

## Actualización en técnicas de imagen cardíaca. Ecocardiografía y cardi resonancia magnética

Eva Laraudogoitia Zaldumbide<sup>a</sup> y José L. Moya Mur<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Servicio de Cardiología. Hospital de Galdakao. Getxo. Vizcaya. España.

<sup>b</sup>Servicio de Cardiología. Hospital Ramón y Cajal. Madrid. España.

En este artículo se revisan los principales avances publicados en diferentes técnicas de imagen cardíaca durante el año 2004. Los recientes avances en la tecnología digital han hecho que el clínico se apoye cada vez más en las técnicas de imagen no invasiva para el diagnóstico de las enfermedades cardíacas. Comentamos algunas novedades en ecocardiografía y cardi resonancia magnética.

**Palabras clave:** *Ecocardiografía de estrés. Contraste. Resonancia magnética. Realce miocárdico.*

### Update in Cardiac Imaging Techniques. Echocardiography and Magnetic Resonance Imaging

This article is a review of the main developments in cardiac imaging techniques reported in publications during 2005. Recent advances in digital technology have led to steadily increasing reliance on imaging techniques in the management of cardiovascular disease. We discuss advances in two techniques that fall under the remit of the echocardiography working group: echocardiography and magnetic resonance imaging.

**Key words:** *Stress echocardiography. Contrast. Magnetic resonance imaging. Myocardial enhancement.*

### INTRODUCCIÓN

En este artículo se comentan las principales novedades que han surgido en el año 2004 en el ámbito de la imagen cardíaca. En los últimos años, muchos de los laboratorios de ecocardiografía de España han integrado en sus labores asistenciales e investigadoras la cardi resonancia magnética (CRM) y unos pocos la tomografía computarizada (TC) cardíaca, por lo que hemos pasado a llamarnos laboratorio de imagen cardíaca. Los recientes avances en la tecnología digital han dado lugar a un enorme progreso en las diferentes modalidades de imagen cardíaca que han hecho que el clínico se apoye cada vez más en dichas técnicas para el diagnóstico de las enfermedades cardíacas.

La ecocardiografía (ECO) sigue siendo la modalidad de imagen cardíaca más utilizada en todo el mundo. Su crecimiento se sigue produciendo con la introducción de nuevas técnicas, el perfeccionamiento y la validación de las ya disponibles y, sobre todo, añadiendo nueva información en áreas de interés clínico. Describiremos las aportaciones más interesantes en el

año 2004 en ECO de estrés, ECO con contraste, utilización de contraste ultrasónico para liberación de genes y fármacos y ECO tridimensional (3D).

La CRM está adquiriendo una gran importancia en el estudio de las enfermedades cardiovasculares. Está demostrado que es una técnica eficaz y fiable para analizar la anatomía y la función del corazón y de los grandes vasos, así como para evaluar las masas, el pericardio, la aorta y las enfermedades congénitas. Por su continuo desarrollo se está convirtiendo en una técnica fundamental en otros campos de la cardiología, como el análisis de la isquemia, la viabilidad, la caracterización de tejidos, etc. En este artículo se expone una revisión de los avances en los temas de mayor interés clínico.

### ECOCARDIOGRAFÍA

#### Ecocardiografía de estrés

Aunque la utilidad de la ECO de estrés está bien establecida en el diagnóstico de la cardiopatía isquémica, en el año 2004 se ha publicado un estudio de ECO de estrés con esfuerzo que ha suscitado un gran interés<sup>1</sup>. En este estudio se comparan los resultados de la ECO de esfuerzo en 443 pacientes referidos por disnea, con los obtenidos en 2.033 pacientes referidos por

Correspondencia: Dra. E. Laraudogoitia Zaldumbide.  
Servicio de Cardiología. Hospital de Galdakao.  
Cristóbal Colón, 9, 2.º D. 48992 Getxo. Vizcaya. España.  
Correo electrónico: elarauo@hgda.osakidetza.net

dolor torácico y en 55 pacientes que presentaban los dos síntomas, dolor torácico y disnea. Los pacientes referidos por disnea eran mayores y con más anomalías cardiovasculares que los otros grupos. La ECO de estrés fue positiva para isquemia en el 42% de los pacientes referidos por disnea, en el 19% de los pacientes referidos por dolor torácico y en el 58% de los pacientes que presentaban los dos síntomas. Durante un seguimiento de  $3,1 \pm 1,8$  años, la muerte cardíaca y el infarto agudo de miocardio (IAM) no fatal ocurrieron más frecuentemente en los pacientes referidos por disnea (el 5,2 frente al 0,9% y el 4,7 frente al 2%, respectivamente). Este estudio ha demostrado que los pacientes referidos a ECO de estrés por disnea no explicada tienen mayor probabilidad de tener isquemia miocárdica y mayor incidencia de eventos cardíacos en el seguimiento que los pacientes referidos por dolor torácico. Se establece, pues, el importante papel de la ECO de estrés en los pacientes con disnea, lo que puede aumentar considerablemente la indicación de esta técnica.

Hay también nuevos datos interesantes sobre la utilidad de la ECO de estrés para predecir eventos cardíacos perioperatorios. A pesar de que datos previos sugieren que la ECO de estrés preoperatoria es un potente indicador de eventos cardíacos postoperatorios, esto no ha sido probado en estudios aleatorizados. Un pequeño estudio prospectivo y aleatorizado diseñado para conocer la validez de las guías de la American Heart Association/American College of Cardiology en cuanto a la realización de una ECO de estrés previa a la cirugía no cardíaca (vascular) demostró que los hallazgos de la ECO de estrés con dobutamina no aportan información sobre la aparición de eventos cardíacos postoperatorios<sup>2</sup>. Como los autores señalan, son necesarios estudios aleatorizados con mayor número de pacientes para poder confirmar estos datos.

En pacientes con estenosis mitral (EM) hay con frecuencia discrepancia entre el área valvular mitral (AVM) y la clase funcional, especialmente después de la comisurotomía. Estudios previos han utilizado la ECO de estrés esfuerzo para identificar a los pacientes con EM que tienen un aumento importante de la presión arterial pulmonar con el ejercicio. Estos estudios han demostrado que la reducción de la distensibilidad auricular es la causa de la hipertensión arterial pulmonar en pacientes diagnosticados de EM ligera por tiempo de hemipresión mitral. En un estudio publicado por Reis et al<sup>3</sup> se realizó una ECO de estrés con dobutamina en 53 pacientes con EM reumática y se realizó un seguimiento de  $60 \pm 11$  meses. En 29 pacientes (55%) se produjo al menos un evento durante el seguimiento; asimismo, 16 pacientes fueron hospitalizados por aumento de la disnea, 6 tuvieron arritmias y 7, edema agudo de pulmón. La ECO de estrés con dobutamina fue capaz de identificar a los pacientes que tu-

vieron eventos clínicos durante el seguimiento. Un gradiente medio mitral de 18 mmHg durante la ECO con dobutamina identificó a los pacientes con eventos durante el seguimiento. Con este valor, la sensibilidad de la ECO con dobutamina fue del 90%, la especificidad del 87% y la precisión diagnóstica del 87%. Las principales limitaciones de este estudio son que fueron excluidos los pacientes con insuficiencia mitral más que ligera o con otra valvulopatía asociada y que, además, no aportan datos clínicos ni ecocardiográficos durante el seguimiento, por lo que no queda claro si la mayor tasa de eventos puede ser debida simplemente a la progresión de la enfermedad. A pesar de estas limitaciones, el estudio confirma la utilidad de la ECO con dobutamina para predecir eventos en pacientes con EM.

### Ecocardiografía de contraste

Varios estudios han demostrado en este año la evidencia de un aumento importante de la utilización del contraste en la práctica clínica. Malm et al<sup>4</sup> utilizaron el contraste para aumentar la reproducibilidad de las mediciones del tamaño del ventrículo izquierdo (VI) y su función. Compararon los datos obtenidos con ECO estándar y con contraste con CRM en 110 pacientes consecutivos. Encontraron que el grado de acuerdo con los datos obtenidos en la CRM fue mucho mejor con la utilización de contraste. Además, la variabilidad interobservador se redujo considerablemente con la utilización de contraste (el 14 frente al 7%) y la variabilidad intraobservador disminuyó de 7,8 al 2,4%. Este estudio demostró que con la utilización de contraste para la opacificación del VI se obtienen datos de tamaño y función de VI similares a los obtenidos en CRM.

En otro interesante estudio de Kirkpatrick et al<sup>5</sup> se utilizó el contraste para diferenciar las masas cardíacas debidas a trombos de las masas tumorales. Demostraron que los tumores presentaban una intensidad de señal aumentada tras la administración de contraste (debida a un incremento de la vascularización) que no tenían los trombos.

Un nuevo trabajo demuestra la utilidad de la realización de un estudio de perfusión durante la ECO de estrés. Elhendy et al<sup>6</sup> realizaron ECO de estrés con dobutamina a 170 pacientes programados para coronariografía. Inyectaron contraste ultrasónico en el estadio submáximo y en el pico de estrés y valoraron los defectos de la perfusión miocárdica y las alteraciones de la contractilidad segmentaria. Encontraron que la sensibilidad del estudio de perfusión fue mayor que la encontrada por las alteraciones de la contractilidad tanto en fases submáximas como en el pico de estrés. La mayoría de los defectos de perfusión ocurrió en estadios submáximos, sin que se produjeran alteraciones de la contractilidad segmentaria.

A pesar de que la ECO de contraste miocárdico ha sido ampliamente descrita como un método útil para el estudio de la perfusión miocárdica, no hay todavía un protocolo de estudio consistente que podamos aplicar en la clínica. Sigue la controversia entre las dos modalidades de estudio de perfusión: imagen intermitente con índice mecánico alto y tiempo real con índice mecánico bajo. Dawson et al<sup>7</sup> comparan estudios de perfusión realizados con ambas técnicas con los defectos de perfusión definidos por tomografía computarizada por emisión de fotón único y encuentran una sensibilidad mayor para la detección de defectos de perfusión en los estudios realizados con imagen intermitente. En cambio, un estudio reciente<sup>8</sup> realizado con imagen de perfusión en tiempo real con índice mecánico bajo fue capaz de diferenciar diferentes grados de estenosis de la arteria descendente anterior (sin lesiones, ligeras, moderadas y severas) en un grupo de 35 pacientes.

Un tema novedoso es la utilización de los agentes de contraste ecocardiográficos para el transporte y la liberación de genes y fármacos<sup>9</sup>. Una importante característica física de los agentes de contraste es que oscilan durante la sonicación. Estas oscilaciones pueden dar lugar a la desintegración de las microburbujas si se someten a altas presiones acústicas. Esta propiedad se utiliza para el estudio de perfusión miocárdica. La destrucción de las microburbujas por los ultrasonidos ha puesto de manifiesto los posibles efectos adversos que los agentes de contraste puedan tener en los territorios vecinos cuando sus burbujas son destruidas por los ultrasonidos. Algunos estudios han demostrado rotura capilar y extravasación local de hematíes en el músculo esquelético tras la destrucción de las burbujas del contraste<sup>10</sup>. Estos efectos se observaron sólo si se utilizaban altas dosis de contraste y frecuencias acústicas muy elevadas que no se utilizan en la práctica clínica. En los últimos años varios investigadores han utilizado los agentes de contraste ultrasónicos para el transporte y la liberación de genes, proteínas y fármacos. Las sustancias transportadas son liberadas en la región de interés al ser destruidas las burbujas por los ultrasonidos. La desintegración de las burbujas produce un efecto de cavitación focal en los tejidos que aumenta la permeabilidad de las barreras biológicas. Este efecto es particularmente importante cuando se transporta ADN porque aumenta la eficiencia de la transfección a través de la membrana celular.

Tsutsui et al<sup>11</sup> describen el uso de contraste con secuencias de pulso en tiempo real y bajo índice mecánico para valorar la disfunción endotelial y facilitar una rápida trombólisis<sup>11</sup>.

El uso terapéutico de los agentes de contraste ultrasónicos es una técnica emergente. Tiene características muy favorables para su aplicación en la terapia génica, incluidas la especificidad de órgano, la mínima invasión, la baja toxicidad, la no inmunogenicidad y el bajo coste. La principal limitación de la técnica es su

baja eficiencia. Son necesarias importantes mejoras técnicas para poder alcanzar relevancia clínica.

### *Arteriosclerosis aórtica y ecocardiografía transesofágica*

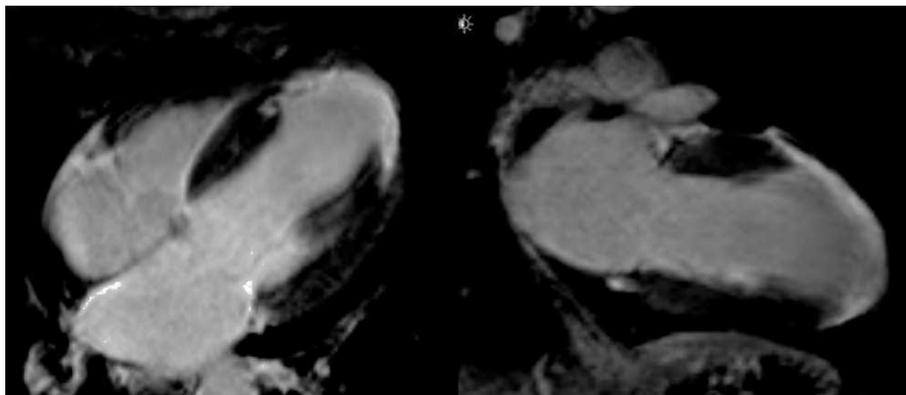
Varios estudios han demostrado una asociación entre arteriosclerosis aórtica diagnosticada por ecocardiografía transesofágica (ETE) y un riesgo aumentado de accidente cerebrovascular (ACV) y morbimortalidad cardiovascular. Sin embargo, estos estudios se han realizado en pacientes muy seleccionados. En un estudio prospectivo de 579 pacientes (SPARC, *Stroke Prevention: Assessment of Risk in a Community*) se estudió la relación entre las placas de ateroma protruyentes (> 4 mm) y no protruyentes detectadas por ETE y los ACV durante un seguimiento medio de 5 años, en pacientes no seleccionados<sup>12</sup>. Se identificaron placas simples en 253 pacientes (43,7%) y placas complejas en 44 (7,6%). En el análisis univariado, el grado de severidad de la placa se asoció con ACV, pero tras ajustar por la edad, el sexo y otros factores de riesgo cardiovascular no hubo relación entre placas complicadas y eventos. La edad, el sexo, la hipertensión arterial (HTA) y la diabetes mellitus fueron predictores independientes de ACV. Los resultados de este estudio nos van a hacer replantear la posible asociación entre las placas de ateroma detectadas con ETE y el riesgo cardiovascular.

### **Ecocardiografía 3D**

La ecocardiografía en tres dimensiones (ECO-3D) en tiempo real se ha introducido en los laboratorios de imagen cardíaca durante 2004. Las publicaciones más numerosas se refieren al estudio de la morfología y la función del ventrículo izquierdo. Jenkins et al<sup>13</sup> han estudiado con ECO-3D en tiempo real a 50 pacientes y han comparado los volúmenes ventriculares, la fracción de eyección y la masa ventricular obtenidos con modo M, bidimensional (2D) y 3D con los obtenidos con CRM. Encuentran que el modo M y 2D sobrestiman la masa del ventrículo izquierdo con respecto a la CRM. Por el contrario, los volúmenes ventriculares están infraestimados con ECO-2D. La reproducibilidad de la ECO-3D es excelente y claramente superior a la ECO-2D.

Otros trabajos han demostrado que la ECO-3D es potencialmente útil para la evaluación del ventrículo derecho en los pacientes con HTA pulmonar<sup>14</sup> y para evaluar el volumen de la orejuela izquierda<sup>15</sup>. Se ha comunicado también el interés de la ECO-3D en la evaluación de las comunicaciones auriculares<sup>16</sup>, la miocardiopatía hipertrófica<sup>17</sup>, la EM reumática<sup>18</sup> y la evaluación precisa del mecanismo de la insuficiencia mitral<sup>19</sup>.

Todos estos estudios deben considerarse como preliminares y su aplicación clínica en la práctica diaria de los laboratorios está todavía por definir.



**Fig. 1.** Estudio de realce tardío. Se aprecia captación transmural del contraste en los segmentos apicales que indica ausencia de viabilidad en la zona.

## CARDIORRESONANCIA MAGNÉTICA

### Detección de isquemia

La resonancia magnética (RM) permite estudiar la isquemia miocárdica por diferentes métodos, pero no está totalmente definido cuál de ellos tiene la mejor rentabilidad diagnóstica. Paetsch et al<sup>20</sup> compararon diferentes métodos de RM utilizados para la detección de enfermedad coronaria, considerada como una estenosis > 50% en la coronariografía. El estudio de la contractilidad miocárdica tras la administración de dobutamina tuvo una sensibilidad y una especificidad del 89 y el 80%, respectivamente. En el estudio de la contractilidad tras el uso de adenosina, éstas fueron del 40 y el 96%, y en el de la perfusión con adenosina del 91 y el 62%, respectivamente. Los autores concluyen que el estudio de la contractilidad miocárdica tras la perfusión de dobutamina es el método de mayor rentabilidad diagnóstica para detectar enfermedad coronaria. Otro punto de discusión es el riesgo de realizar este tipo de pruebas en la sala de resonancia. Wahl et al<sup>21</sup> analizaron 1.000 estudios consecutivos de RM de estrés con un protocolo de alta dosis de dobutamina-atropina. El estudio se pudo realizar en el 99,6% de los casos. No se alcanzó la frecuencia cardíaca prevista en un 9,5% de los casos, en el 7,4% de ellos por efectos secundarios limitantes: 1 caso de taquicardia ventricular sostenida (0,1%), 4 de taquicardia ventricular no sostenida (0,4%), 16 casos de FA (1,6%) y 2 casos de bloqueo de segundo grado transitorio (0,2%). Estos autores concluyen que la seguridad de la RM de estrés es similar a la de otras modalidades de estudio con infusión de dobutamina.

### Necrosis y viabilidad miocárdica

Probablemente, donde la CRM ha evolucionado más en los últimos años ha sido en el estudio de la necrosis miocárdica, principalmente mediante el análisis del realce tardío tras la infusión de gadolinio. Abdel-Aty et al<sup>22</sup> muestran que la utilización combinada de una secuencia de realce tardío y una secuencia ponderada en T2 puede diferenciar de forma precisa los infartos

agudos de los crónicos. En los infartos agudos (< 2 semanas), la relación contraste/ruido en imágenes ponderadas en T2 está aumentada ( $2,7 \pm 1,1$ ) y disminuye significativamente ( $0,1 \pm 1,2$ ) en el estudio realizado en la fase crónica (3 meses). Por el contrario, la relación contraste/ruido no se modifica en las imágenes de realce tardío, tanto de los infartos agudos como de los crónicos. La secuencia ponderada en T2, al reflejar el edema, indica el carácter agudo del proceso, mientras que el realce tardío únicamente indica la presencia de necrosis, pero no su antigüedad. Este método muestra una especificidad del 96% para diferenciar lesiones agudas de crónicas. En la figura 1 se muestra el realce tardío de gadolinio en un paciente con IAM anterior.

En 2 trabajos se ha analizado la evolución de la extensión del realce tardío al pasar de infarto agudo a crónico<sup>23,24</sup>. Ambos detectan una reducción significativa del volumen de realce tardío, que es de  $26 \pm 25$  a  $17 \pm 19$  g en el estudio de Ingkanisorn et al<sup>23</sup> y de  $22 \pm 14$  a  $15 \pm 9$  ml en el estudio de Ichikawa et al<sup>24</sup>. El primero de ellos muestra que la masa ventricular total no cambia en la evolución y el segundo, que el grosor de miocardio sin realce en las zonas de infarto aumenta un 27%. La reducción del área realzada al pasar de la fase aguda a la crónica puede explicarse por que la extensión espacial del área de colágeno en la fase crónica es menor que la extensión de la necrosis miocitaria en la fase aguda. También puede influir en esta reducción un «efecto de volumen parcial». El aumento de la zona no realzada puede explicarse por la hipertrofia compensadora. En cualquier caso, ambos trabajos refuerzan el valor clínico y pronóstico del estudio del realce en la fase aguda del infarto. Ingkanisorn et al<sup>23</sup> muestran que la extensión del realce tardío se correlaciona con la fracción de eyección determinada en la fase crónica, así como con el engrosamiento de pared en las fases aguda y crónica. Proponen que el tamaño del realce es un buen índice pronóstico, con menor variabilidad que la troponina o que la fracción de eyección en la fase aguda. De gran interés es la apreciación de Ichikawa et al<sup>24</sup> sobre cómo la medida del grosor de la zona no realzada tiene mejor valor predictivo para la

mejoría del engrosamiento sistólico en el seguimiento que la habitual medida del porcentaje de captación transmural.

Diversos marcadores se han identificado como parámetros detectores de daño reversible tras la revascularización. Sin embargo, estos marcadores sólo explican un pequeño porcentaje de la evolución de la función ventricular tras el intervencionismo. El trabajo de Selvanayagam et al<sup>25</sup> confirma que el realce tardío es un poderoso predictor de viabilidad después de la cirugía. En este trabajo resulta de interés ver cómo, de 96 segmentos disfuncionantes sin realce o con mínimo realce (viabiles) que no mejoran tras la revascularización, el 36% tiene nueva hipercaptación en el estudio realizado tras la cirugía. Este dato implica la presencia infartos perioperatorios que justificarían en parte la ausencia de mejoría en estos segmentos considerados como viabiles. El mismo grupo analizó el realce tardío antes y después de intervencionismo percutáneo. En el 28% de los casos se apreciaron tras la intervención nuevas áreas de realce de contraste miocárdico que mostraban una buena correlación con los valores de troponina<sup>26</sup>.

Otro importante punto en el que la CRM aporta información de gran repercusión en el manejo clínico de los pacientes es en el diagnóstico diferencial de la insuficiencia cardíaca con disfunción sistólica. En relación con ello, McCrohon et al<sup>27</sup> mostraron que el 100% de los pacientes con disfunción ventricular y cardiopatía isquémica tenía realce tardío de localización subendocárdica o transmural, mientras que los pacientes sin lesiones coronarias obstructivas presentaban 3 patrones: ausencia de captación en el 59%, captación intramural en el 28%, y una captación indistinguible de la de los pacientes con lesiones coronarias en el 13% de los casos. Consideran que estos últimos casos pueden deberse a recanalización después del infarto y sugieren que utilizar la angiografía como árbitro de la presencia de disfunción secundaria a cardiopatía isquémica puede tener sus limitaciones. Más recientemente, Soriano et al<sup>28</sup> estudiaron a 71 pacientes con insuficiencia cardíaca y disfunción ventricular sin historia, electrocardiograma o datos clínicos que sugirieran cardiopatía isquémica. De los pacientes con lesiones obstructivas (> 70%), el 81% tenía captación subendocárdica o transmural, pero también la tenía un 9% del grupo sin lesiones obstructivas. El porcentaje de captación intramural fue similar en los dos grupos (el 9 frente al 11%; p = NS). Ambos trabajos concluyen que el estudio con realce tardío permite descartar la presencia de enfermedad coronaria significativa.

### Miocarditis y miocardiopatías

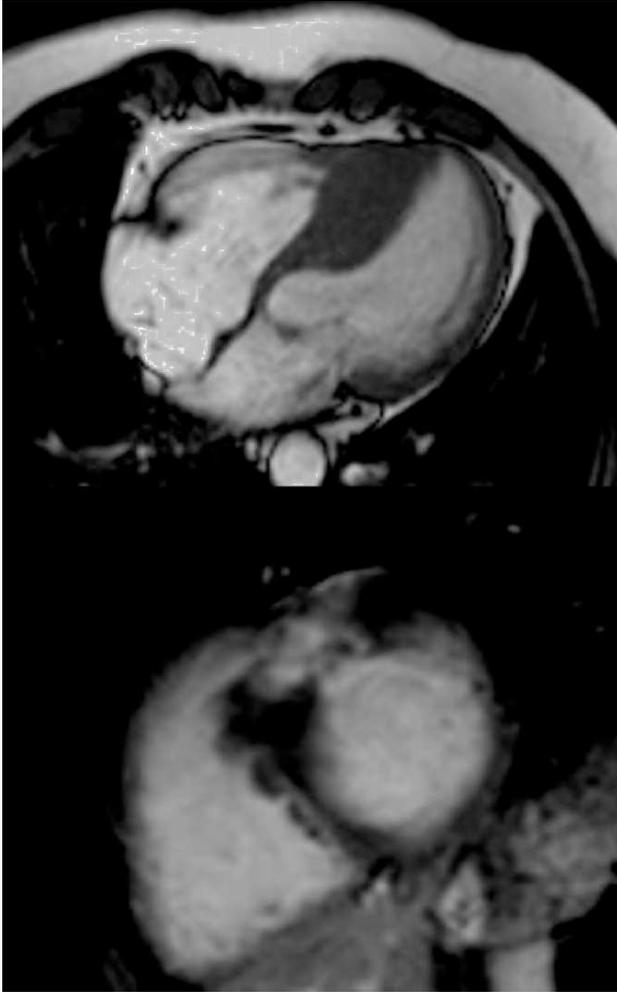
La CRM se presenta como una técnica muy prometedora en la miocarditis, para la que, a pesar de su impor-

tancia clínica, no se disponía de un test diagnóstico eficaz. En los pacientes con miocarditis se puede detectar hipercaptación tras la inyección de gadolinio durante las primeras 2 semanas después del inicio de los síntomas. Mahrholdt et al<sup>29</sup> quisieron conocer el significado de este realce de contraste miocárdico y analizaron 32 casos con miocarditis clínica con RM y biopsia miocárdica. El 88% de los casos tenía hipercaptación, que se localizaba generalmente en la cara lateral del ventrículo izquierdo de forma subepicárdica. Las biopsias obtenidas en zonas con realce de contraste demostraron miocarditis activa, mientras que sólo 1 de 12 biopsias obtenidas en zonas sin realce detectó miocarditis. La CRM reveló en el seguimiento una disminución del área de captación y un aumento de la fracción de eyección. Los autores concluyen que la hipercaptación se relaciona con inflamación activa, y que la CRM con contraste es una herramienta válida para el diagnóstico y el seguimiento del proceso inflamatorio.

En el campo de la miocardiopatía hipertrófica, Moon et al<sup>30</sup> demostraron que el 79% de los casos presentaba realce miocárdico de contraste y que la extensión del realce era mayor en los pacientes con enfermedad progresiva y en los que tenían dos o más factores de riesgo de muerte súbita, si bien no había un correlato histológico de esta hipercaptación. El mismo grupo publicó dicha correlación histológica en un paciente trasplantado después del estudio con RM<sup>31</sup>. El 19% del miocardio era colágeno. El *disarray* miocárdico y el colágeno se encontraban principalmente en las zonas mesocárdicas, y había una correlación significativa de la extensión del realce con el colágeno, pero no con el *disarray*. Este caso también demuestra que el realce no representa una sustitución total por colágeno, sino áreas con contenido de colágeno aumentado. En la figura 2 se muestra una miocardiopatía hipertrófica con captación tardía de gadolinio.

### Coronariografía

La evolución de la coronariografía no invasiva con la TC multicorte ha hecho que la imagen de las arterias coronarias con RM pase a un segundo plano. Esto no quiere decir que no se esté trabajando en esta línea. Danias et al<sup>32</sup> han publicado un metaanálisis de los estudios realizados entre 1991 y 2004. Al analizar a 993 sujetos, la sensibilidad y la especificidad para detectar enfermedad coronaria fue del 73 y el 86%, respectivamente. Consideran que en segmentos evaluables la RM tiene una sensibilidad moderadamente alta para detectar estenosis coronaria significaba proximal. Es previsible que, con el desarrollo de nueva tecnología, estos resultados mejoren. En un estudio se ha comparado la eficacia en la detección de estenosis coronaria de TC de 16 coronas con RM-3D con navegador<sup>33</sup>. Mediante análisis visual, la RM y la TC tenían similar sensibilidad (el 75 frente al 82%) y especificidad (el



**Fig. 2.** Estudio de cardiorensonancia magnética en un paciente con miocardiopatía hipertrofica. Se aprecia la hipertrofia septal asimétrica (arriba) y el realce tardío en la zona de unión del septo con el segmento anterior (abajo).

77 frente al 79%) para detectar lesiones > 50%. Sin embargo, la cuantificación del diámetro de la estenosis mejora la eficacia diagnóstica de la TC respecto a la RM. Posiblemente, con el desarrollo de secuencias específicas y mejores contrastes, la coronariografía con RM podrá mostrar resultados similares o superiores a los de la TC y sin el inconveniente de la exposición a la radiación.

### Seguridad

Los marcapasos y los desfibriladores han representado una contraindicación clásica para los estudios de RM, lo que supone un problema clínico importante en la práctica diaria. Sin embargo, a numerosos pacientes con marcapasos se les ha realizado una RM inadvertidamente o durante estudios controlados sin que se apreciaran efectos adversos. Martin et al<sup>34</sup> estudiaron en un equipo de 1,5 Teslas un total de 107 cables y 61 generadores. No hubo ningún efecto adverso; el 37%

de los cables presentó modificaciones, pero sólo 2 (1,8%) requirieron un cambio en la programación. Únicamente se detectaron cambios en el electroencefalograma y síntomas de carácter menor que no requirieron la suspensión del estudio de RM. Dada la gran variabilidad de los sistemas de marcapasos, de gradientes, de pulsos de radiofrecuencia, etc., los autores no se atreven a garantizar la absoluta seguridad de todos los marcapasos en la RM, recomendando unas guías de actuación dirigidas a reducir las reacciones adversas a consecuencia de una posible interacción marcapasos-resonancia.

Aunque resulta imposible de reflejar en esta revisión, se están produciendo continuos avances en otros campos de la enfermedad cardiovascular; valoración de la repercusión de las estenosis de las venas pulmonares tras radiofrecuencia<sup>35</sup>, caracterización de la placa aterosclerótica, así como análisis de la regresión de la placa con tratamiento hipolipemiente<sup>36-38</sup>, nuevos agentes de contraste para imagen de RM molecular con la finalidad de detectar trombosis y embolismo<sup>39</sup>, y RM para guiar el tratamiento intramiocárdico<sup>40,41</sup>.

La CRM continúa su rápida progresión como test diagnóstico no invasivo, con una importante aportación en la mayoría de las enfermedades cardiovasculares, lo que la está haciendo imprescindible en nuestra actuación clínica diaria.

### BIBLIOGRAFÍA

- Bergeron S, Ommen SR, Bailey KR, Oh JK, McCully RB, Pellikka PA. Exercise echocardiography findings and outcome of patients referred for evaluation of dyspnea. *J Am Coll Cardiol.* 2004; 43:2242-6.
- Falcone RA, Nass C, Jermyn R, Hale CM, Stierer T, Jones CE, et al. The value of preoperative pharmacologic stress testing before vascular surgery using ACC/AHA guidelines: a prospective, randomized trial. *J Cardiothoracic Vasc Anesth.* 2003;17:694-8.
- Reis G, Motta MS, Barbosa MM, Esteves WA, Souza SF, Bocchi EA. Dobutamine stress echocardiography for non-invasive assessment and risk stratification of patients with rheumatic mitral stenosis. *J Am Coll Cardiol.* 2004;43:393-401.
- Malm S, Frigstad S, Sagberg E, Larsson H, Skjaerpe T. Accurate and reproducible measurement of left ventricular volume and ejection fraction by contrast echocardiography: a comparison with magnetic resonance imaging. *J Am Coll Cardiol.* 2004;44: 1030-5.
- Kirkparick J, Wong T, Bednarz J, Spencer KT, Sugeng L, Ward RR, et al. Differential diagnosis of cardiac masses using contrast echocardiographic perfusion imaging. *J Am Coll Cardiol.* 2004; 43:1412-9.
- Elhendy A, O'Leary E, Xie F, McGrain A, Anderson J, Porter T. Comparative accuracy of real time myocardial contrast perfusion imaging and wall motion analysis during dobutamine stress echocardiography for the diagnosis of coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol.* 2004;44:2185-91.
- Dawson D, Rinkevich D, Belcik T, Jayaweera AR, Rafter P, Kaul S, et al. Measurement of myocardial blood flow velocity reserve with myocardial contrast echocardiography in patients with suspected coronary artery disease: comparison with quantitative gated technecium 99m sestamibi single photon emission computed tomography. *J Am Soc Echocardiogr.* 2003;16:1171-7.

8. Hickman M, Jeetley P, Senior R. Usefulness of myocardial contrast echocardiography derived coronary flow reserve to accurately determine severity of left descending coronary artery stenosis. *Am J Cardiol.* 2004;93:1159-62.
9. Bekeredjian R, Grayburn PA, Shohet RV. Use of ultrasound contrast agents for gene or drug delivery in cardiovascular medicine. *J Am Coll Cardiol.* 2005;45:329-35.
10. Tsutsui JM, Grayburn PA, Xie F, Porter TR. Drug and gene delivery end enhancement of thrombolysis using ultrasound and microbubbles. *Cardiol Clin.* 2004;22:299-312.
11. Skyba DM, Price RJ, Linka AZ, Skalak TC, Kaul S. Direct in vivo visualization of intravascular destruction of microbubbles by ultrasound and its local effects on tissue. *Circulation.* 1998;98:290-3.
12. Meissner I, Khandheria BK, Sheps SG, Schwartz GL, Wiebers DO, Whisnant JP, et al. Atherosclerosis of the aorta: risk factor. Risk marker or innocent bystander? *J Am Coll Cardiol.* 2004;44:1018-24.
13. Jenkins C, Bricknell K, Hanekom L, Marwick TH. Measurements of left ventricular parameters using real time three-dimensional echocardiography. *J Am Coll Cardiol.* 2004;44:876-86.
14. Sukmawan R, Akasaka T, Watanabe N, Akiyama M, Wada N, Taniguchi M, et al. Quantitative assessment of right ventricular geometric remodelling in pulmonary hypertension secondary to left-sided heart disease using real-time three-dimensional echocardiography. *Am J Cardiol.* 2004;94:1096-9.
15. Kawai J, Tanabe K, Wang CL, Tani T, Yagi T, Shiotani H, et al. Comparison of left atrial size by freehand scanning three-dimensional echocardiography and two-dimensional echocardiography. *Eur J Echocardiogr.* 2004;5:18-24.
16. Acar P. Three-dimensional echocardiography in children with atrial septal defect. *Minerva Pediatr.* 2004;56:29-40.
17. Qin JX, Shiota T, Asher CR, Smerida NG, Shin JH, Agler DA, et al. Usefulness of real-time three-dimensional echocardiography for evaluation of myectomy in patients with hypertrophic cardiomyopathy. *Am J Cardiol.* 2004;94:964-6.
18. Zamorano J, Cordeiro P, Sugeng L, Perez de Isla L, Winert L, Macaya C, et al. Real-time three-dimensional echocardiography for rheumatic mitral valve stenosis evaluation. *J Am Coll Cardiol.* 2004;43:2091-6.
19. Macnab A, Jenkins NP, Ewington I, Bridgewater BJ, Hooper TL, Greenhalgh DL, et al. A method for the morphological analysis of the regurgitant mitral valve using three-dimensional echocardiography. *Heart.* 2004;90:771-6.
20. Paetsch I, Jahnke C, Wahl A, Gebker R, Neuss M, Fleck E, et al. Comparison of dobutamine stress magnetic resonance, adenosine stress magnetic resonance, and adenosine stress magnetic resonance perfusion. *Circulation.* 2004;110:835-42.
21. Wahl A, Paetsch I, Gollersch A, Roethemeyer S, Foell D, Gebker R, et al. Safety and feasibility of high-dose dobutamine-atropine stress cardiovascular magnetic resonance for diagnosis of myocardial ischaemia: experience in 1000 consecutive cases. *Eur Heart J.* 2004;25:1230-6.
22. Abdel-Aty H, Zagrosek A, Schulz-Menger J, Taylor AJ, Messroghli D, Kumar A, et al. Delayed enhancement and T2-weighted cardiovascular magnetic resonance imaging differentiate acute from chronic myocardial infarction. *Circulation.* 2004;109:2411-6.
23. Ingkanisorn WP, Rhoads KL, Aletras AH, Kellman P, Arai AE. Gadolinium delayed enhancement cardiovascular magnetic resonance correlates with clinical measures of myocardial infarction. *J Am Coll Cardiol.* 2004;43:2253-9.
24. Ichikawa Y, Sakuma H, Suzawa N, Kitagawa K, Makino K, Hirano T, et al. Late gadolinium-enhanced magnetic resonance imaging in acute and chronic myocardial infarction. Improved prediction of regional myocardial contraction in the chronic state by measuring thickness of nonenhanced myocardium. *J Am Coll Cardiol.* 2005;45:901-9.
25. Selvanayagam JB, Kardos A, Francis JM, Wiesmann F, Petersen SE, Taggart DP, et al. Value of delayed-enhancement cardiovascular magnetic resonance imaging in predicting myocardial viability after surgical revascularization. *Circulation.* 2004;110:1535-41.
26. Selvanayagam JB, Porto I, Channon K, Petersen SE, Francis JM, Neubauer S, et al. Troponin elevation after percutaneous coronary intervention directly represents the extent of irreversible myocardial injury: insights from cardiovascular magnetic resonance imaging. *Circulation.* 2005;111:1027-32.
27. McCrohon JA, Moon JC, Prasad SK, McKenna WJ, Lorenz CH, Coats AJ, et al. Differentiation of heart failure related to dilated cardiomyopathy and coronary artery disease using gadolinium-enhanced cardiovascular magnetic resonance. *Circulation.* 2003;108:54-9.
28. 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.
29. Mahrholdt H, Goedecke C, Wagner A, Meinhardt G, Athanasiadis A, Vogelsberg H, et al. Cardiovascular magnetic resonance assessment of human myocarditis: a comparison to histology and molecular pathology. *Circulation.* 2004;109:1250-8.
30. Moon JC, McKenna WJ, McCrohon JA, Elliott PM, Smith GC, Pennell DJ. Toward clinical risk assessment in hypertrophic cardiomyopathy with gadolinium cardiovascular magnetic resonance. *J Am Coll Cardiol.* 2003;41:1561-7.
31. Moon JC, Reed E, Sheppard MN, Elkington AG, Ho SY, Burke M, et al. The histologic basis of late gadolinium enhancement cardiovascular magnetic resonance in hypertrophic cardiomyopathy. *J Am Coll Cardiol.* 2004;43:2260-4.
32. Danias PG, Roussakis A, Ioannidis JP. Diagnostic performance of coronary magnetic resonance angiography as compared against conventional X-ray angiography: a meta-analysis. *J Am Coll Cardiol.* 2004;44:1867-76.
33. Kefer J, Coche E, Legros G, Pasquet A, Grandin C, Van Beers BE, et al. Head-to-head comparison of three-dimensional navigator-gated magnetic resonance imaging and 16-slice computed tomography to detect coronary artery stenosis in patients. *J Am Coll Cardiol.* 2005;46:92-100.
34. Martin ET, Coman JA, Shellock FG, Pulling CC, Fair R, Jenkins K. Magnetic resonance imaging and cardiac pacemaker safety at 1.5-Tesla. *J Am Coll Cardiol.* 2004;43:1315-24.
35. Arentz T, Weber R, Jander N, Burkle G, Von Rosenthal J, Blum T, et al. Pulmonary haemodynamics at rest and during exercise in patients with significant pulmonary vein stenosis after radiofrequency catheter ablation for drug resistant atrial fibrillation. *Eur Heart J.* 2005;26:1410-4.
36. Pulido MA, Angiolillo DJ, Costa MA. Imaging of atherosclerotic plaque. *Int J Cardiovasc Imaging.* 2004;20:553-9.
37. Kramer CM, Cerilli LA, Hagspiel K, DiMaria JM, Epstein FH, Kern JA. Magnetic resonance imaging identifies the fibrous cap in atherosclerotic abdominal aortic aneurysm. *Circulation.* 2004;109:1016-21.
38. Corti R, Fuster V, Fayad ZA, Worthley SG, Helft G, Chaplin WF, et al. Effects of aggressive versus conventional lipid-lowering therapy by simvastatin on human atherosclerotic lesions: a prospective, randomized, double-blind trial with high-resolution magnetic resonance imaging. *J Am Coll Cardiol.* 2005;46:106-12.
39. Spuentrup E, Buecker A, Katoh M, Wiethoff AJ, Parsons EC Jr, Botnar RM, et al. Molecular magnetic resonance imaging of coronary thrombosis and pulmonary emboli with a novel fibrin-targeted contrast agent. *Circulation.* 2005;111:1377-82.
40. Saeed M, Saloner D, Weber O, Martin A, Henk C, Higgins C. MRI in guiding and assessing intramyocardial therapy. *Eur Radiol.* 2005;15:851-63.
41. Corti R, Badimon J, Mizsei G, Macaluso F, Lee M, Licato P, et al. Real time magnetic resonance guided endomyocardial local delivery. *Heart.* 2005;91:348-53.