, y que las placas complicadas se asocian con un riesgo elevado de nuevos episodios. A la luz de estos resultados, probablemente la asociación sistemática de estatinas y antiagregantes plaquetarios en el tratamiento empírico en este grupo de pacientes deba constituir una práctica clínica habitual. Pero, indudablemente, una de las más prometedoras aplicaciones de las técnicas de imagen, en la actualidad experimental y probablemente clínica en un futuro cercano, es el diagnóstico y la caracterización tisular de la placa de ateroma aórtico mediante RM de alta resolución. El volumen de la placa y su caracterización pueden realizarse con secuencias de doble inversión-recuperación para suprimir la señal derivada del flujo sanguíneo. Particularmente interesante es el análisis del comportamiento de las placas con la intervención farmacológica y el análisis de la regresión que permitirán confirmar la efectividad de los diferentes regímenes terapéuticos. En esta línea, Corti et al¹¹³ observan en una publicación reciente que los cambios en los parámetros de la pared del vaso se relacionan más con la reducción de las cifras de colesterol unido a lipoproteínas de baja densidad (cLDL) que con las dosis de estatinas empleadas. De hecho, no se encontraron diferencias en los efectos vasculares entre las distintas dosis de simvastatina empleadas de manera aleatorizada (20 frente a 80 mg). Más interesante aún, los pacientes que alcanzan cifras de cLDL de 100 mg/dl muestran una reducción mayor de la placa de ateroma que los que no alcanzan estos valores. Con un diseño similar, Yonemura et al¹¹⁴ estudian a 40 pacientes hipercolesterolémicos con placas en la aorta torácica y abdominal tratados con dosis de 20 frente a 5 mg de atorvastatina.

Curiosamente, al año de seguimiento y tras alcanzar reducciones homogéneas de las cifras de colesterol, la atorvastatina ha producido regresión de las placas de ateroma en la aorta torácica y no en la aorta abdominal, lo que debería plantearnos la cuestión de si la localización de las placas tiene un papel destacado en su susceptibilidad al tratamiento hipolipidemiante.

BIBLIOGRAFÍA

- Fraser AG, Buser PT, Bax JJ, Dassen WR, Nihoyannopoulos P, Schwitzer J, et al. The future of cardiovascular imaging and non-invasive diagnosis. A joint statement from the European Association of Echocardiography, the Working Groups on Cardiovascular Magnetic Resonance, Computers in Cardiology, and Nuclear Cardiology of the European Society of Cardiology, the European Association of Nuclear Medicine and the Association for European Paediatric Cardiology. *Eur J Echocardiogr.* 2006;7:268-73.
- Pritchett AM, Mahoney DW, Jacobsen SJ, Rodeheffer RJ, Karon BL, Redfield MM. Diastolic dysfunction and left atrial volume: a population-based study. *J Am Coll Cardiol.* 2005;45:2026-33.
- Olshansky B, Heller EN, Mitchell LB, Chandler M, Greene HL, and the AFFIRM Investigators. Are transthoracic echocardiographic parameters associated with atrial fibrillation recurrence or stroke? *J Am Coll Cardiol.* 2005;45:2026-33.
- Yoerger DM, Marcus F, Sherrill D, Calkins H, Towbin JA, Zareba W, et al. Echocardiographic findings in patients meeting Task Force criteria for arrhythmogenic right ventricular dysplasia. New insights from the multidisciplinary study of right ventricular dysplasia. *J Am Coll Cardiol.* 2005;45:860-5.
- Grayburn PA, Appleton CP, DeMaria AN, Greenberg B, Lowes B, Oh J, et al. Echocardiographic predictors of morbidity and mortality in patients with advanced heart failure: the Beta-Blocker Evaluation of Survival Trial (BEST). *J Am Coll Cardiol.* 2005;45:1064-71.
- Peteiro J, Montserrat L, Mariñas J, Garrido I, Bouzas M, Muñoz J, et al. Valor pronóstico de la ecocardiografía de ejercicio con cinta rodante. *Rev Esp Cardiol.* 2005;58:924-33.
- Peteiro J, Alonso AM, Florenciano R, González Juanatey C, De la Morena G, Iglesias I, et al. Concordancia intercentros en la interpretación de la ecocardiografía de ejercicio. *Rev Esp Cardiol.* 2006;59:33-40.
- Castillo JA, Ramos JL, Molina E, Florenciano R, Ortega J. Ecocardiografía con dobutamina en pacientes con angina crónica estable y ergometría de riesgo bajo o intermedio: utilidad en la valoración del pronóstico a largo plazo. *Rev Esp Cardiol.* 2005;58:916-23.
- Duncan AM, Lim E, Gibson DG, Henein MY. Effect of dobutamine stress on left ventricular filling in ischemic dilated cardiomyopathy: pathophysiology and prognostic implications. *J Am Coll Cardiol.* 2005;46:488-96.
- Lang RM, Bierig M, Devereux RB, Flachskampf FA, Foster E, Pellikka PA, et al. Recommendations for chamber quantification. *Eur J Echocardiogr.* 2006;7:79-108.
- Perez-David E, García-Fernández MA, Quiles J, Mahia P, López-Sendón JL, López de Sá E, et al. Usefulness of quantitative myocardial contrast echocardiography for prediction of ventricular function recovery after myocardial infarction treated with primary angioplasty. *Heart.* 2006;92:693-4.
- Bodi V, Sanchis J, Losada A, García D, Nunez J, Pellicer M, et al. Estudio de la perfusión coronaria postinfarto mediante análisis cuantitativo de la ecocardiografía miocárdica con inyección de contraste por vía intravenosa. *Rev Esp Cardiol.* 2005;58:137-44.
- Serra V, Pérez de Isla L, Zamorano J, Almería C, Rodrigo JL, Pérez M, et al. Utilidad de la ecocardiografía de contraste miocárdico con cuantificación basada en imagen paramétrica para la predicción de la recuperación funcional de segmentos acinéticos en pacientes con infarto agudo de miocardio sometidos a angioplastia primaria. *Rev Esp Cardiol.* 2005;58:649-56.
- Elhendy A, Porter TR. Assessment of myocardial perfusion with real-time myocardial contrast echocardiography: methodology and clinical applications. *J Nucl Cardiol.* 2005;12:582-90.
- Tsutsui JM, Elhendy A, Xie F, O'Leary EL, McGrain AC, Porter TR. Safety of dobutamine stress real-time myocardial contrast echocardiography. *J Am Coll Cardiol.* 2005;45:1235-42.
- Toledo E, Jacobs LD, Lodato JA, DeCara JM, Coon P, Mor-Avi V, et al. Quantitative diagnosis of stress-induced myocardial ischemia using analysis of contrast echocardiographic parametric perfusion images. *Eur J Echocardiogr.* 2006;7:217-25.
- Pemberton J, Li X, Hickey E, Karamlou T, Sandquist CA, Ungerleider R, et al. Live real-time three-dimensional echocardiography for the visualization of myocardial perfusion—a pilot study in open-chest pigs. *J Am Soc Echocardiogr.* 2005;18:956-8.
- Toledo E, Lang RM, Collins KA, Lammertin G, Williams U, Weinert L, et al. Imaging and quantification of myocardial perfusion using real-time three-dimensional echocardiography. *J Am Coll Cardiol.* 2006;47:146-54.
- Vogel R, Indermuhle A, Reinhardt J, Meier P, Siegrist PT, Namdar M, et al. The quantification of absolute myocardial perfusion in humans by contrast echocardiography: algorithm and validation. *J Am Coll Cardiol.* 2005;45:754-62.
- Nemes A, Vletter WB, Scholten MF, Ten Cate FJ. Contrast echocardiography for perfusion in right ventricular cardiomyopathy. *Eur J Echocardiogr.* 2005;6:470-2.
- Baker GH, Pereira NL, Hlavacek AM, Chessa K, Shirali G. Transthoracic real-time three-dimensional echocardiography in the diagnosis and description of noncompaction of ventricular myocardium. *Echocardiography.* 2006;23:490-4.
- Frans EE, Nanda NC, Patel V, Fonbah WS, Vengala S, Mehmod F, et al. Live three-dimensional transthoracic contrast echocardiographic assessment of apical hypertrophic cardiomyopathy. *Echocardiography.* 2005;22:686-9.
- Bierig SM, Maniet A, Herrmann SC, Hoover JG, Sherriff D, Kutter S, et al. Improved visualization of aortic intima-media thickening with the use of perflutren lipid microspheres. *J Am Soc Echocardiogr.* 2005;18:1329-34.
- Sugeng L, Weinert L, Lang RM. Left ventricular assessment using real time three dimensional echocardiography. *Heart.* 2003;89 Suppl 3:iii29-36.
- Corsi C, Lang RM, Veronesi F, Weinert L, Caiani EG, MacEneaney P, et al. Volumetric quantification of global and regional left ventricular function from real-time three-dimensional echocardiographic images. *Circulation.* 2005;112:1161-70.
- Voormolen MM, Bouakaz A, Krenning BJ, Lancee CT, Ten Cate FJ, De Jong N. Feasibility of 3D harmonic contrast imaging. *Ultrasonics.* 2004;42:739-43.
- 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.
- Jacobs LD, Salgo IS, Goonewardena S, Weinert L, Coon P, Barredo D, et al. Rapid online quantification of left ventricular volume from real-time three-dimensional echocardiographic data. *Eur Heart J.* 2006;27:460-8.
- Gutiérrez-Chico JL, Zamorano JL, Pérez de Isla L, Orejas M, Almería C, Rodrigo JL, et al. Comparison of left ventricular volumes and ejection fractions measured by three-dimensional echocardiography versus by two-dimensional echocardiography and cardiac magnetic resonance in patients with various cardiomyopathies. *Am J Cardiol.* 2005;95:809-13.

30. Kjaergaard J, Petersen CL, Kjaer A, Schaadt BK, Oh JK, Hassager C. Evaluation of right ventricular volume and function by 2D and 3D echocardiography compared to MRI. *Eur J Echocardiogr.* 2006;7:430-8.
31. Jenkins C, Bricknell K, Marwick TH. Use of real-time three-dimensional echocardiography to measure left atrial volume: comparison with other echocardiographic techniques. *J Am Soc Echocardiogr.* 2005;18:991-7.
32. Valocik G, Kamp O, Visser CA. Three-dimensional echocardiography in mitral valve disease. *Eur J Echocardiogr.* 2005;6:443-54.
33. Sebag IA, Morgan JG, Handschumacher MD, Marshall JE, Nestta 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.
34. Xie MX, Wang XF, Cheng TO, Wang J, Lu Q. Comparison of accuracy of mitral valve area in mitral stenosis by real-time, three-dimensional echocardiography versus two-dimensional echocardiography versus Doppler pressure half-time. *Am J Cardiol.* 2005;95:1496-9.
35. Ahmad RM, Gillinov AM, McCarthy PM, Blackstone EH, Aperson-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.
36. 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;112:1458-62.
37. Watanabe N, Ogasawara Y, Yamaura Y, Kawamoto T, Akasaka T, Yoshida K. Geometric deformity of the mitral annulus in patients with ischemic mitral regurgitation: a real-time three-dimensional echocardiographic study. *J Heart Valve Dis.* 2005;14:447-52.
38. Watanabe N, Ogasawara Y, Yamaura Y, Kawamoto T, Toyota E, Akasaka T, et al. Quantitation of mitral valve tenting in ischemic mitral regurgitation by transthoracic real-time three-dimensional echocardiography. *J Am Coll Cardiol.* 2005;45:763-9.
39. Khanna D, Miller AP, Nanda NC, Ahmed S, Lloyd SG. Transthoracic and transesophageal echocardiographic assessment of mitral regurgitation severity: usefulness of qualitative and semi-quantitative techniques. *Echocardiography.* 2005;22:748-69.
40. 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.
41. Fang L, Hsiung MC, Miller AP, Nanda NC, Yin WH, Young MS, et al. Assessment of aortic regurgitation by live three-dimensional transthoracic echocardiographic measurements of vena contracta area: usefulness and validation. *Echocardiography.* 2005;22:775-81.
42. Faletra F, La Marchesina U, Bragato R, De Chiara F. Three dimensional transthoracic echocardiography images of tricuspid stenosis. *Heart.* 2005;91:499.
43. Patel V, Nanda NC, Rajdev S, Mehmood F, Velayudhan D, Vengala S, et al. Live/real time three-dimensional transthoracic echocardiographic assessment of Ebstein's anomaly. *Echocardiography.* 2005;22:847-54.
44. Pérez De Isla L, Zamorano J, Malangatana G, Martínez Quesada M, Almería C, Rodrigo JL, et al. Morphological determinants of subaortic stenosis in hypertrophic cardiomyopathy: insights from real-time 3-dimensional echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr.* 2005;18:802-4.
45. Sitges M, Qin JX, Lever HM, Bauer F, Drinko JK, Agler DA, et al. Evaluation of left ventricular outflow tract area after septal reduction in obstructive hypertrophic cardiomyopathy: a real-time 3-dimensional echocardiographic study. *Am Heart J.* 2005;150:852-8.
46. Pemberton J, Li X, Karamlou T, Sandquist CA, Thiele K, Shen I, et al. The use of live three-dimensional Doppler echocardiography in the measurement of cardiac output: an in vivo animal study. *J Am Coll Cardiol.* 2005;45:433-8.
47. Pemberton J, Li X, Kenny A, Davies CH, Minette MS, Sahn DJ. Real-time 3-dimensional Doppler echocardiography for the assessment of stroke volume: an in vivo human study compared with standard 2-dimensional echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr.* 2005;18:1030-6.
48. Fleming SM, Cumberledge B, Kiesewetter C, Parry G, Kenny A. Usefulness of real-time three-dimensional echocardiography for reliable measurement of cardiac output in patients with ischemic or idiopathic dilated cardiomyopathy. *Am J Cardiol.* 2005;95:308-10.
49. Barrea C, Levasseur S, Roman K, Nii M, Coles JG, Williams WG, et al. Three-dimensional echocardiography improves the understanding of left atrioventricular valve morphology and function in atrioventricular septal defects undergoing patch augmentation. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2005;129:746-53.
50. Abdel-Massih T, Dulac Y, Taktak A, Aggoun Y, Massabau P, Elbaz M, et al. Assessment of atrial septal defect size with 3D-transesophageal echocardiography: comparison with balloon method. *Echocardiography.* 2005;22:121-7.
51. Ogiwara F, Koyama J, Ikeda S, Kinoshita O, Falk RH. Comparison of the strain Doppler echocardiographic features of familial amyloid polyneuropathy (FAP) and light-chain amyloidosis. *Am J Cardiol.* 2005;95:538-40.
52. Weidemann F, Breunig F, Beer M, Sandstede J, Stork S, Voelker W, et al. The variation of morphological and functional cardiac manifestation in Fabry disease: potential implications for the time course of the disease. *Eur Heart J.* 2005;26:1221-7.
53. Meune C, Allanore Y, Pascal O, Devaux J-Y, Dessault O, Duboc D, et al. Myocardial contractility is early affected in systemic sclerosis: a tissue Doppler echocardiography study. *Eur J Echocardiograph.* 2005;6:351-7.
54. Sengupta PP, Mehta V, Arora R, Mohan JC, Khandheria BK. Quantification of regional nonuniformity and paradoxical intramural mechanics in hypertrophic cardiomyopathy by high frame rate ultrasound myocardial strain mapping. *J Am Soc Echocardiogr.* 2005;18:737-42.
55. Friedberg MK, Rosenthal DN. New developments in echocardiographic methods to assess right ventricular function in congenital heart disease. *Curr Opin Cardiol.* 2005;20:84-8.
56. Urheim S, Cauduro S, Frantz R, McGoon M, Belohlavek M, Green T, et al. Relation of tissue displacement and strain to invasively determined right ventricular stroke volume. *Am J Cardiol.* 2005;96:1173-8.
57. Lee R, Hanekom L, Marwick TH, Leano R, Wahi S. Prediction of subclinical left ventricular dysfunction with strain rate imaging in patients with asymptomatic severe mitral regurgitation. *Am J Cardiol.* 2004;94:1333-7.
58. Di Salvo G, Pacileo G, Verrengia M, Rea A, Limongelli G, Caso P, et al. Early myocardial abnormalities in asymptomatic patients with severe isolated congenital aortic regurgitation: an ultrasound tissue characterization and strain rate study. *J Am Soc Echocardiogr.* 2005;18:122-7.
59. Sirbu C, Herbots L, D'Hooge J, Claus P, Marciniak A, Langeland T, et al. Feasibility of strain and strain rate imaging for the assessment of regional left atrial deformation: a study in normal subjects. *Eur J Echocardiogr.* 2006;7:199-208.
60. Di Salvo G, Caso P, Lo Piccolo R, Fusco A, Martiniello AR, Russo MG, et al. Atrial myocardial deformation properties predict maintenance of sinus rhythm after external cardioversion of recent-onset lone atrial fibrillation: a color Doppler myocardial imaging and transthoracic and transesophageal echocardiographic study. *Circulation.* 2005;112:387-95.
61. Voigt JU, Exner B, Schmiedehausen K, Huchzermeyer C, Reulbach U, Nixdorff U, et al. Strain-rate imaging during dobutamine stress echocardiography provides objective evidence of inducible ischemia. *Circulation.* 2003;107:2120-6.

62. Pellikka PA. Stress echocardiography for the diagnosis of coronary artery disease: progress towards quantification. *Curr Opin Cardiol*. 2005;20:395-8.
63. Hanekom L, Jenkins C, Jeffries L, Case C, Mundy J, Hawley C, et al. Incremental value of strain rate analysis as an adjunct to wall-motion scoring for assessment of myocardial viability by dobutamine echocardiography: a follow-up study after revascularization. *Circulation*. 2005;112:3892-900.
64. Hoffmann R, Altiok E, Nowak B, Kuhl H, Kaiser HJ, Buell U, et al. Strain rate analysis allows detection of differences in diastolic function between viable and nonviable myocardial segments. *J Am Soc Echocardiogr*. 2005;18:330-5.
65. Zhang Y, Chan AK, Yu CM, Yip GW, Fung JW, Lam WW, et al. Strain rate imaging differentiates transmural from non-transmural myocardial infarction: a validation study using delayed-enhancement magnetic resonance imaging. *J Am Coll Cardiol*. 2005;46:864-71.
66. Leitman M, Lysyansky P, Sidenko S, Shir V, Peleg E, Binenbaum M, et al. Two-dimensional strain-a novel software for real-time quantitative echocardiographic assessment of myocardial function. *J Am Soc Echocardiograph*. 2004;17:1021-9.
67. Notomi Y, Lysyansky P, Setser RM, Shiota T, Popovic ZB, Martin-Miklovic MG, et al. Measurement of ventricular torsion by two-dimensional ultrasound speckle tracking imaging. *J Am Coll Cardiol*. 2005;45:2034-41.
68. Bleeker GB, Bax JJ, Wing-Hong J, Van der Wall EE, Zhang Q, Schalij MJ, et al. Clinical versus echocardiographic parameters to assess response to cardiac resynchronization therapy. *Am J Cardiol*. 2006;97:260-3.
69. Vidal B, Sitges M, Marigliano A, López-Infante E, Azqueta M, Tamborero D, et al. Relation of response to cardiac resynchronization therapy to left ventricular reverse remodeling. *Am J Cardiol*. 2006;97:876-81.
70. Pitzalis MV, Iacoviello M, Romito R, Guida P, De Tommasi E, Luzzi G, et al. Ventricular asynchrony predicts a better outcome in patients with chronic heart failure receiving cardiac resynchronization therapy. *J Am Coll Cardiol*. 2005;45:65-9.
71. Moya JL, López Lereu MP. Aplicación actual de la resonancia magnética. *Rev Esp Cardiol Supl*. 2006;6:49-56.
72. Strach K, Meyer C, Naehle CP. High resolution myocardial perfusion imaging at 3.0 T: comparison to Standard 1.5T perfusion studies and diagnostic accuracy in patients with suspected CAD. *J Cardiovasc Magn Res*. 2006;8:7-8.
73. Watkins S, Steedman T, Lyne J. First pass myocardial perfusion MRI for the detection of myocardial ischemia as determined by invasive coronary pressure measurement- fractional flow reserve. *J Cardiovasc Magn Res*. 2006;8:41.
74. Paterson DI, Natanzon A, Pessanha B. Detection of right ventricular infarction by cardiac magnetic resonance imaging. *J Cardiovasc Magn Res*. 2005;7:41-2.
75. Kaushal R, Fieno D, Radin M. Infarct size is an independent predictor of mortality in patient with coronary artery disease. *J Cardiovasc Magn Res*. 2005;7:39.
76. Yan AT, Shayne AJ, Brown KA. Characterization of the peri-infarct zone by contrast-enhanced cardiac magnetic resonance imaging is a powerful predictor of post-myocardial infarction mortality. *Circulation*. 2006;114:32-9.
77. Buciarelli-Ducci C, Wu E, Tejedor P. Hypoenhancement on delayed contrast-enhanced MRI following ST-segment elevation myocardial infarction: an alternate approach for evaluating no-reflow. *J Cardiovasc Magn Res*. 2005;7:43-4.
78. Bove CM, DiMaria JM, Voros S, Conaway MR, Kramer CM. Dobutamine response and myocardial infarct transmural. *Radiology*. 2006;240:835-41.
79. Abdel-Aty H, Boye P, Zagrosek A, Wassmuth R. Diagnostic performance of cardiovascular magnetic resonance in patients with suspected acute myocarditis: comparison of different approaches. *J Am Coll Cardiol*. 2005;45:1815-22.
80. Soriano CJ, Ridocci F, Estornell J, Jiménez J, Martínez V, De Velasco JA. Noninvasive diagnosis of coronary artery disease in patients with heart failure and systolic dysfunction of uncertain etiology, using late gadolinium-enhanced cardiovascular magnetic resonance. *J Am Coll Cardiol*. 2005;45:743-8.
81. Barbier CE, Bjerner T, Johansson L. Myocardial scars more frequent than expected: magnetic resonance imaging detects potential risk group. *J Am Coll Cardiol*. 2006;48:765-71.
82. Bleeker GB, Kaandorp TA, Lamb HJ. Effect of posterolateral scar tissue on clinical and echocardiographic improvement after cardiac resynchronization therapy. *Circulation*. 2006;113:969-76.
83. Petersen SE, Selvanayagam JB, Wiesmann F, Robson MD, Francis JM. Left ventricular non-compaction. Insights from cardiovascular magnetic resonance imaging. *J Am Coll Cardiol*. 2005;46:101-5.
84. Valente AM, Brosnan R, Wagner A. The influence of myocardial fibrosis by delayed enhanced MRI on left ventricular diastolic function in hypertrophic cardiomyopathy. *J Am Coll Cardiol*. 2006;47 Suppl A:137.
85. Tamborero D, Mont LI, Nava S, Caralt MT, Molina I, Scalise A, et al. Incidence of pulmonary vein stenosis in patients submitted to atrial fibrillation ablation: a comparison of the selective segmental ostial ablation vs the circumferential pulmonary veins ablation. *J Inter Cardiovasc Electrophysiol*. 2005;14:21-5.
86. Muthurangu V, Sermesant M, Atkinson D, Taylor A, Miquel M, Tulloh R, et al. A non-invasive method of calculating pulmonary vascular resistance using MR flow data. *J Cardiovasc Magn Res*. 2005;7:104.
87. Jenssens S, Dubois C, Bogaert J, Theunissen K, Deroose C, Desmet W, et al. Autologous bone marrow-derived stem-cell transfer in patients with ST-segment elevation myocardial infarction: double-blind, randomised controlled trial. *Lancet*. 2006;367:113-21.
88. Lardo AC, Abraham TP, Kass DA. Magnetic resonance imaging assessment of ventricular dyssynchrony. *J Am Coll Cardiol*. 2005;46:2223-8.
89. Sommer T. Magnetic resonance imaging in patients with cardiac pacemakers. *J Am Coll Cardiol*. 2005;46:561-2.
90. Patel MR, Albert TSE, Kandzari DE, Honeycutt EF, Shaw LK, Sketch MH, et al. Acute myocardial infarction: safety of cardiac MR imaging after percutaneous revascularization with stents. *Radiology*. 2006;240:674-80.
91. Raff GL, Gallagher MJ, O'Neill WW, Goldstein JA. Diagnostic accuracy of noninvasive coronary angiography using 64-slice spiral computed tomography. *J Am Coll Cardiol*. 2005;46:552-7.
92. Lau GT, Ridley LJ, Schieb MC, Brieger DB, Freeman SB, Wong LA, et al. Coronary artery stenoses: detection with calcium scoring, CT angiography, and both methods combined. *Radiology*. 2005;235:415-22.
93. Rubinshtein R, Halon DA, Gaspar T. Usefulness of 64-slice multi detector computed tomography to improve diagnostic yield in patients with chest pain and negative or equivocal exercise treadmill tests. *J Am Coll Cardiol*. 2006; 47 Suppl A:114.
94. Gaspar T, Halon DA, Lewis BS, Adawi S, Schliamser JE, Rubinstein R, et al. Diagnosis of coronary in-stent restenosis with multidetector row spiral computed tomography. *J Am Coll Cardiol*. 2005;46:1573-9.
95. Trigo A, Estornell J, Ridocci F, Soriano C, Gudín M, Vilar J, et al. Valoración no invasiva de injertos coronarios con tomografía computarizada: comparación con la angiografía convencional. *Rev Esp Cardiol*. 2005;57:807-14.
96. Mahnken AH, Koos R, Katoh M, Wildberger JE, Spuentrup E, Buecker A, et al. Assessment of myocardial viability in reperfused acute myocardial infarction using 16- slice computed tomography in comparison to magnetic resonance imaging. *J Am Coll Cardiol*. 2005;45:2042-7.
97. Moore AG, Eagle KA, Bruckman D, Moon BS, Malouf JF, Fattori R, et al. Choice of computed tomography, transesophageal echocardiography, magnetic resonance imaging, and aortography in acute aortic dissection: International Registry of Acute Aortic Dissection (IRAD). *Am J Cardiol*. 2002;89:1235-8.

98. Manghat NE, Morgan-Huges GJ, Roobottom CA. Multidetector row computed tomography: imaging in acute aortic syndrome. *Clin Radiol*. 2005;60:1256-67.
99. Higgins CB. Modern imaging of acute aortic syndrome. *Am J Med*. 2004;116:134.
100. Evangelista A, Mukherjee D, Mehta R, O'Gara PT, Fattori R, Cooper J, et al. for the International Registry of Aortic Dissection (IRAD) Investigators. Acute intramural haematoma of aorta. A mystery in evolution. *Circulation* 2005;111:1063-1070.
101. Roman MJ, Devereux RB, Kramer-Fox R, O'Laughlin J. Two-dimensional echocardiographic aortic root dimensions in normal children and adults. *Am J Cardiol*. 1989;64:507-12.
102. Davies RR, Gallo A, Coady MA, Tellides G, Botta DM, Burke B, et al. Novel measurement of relative aortic size predicts rupture of thoracic aortic aneurysms. *Ann Thorac Surg*. 2006;81:169-77.
103. Habashi JP, Judge DP, Holm TM, Cohn RD, Loeys BL, Cooper TK, et al. Losartan, an AT1 antagonist, prevents aortic aneurysm in a mouse model of Marfan syndrome. *Science*. 2006;312:117-21.
104. Nienaber CA, Fattori R, Mehta RH, Richartz BM, Evangelista A, Petzsch M, et al, on Behalf of the International Registry of Acute Aortic Dissection. Gender-related differences in acute aortic dissection. *Circulation*. 2004;109:3014-21.
105. Meijboom LJ, Timmermans J, Zwinderman AH, Engelfriet PM, Mulder BJM. Aortic root growth in men and woman with Marfan syndrome. *Am J Cardiol*. 2005; 96:1441-4.
106. Fernández Valls M, Gallardo E, Nistal FJ. Sustitución de aorta completa en la enfermedad de Marfan. Control con angiorresonancia. *Rev Esp Cardiol*. 2005; 58:1349-50.
107. Engelfriet PM, Boersma E, Tijssen JGP, Bouma BJ, Mulder BJM. Beyond the root: dilatation of the distal aorta in Marfan syndrome. *Heart* 2006;92:1238-43.
108. Nienaber CA, Zannetti S, Barbieri B, Kische S, Schareck W, Rehders TC; INSTEAD study collaborators. INvestigation of STent grafts in patients with type B Aortic Dissection: design of the INSTEAD trial: a prospective, multicenter, European randomized trial. *Am Heart J*. 2005;149:592-9.
109. Koschyk DH, Nienaber CA, Knap M, Hoffman T, Kodolitsch YV, Skriabina V, et al. How to guide stent-graft implantation in type B aortic dissection? Comparison of angiography, transthoracic echocardiography and intravascular ultrasound. *Circulation* 2005;112 Suppl I: I260-4.
110. Zaidat OO, Suarez JL, Hedrick D, Redline S, Schluchter M, Landis DM, et al. Reproducibility of transesophageal echocardiography in evaluating aortic atheroma in stroke patients. *Echocardiography*. 2005;22:326-30.
111. Vitebskiv S, Fox K, Hoit BD. Routine transesophageal echocardiography for the evaluation of cerebral emboli in elderly patients. *Echocardiography*. 2005;22:770-4.
112. Pujadas R, Arboix A, Anguera N, Oliveres M, Massons J, Comes E. Papel de las placas de ateroma aórtico complejas en la recurrencia del infarto cerebral de etiología incierta. *Rev Esp Cardiol*. 2005; 58:34-40.
113. Corti R, Fuster V, Fayad Z, Worthley A, Helft SG, Chaplin G, et al. Effects of aggressive versus conventional lipid-lowering therapy by simvastatin on human atherosclerotic lesions: a prospective, randomized, double-blind trial by high-resolution Magnetic Resonance Imaging. *J Am Coll Cardiol*. 2005;5:106-12.
114. Yonemura A, Momiyama Y, Fayad ZA, Ayaori M, Ohmori R, Higashi K, et al. Effect of lipid-lowering therapy with atorvastatin on atherosclerotic aortic plaques detected by noninvasive magnetic resonance imaging. *J Am Coll Cardiol*. 2005;45:733-42.