

Técnicas de imagen en la insuficiencia cardiaca

Luis Martínez Dolz y Luis Almenar Bonet

Unidad de Insuficiencia Cardiaca y Trasplante. Servicio de Cardiología. Hospital Universitario La Fe. Valencia. España.

Las técnicas de imagen desempeñan en la práctica clínica un extraordinario papel, no sólo en el diagnóstico, sino en la valoración pronóstica y en la evaluación del tratamiento de los pacientes con insuficiencia cardiaca. Al desarrollo en los últimos años de técnicas clásicas como la ecocardiografía, la cardiología nuclear y la tomografía computarizada se han sumado la rápida implantación y utilización creciente de la resonancia magnética en el ámbito de la cardiología. Esta amplia oferta de técnicas de imagen hace recomendable un mayor conocimiento de su rendimiento, sus ventajas y sus inconvenientes, que nos permita realizar una selección más apropiada en el estudio de este síndrome clínico. Se revisan en este artículo la utilidad y las indicaciones de las diferentes técnicas de imagen en el manejo clínico de los pacientes con insuficiencia cardiaca.

Palabras clave: *Imagen. Insuficiencia cardiaca.*

Imaging Techniques in Heart Failure

Imaging techniques play a vital clinical role in patients with heart failure, not only in diagnosis, but also in determining prognosis and evaluating treatment. The more established imaging modalities of echocardiography, nuclear cardiology and computerized tomography, which have been developed in recent years, have been supplemented by nuclear magnetic resonance imaging, a technique that is being rapidly introduced and increasingly used in the field of cardiology. The wide range of imaging techniques available makes it advisable for us to improve our knowledge of their performance, benefits and drawbacks so that we can select the most appropriate techniques for studying this clinical syndrome. This article contains a review of the usefulness of and indications for the different imaging techniques used in managing patients with heart failure.

Key words: *Heart failure. Imaging.*

INTRODUCCIÓN

Las técnicas de imagen desempeñan en la práctica clínica un extraordinario papel, tanto en el diagnóstico como en la valoración pronóstica y en la evaluación del tratamiento de los pacientes con insuficiencia cardiaca. En los últimos años se ha producido un marcado desarrollo de las técnicas de imagen de uso común en cardiología, especialmente en el ámbito de una enfermedad de prevalencia progresivamente creciente como es la insuficiencia cardiaca. Esta amplia oferta de técnicas de imagen hace recomendable un mayor conocimiento de su rendimiento, ventajas e inconvenientes, que nos permita realizar una selección más apropiada en el estudio de este síndrome clínico. De este modo, se revisan en este artículo la utilidad y las indicaciones de las diferentes técnicas de imagen en el tratamiento de los pacientes con insuficiencia cardiaca.

ELECTROCARDIOGRAMA

Tras la valoración clínica inicial de los pacientes con insuficiencia cardiaca, en las pruebas a realizar en primera instancia se deben incluir un electrocardiograma (ECG), una radiografía de tórax, una analítica y un ecocardiograma.

El ECG ofrece una importante información diagnóstica y pronóstica en el contexto de la insuficiencia cardiaca^{1,2}. Un ECG normal excluye virtualmente la disfunción sistólica del ventrículo izquierdo (VI) con una sensibilidad del 94% y un valor predictivo negativo del 98%. Por el contrario, un ECG patológico no es buen predictor de baja fracción de eyección, con una especificidad del 61% y un valor predictivo positivo del 35%^{3,4}. En cualquier caso, la presencia de bloqueo de rama izquierda del haz de His (BRIHH) suele traducir la presencia de una alteración miocárdica avanzada y obliga a descartar una cardiopatía estructural. Por otro lado, la presencia de un ECG estrictamente normal es infrecuente y obliga a replantear el diagnóstico de insuficiencia cardiaca.

El ECG permite descartar alteraciones de la frecuencia cardiaca (la taquicardia se asocia con un peor pronóstico), del ritmo (fibrilación auricular) y de la conducción (los pacientes con bloqueo de rama iz-

Correspondencia: Dr. L. Martínez Dolz.
Cavanilles, 26-11. 46010 Valencia. España.
Correo electrónico: lmartinezd@meditex.es

ABREVIATURAS

BRIHH: bloqueo de rama izquierda del haz de His.
DAVD: displasia arritmogénica de ventrículo derecho.
ECG: electrocardiograma.
ECM: ecocardiografía de contraste miocárdico.
ETE: ecocardiografía transesofágica.
FE: fracción de eyección.
IC: insuficiencia cardiaca.
MCD: miocardiopatía dilatada.
MCH: miocardiopatía hipertrófica.
PET: tomografía por emisión de positrones.
RM: resonancia magnética.
SPECT: tomografía por emisión de fotón único.
TC: tomografía computarizada.
TRC: terapia de resincronización cardiaca.
VD: ventrículo derecho.
VI: ventrículo izquierdo.

quierda tienen peor función sistólica y peor pronóstico). También pueden detectarse hipertrofia, ondas Q (que apoyan el origen isquémico de la insuficiencia cardiaca) y alteraciones de la repolarización (por sobrecarga, trastornos electrolíticos, efectos farmacológicos o isquemia).

Insuficiencia cardiaca con disfunción sistólica

Diferentes estudios han puesto de manifiesto que los pacientes con insuficiencia cardiaca crónica y disfunción sistólica presentan alteraciones en el ECG en el 80-100% de los casos⁵, de entre las que destacan: fibrilación auricular, bloqueo de rama (se estima que un tercio de los pacientes con insuficiencia cardiaca sistólica tiene un complejo QRS > 120 ms, generalmente por BRIHH)³, hipertrofia, ondas Q, desviación izquierda del QRS o trastornos de la repolarización. Globalmente, el ECG tiene una sensibilidad muy alta para la detección de disfunción sistólica (94%), aunque su especificidad es sólo moderada (61%)^{3,4}.

Insuficiencia cardiaca con disfunción diastólica

En este contexto, es más habitual encontrar fibrilación auricular y menos trastornos en la conducción auriculoventricular e intraventricular⁶. La presencia combinada de sexo femenino, edad avanzada, fibrilación auricular y ausencia de trastorno en la conducción intraventricular (en especial bloqueo de rama izquierda) parece predecir la preservación de la función sistólica, y es habitual la presencia de criterios ECG de hipertrofia ventricular izquierda^{7,8}.

Valor pronóstico

Algunos autores han observado una relación lineal entre el grado de prolongación del QRS y el grado de disfunción de VI, con mayor mortalidad en los pacientes con más disfunción ventricular y mayor prolongación del QRS⁹⁻¹¹. Del mismo modo, hay datos que sugieren que el aumento en la duración del QRS en ECG seriados se correlaciona con una mayor mortalidad¹⁰.

Hay datos contradictorios en relación con la posibilidad de que el alargamiento del QT o la presencia de alternancia de la onda T puedan tener valor pronóstico¹².

Valoración de la terapia de resincronización

Con las evidencias disponibles en la actualidad, en pacientes con insuficiencia cardiaca avanzada en clase funcional III o IV a pesar de tratamiento médico óptimo y con un complejo QRS ancho, se debe considerar la terapia de resincronización cardiaca (TRC)^{13,14}. En la selección de pacientes se precisa necesariamente un ECG para demostrar el ensanchamiento del complejo QRS y un ecocardiograma para demostrar la dilatación y la disfunción sistólica del ventrículo izquierdo. Se ha observado que los pacientes con QRS muy anchos (> 150 ms) obtienen los mayores beneficios de la TRC y del tratamiento mixto con TRC y desfibrilador^{15,16}. En los últimos años se ha realizado un gran número de estudios que investigan parámetros ecocardiográficos que permitan evaluar de forma precisa el grado de asincronía mecánica, y es previsible que estos parámetros vayan a sustituir al ECG como criterios de selección, con lo que disminuiría el porcentaje de no respondedores.

RADIOGRAFÍA DE TÓRAX

La radiografía de tórax es una de las pruebas iniciales en la evaluación del paciente con insuficiencia cardiaca. La presencia de cardiomegalia apoya el diagnóstico de insuficiencia cardiaca, especialmente si se asocia con redistribución vascular (dilatación de las venas pulmonares de los campos superiores en bipedestación), aunque este hallazgo es una escasa guía de la presión capilar pulmonar (PCP) simultánea¹⁷⁻²⁰. El estudio de los campos pulmonares también puede mostrar la presencia de edema intersticial o alveolar o derrame pleural.

En ocasiones, sobre todo en pacientes con insuficiencia cardiaca de largo tiempo de evolución que están habituados a PCP crónicamente elevadas, hay un aumento del sistema de drenaje linfático, por lo que durante las descompensaciones agudas los signos radiológicos pueden no ser tan llamativos, a pesar del aumento de las presiones de llenado del VI²¹. Por otro

lado, la concordancia interobservador en la interpretación de congestión pulmonar en la radiografía de tórax es sólo modesta²² y la radiografía de tórax analizada aisladamente no permite la distinción fiable entre congestión de origen cardiaco o renal²³.

Todos estos signos radiológicos se suelen acompañar de un aumento del índice cardiorádico por encima del 50% o cardiomegalia, aunque su presencia depende de la cronicidad de la insuficiencia cardiaca. Puede estar ausente en los casos de insuficiencia cardiaca aguda, insuficiencia cardiaca diastólica o, a veces, rotación antihoraria del corazón dentro del tórax²⁴, pero un tamaño cardiaco normal asociado con evidencia clínica de insuficiencia cardiaca crónica indica que el diagnóstico debería ser cuidadosamente revisado. En cualquier caso, hay una escasa relación entre el tamaño del corazón, la radiografía de tórax y la función ventricular izquierda²⁵⁻²⁸.

La forma de la silueta cardiaca puede sugerir un diagnóstico específico, así como la presencia de calcificación valvular, miocárdica o pericárdica. Sin embargo, se requiere la ecocardiografía para diferenciar de forma fiable entre dilatación de cavidades cardiacas, hipertrofia y derrame pericárdico^{25,26}.

Por último, la radiografía de tórax es útil como ayuda en la exclusión de enfermedad pulmonar como causa de los síntomas.

ECOCARDIOGRAFÍA

La ecocardiografía es la prueba diagnóstica no invasiva más útil en los pacientes con insuficiencia cardiaca, debido a su capacidad para:

1. Confirmar el diagnóstico de cardiopatía.
2. Determinar la etiología de la insuficiencia cardiaca en muchos casos, permitiendo el diagnóstico de las valvulopatías, las enfermedades del pericardio, los patrones típicos de la afección del miocardio (miocardiopatía dilatada, isquémica, hipertrófica o restrictiva) y las malformaciones congénitas.
3. Aportar una importante información pronóstica, en función de la severidad de las alteraciones de la función sistólica, diastólica, diámetros ventriculares o alteraciones de los flujos valvulares.
4. Aportar información sobre otros datos con implicaciones terapéuticas, como presencia de trombos, defectos con posibilidad de corrección quirúrgica o hipertensión pulmonar. Además, se trata de una exploración inocua, cómoda y fácilmente repetible para el control evolutivo del proceso.

Se han realizado numerosos estudios para evaluar el valor pronóstico de los índices ecocardiográficos de tamaño y función cardiacos en los pacientes con insuficiencia cardiaca independientemente de su etiología. Estas medidas ecocardiográficas con documentado va-

TABLA 1. Determinaciones sistemáticas por ecocardiografía Doppler en la insuficiencia cardiaca

1. Dimensiones telesistólica-telediastólica y grosor de las paredes de VI
2. Fracción de eyección o descripción de la función sistólica de VI
3. Descripción de anomalías de la contractilidad segmentaria de VI
4. Descripción del tamaño y función de VD
5. Inspección de anomalías estructurales en válvulas aórtica, mitral y tricúspide
6. Presencia y cuantificación de regurgitación valvular (mitral, aórtica, tricúspide y pulmonar)
7. Cuantificación de posible estenosis valvular mitral y/o aórtica
8. Presencia o ausencia de derrame pericárdico, cuantificación y repercusión hemodinámica
9. Estimación de la presión pulmonar mediante el análisis de la regurgitación tricuspídea
10. Presencia o ausencia de disfunción diastólica de VI
11. Presencia o ausencia de foramen oval permeable
12. Dimensión de aurícula izquierda y vena cava inferior

VI: ventrículo izquierdo; VD: ventrículo derecho.

Modificado de Radford et al. Chronic Heart Failure in the Adult: ACC/AHA Clinical Data Standards, J Am Coll Cardiol. 2005;46:1179-207.

lor pronóstico en los pacientes con insuficiencia cardiaca son: la función sistólica del VI, la función sistólica del ventrículo derecho (VD), la función diastólica del VI, el tamaño del VI, el tamaño del VD, el tamaño de la aurícula izquierda (AI), la severidad de la regurgitación mitral, la severidad de la regurgitación tricúspide, la presión sistólica del VD, la sincronía ventricular y las medidas de la reserva contráctil²⁹.

En la tabla 1 se exponen las mediciones ecocardiográficas que deben ser realizadas de forma sistemática en la insuficiencia cardiaca.

Por lo que respecta a la ecocardiografía transesofágica (ETE), esta exploración no está recomendada de forma sistemática en el contexto de la insuficiencia cardiaca crónica y sólo debería ser contemplada ante una mala ventana ultrasónica, en pacientes con enfermedad valvular compleja, sospecha de disfunción de prótesis mecánica mitral o cuando es obligado identificar o excluir un trombo en la orejuela izquierda¹⁴.

Función sistólica

La mayoría de los índices ecocardiográficos de función sistólica son dependientes de las condiciones de carga. Estas medidas incluyen la fracción de eyección (FE), el dP/dt y el volumen latido. Hay varias medidas de la función sistólica, relativamente nuevas en la práctica clínica, que son menos dependientes de las condiciones de carga, entre las que se encuentran: la elastancia (obtenida de la relación presión/volumen telesistólicos), las variaciones cíclicas del *backscatter* integrado, el acortamiento longitudinal sistólico del anillo mitral y el *strain* sistólico o la tasa de *strain* del VI³⁰⁻³².

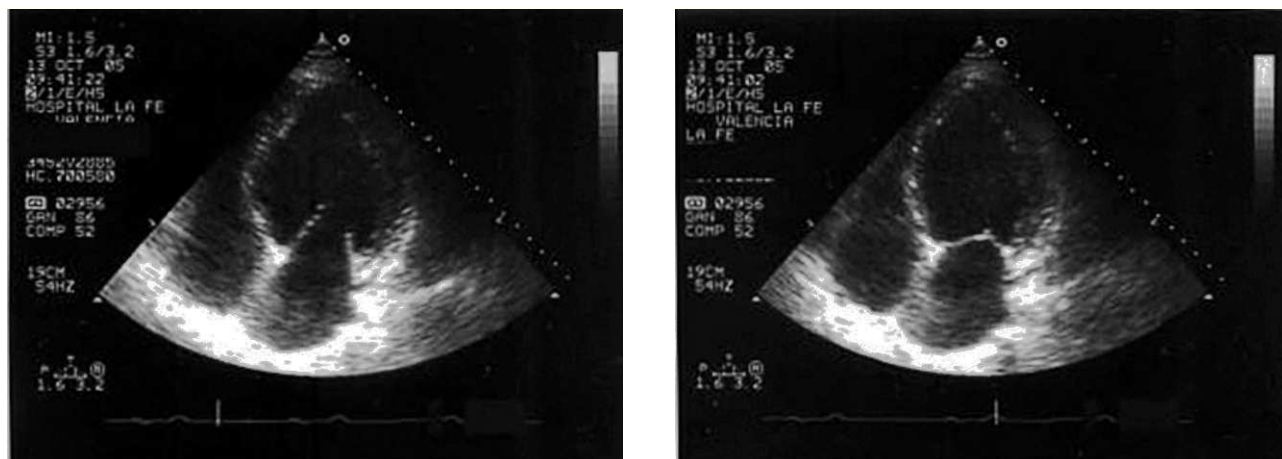


Fig. 1. Ecocardiografía bidimensional en paciente con miocardiopatía dilatada. Plano apical de 4 cavidades en telediástole (izquierda) y telesístole (derecha), en el que se aprecia un ventrículo izquierdo dilatado, con hipocinesia severa generalizada.

El *strain* miocárdico se mide utilizando datos obtenidos de las imágenes de Doppler color miocárdico y proporciona una cuantificación no invasiva de la deformación del miocardio. El *strain* y la tasa de *strain* (que representa la velocidad de deformación) son parámetros que se ven menos afectados por el movimiento cardíaco y la contractilidad segmentaria.

La reciente aparición de la ecocardiografía tridimensional en tiempo real ha mostrado que una de sus principales ventajas es el hecho de que los cálculos de la función ventricular no se basan en presunciones geométricas, lo que es especialmente importante en los ventrículos con alteraciones segmentarias de la contractilidad. Varios estudios han demostrado la superioridad de la eco-3D con respecto a la eco-2D en la valoración de la función ventricular izquierda. Hay también múltiples estudios que han comparado los valores de los volúmenes ventriculares, de la masa ventricular y de la FE por gammagrafía con isótopos radiactivos, resonancia magnética (RM) cardíaca y eco-3D, encontrándose valores muy similares³³⁻³⁹.

Pese a las limitaciones mencionadas, la medida ecocardiográfica más habitual de la función sistólica es la fracción de eyección. Hay numerosas aproximaciones para la medida de los volúmenes ventriculares, la mayoría basadas en presunciones acerca de la geometría del ventrículo; el método de Simpson es el más utilizado en la práctica clínica (fig. 1).

Función diastólica

Los perfiles obtenidos mediante el Doppler espectral del flujo transmitral y del flujo de venas pulmonares, así como el Doppler tisular del anillo mitral, permiten la identificación de patrones de alteración de la relajación ventricular y restricción al llenado (fig. 2). La velocidad Doppler anular mitral es un método relativamente nuevo para cuantificar el movimiento longi-

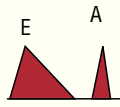
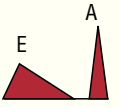
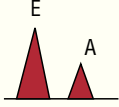
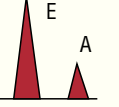
tudinal del ventrículo desde la base al ápex a lo largo del ciclo cardíaco. El cociente entre la velocidad E transmitral y la velocidad anular mitral E (E/Ea) obtiene una buena correlación con la presión auricular izquierda²⁹.

Mientras que las medidas iniciales del llenado y función diastólica por ecocardiografía demostraron su valor pronóstico en pacientes con síntomas de insuficiencia cardíaca y función sistólica preservada, estos índices también mantienen valor pronóstico incluso cuando la FE es baja³⁹. Estas medidas parecen tener valor añadido respecto a la FE y pueden incluso tener un valor pronóstico más potente. Así, en pacientes sintomáticos con insuficiencia cardíaca congestiva, un patrón de llenado del VI restrictivo, especialmente un tiempo de deceleración ≤ 140 ms, ha demostrado ser el mejor predictor individual de muerte cardíaca en pacientes con miocardiopatía isquémica y dilatada⁴⁰.

Regurgitación valvular

La presencia de regurgitación mitral y tricúspide es un hallazgo frecuente en el paciente con insuficiencia cardíaca. En algunos pacientes, estas sobrecargas de volumen, al igual que lo que ocurre con la insuficiencia aórtica, son la etiología de la miocardiopatía dilatada y pueden ser cuantificadas mediante ecocardiografía Doppler. Sin embargo, en los pacientes con miocardiopatía dilatada idiopática y miocardiopatía isquémica, la incompetencia de las válvulas auriculoventriculares es típicamente funcional y refleja la distorsión de la geometría de las cámaras, que desplazan los mecanismos de cierre valvulares y subvalvulares. Esta regurgitación mitral funcional es un marcador de remodelado adverso del VI y aumenta la esfericidad de la cámara, mientras que la regurgitación tricúspide funcional es un marcador de disfunción sistólica primaria del VD, de

Fig. 2. Patrones de llenado del ventrículo izquierdo por Doppler pulsado. E: velocidad máxima de la onda E; A: velocidad máxima de la onda A; TDE: tiempo de deceleración de la onda E (ms); TRIS: tiempo de relajación isovolumétrica (ms).

	Normal joven	Normal anciano	Alteración de la relajación	Seudonormal	Restrictivo
					
E/A	> 1	< 1	< 1	1-1,5	> 2
TDE	160-240	160-240	> 240	160-200	< 140-160
TRIS	70-90	70-90	> 90	< 90	< 70

dilatación del VD y de hipertensión pulmonar. Dado que el remodelado del VI y la hipertensión pulmonar tienen valor pronóstico en los pacientes con insuficiencia cardiaca, la presencia de regurgitación funcional mitral y tricúspide valorada por ecocardiografía también tiene valor pronóstico añadido^{41,42}.

Riesgo embólico

La valoración del riesgo embólico en pacientes con insuficiencia cardiaca y la indicación de tratamiento anticoagulante pueden ser realizadas gracias a una combinación de variables clínicas y hallazgos ecocardiográficos. De esta manera, la presencia de trombos intracardiacos, una aurícula izquierda dilatada, un VI dilatado, especialmente con zonas aneurismáticas y una función sistólica deprimida, así como la presencia de estenosis mitral, se han asociado con un mayor riesgo embólico⁴³⁻⁴⁹.

Isquemia-viabilidad miocárdica

La ecocardiografía de estrés ha demostrado ser una técnica eficaz en la detección de isquemia miocárdica inducible en pacientes con probabilidad pretest de cardiopatía isquémica intermedia o alta, con unas cifras de sensibilidad y especificidad para la ecocardiografía con dobutamina del 82 y el 84%, respectivamente⁵⁰. Aunque la tomografía por emisión de positrones (PET) se considera en la actualidad el patrón de referencia en el estudio de la perfusión, su utilidad clínica está limitada por la baja resolución espacial, por la necesidad de inyectar isótopos radiactivos y por no poder realizarla a la cabecera del paciente. La ecocardiografía de contraste miocárdico (ECM) se ha evaluado en múltiples estudios como una alternativa válida en el estudio de la perfusión miocárdica⁵¹⁻⁵³.

En pacientes portadores de cardiopatía isquémica crónica, la función miocárdica puede estar deteriorada debido a una necrosis miocárdica irreversible o como resultado de la «hibernación» del miocardio^{54,55}. Teniendo en cuenta que esta condición es potencialmente reversible, su identificación de una forma fiable tiene gran importancia en la práctica clínica, de forma que la revascularización del miocardio hibernado puede conducir a la recuperación funcional y a una clara mejoría pronóstica⁵⁶⁻⁵⁸. En pacientes con enfermedad multivaso y función de VI deprimida, la mejoría en la función regional del VI durante la ecocardiografía de estrés con dobutamina indica reserva contráctil y es predictiva de mejoría de la función ventricular después de la revascularización⁵⁹⁻⁶³. La presencia o ausencia de reserva contráctil mediante una ecocardiografía de estrés con bajas dosis de dobutamina tiene unos valores predictivos positivo y negativo del 83%.

La presencia de integridad microvascular en el estudio de contraste miocárdico con inyección de contraste intracoronario ha sido propuesta como un criterio predictivo de recuperación funcional después de la revascularización, con una sensibilidad ligeramente superior a la de la ecocardiografía de estrés con dobutamina, pero con una especificidad más baja. Muy recientemente, Shimoni et al⁶⁴ han estudiado la viabilidad en 20 pacientes con disfunción ventricular izquierda crónica antes de la revascularización con la ecocardiografía de contraste por vía intravenosa, con las técnicas de cuantificación del débito sanguíneo miocárdico. Con este parámetro, la sensibilidad y la especificidad fueron del 90 y el 61%, respectivamente, frente al 80 y el 54% con la ecocardiografía con dobutamina. Además, la ecocardiografía de contraste identificó la viabilidad en segmentos sin reserva contráctil en la ecocardiografía con dobutamina⁶⁴.



Fig. 3. Tomografía computarizada de coronarias en un paciente portador de trasplante cardíaco. Imágenes de coronaria derecha (izquierda) y coronaria izquierda (centro y derecha) en las que se aprecia ausencia de estenosis significativas.

Sincronía ventricular

La terapia de resincronización cardíaca mediante estimulación biventricular ha demostrado, en pacientes con fracción de eyección reducida, disincronía ventricular y clase funcional III-IV pese a tratamiento farmacológico óptimo, una mejoría en los síntomas, la capacidad de ejercicio, la reducción de las hospitalizaciones y la mortalidad⁶⁵⁻⁶⁹. El concepto eléctrico de asincronía, que hizo de la anchura del QRS el patrón clásico y único para la detección de la asincronía ventricular, ha sido superado. Así, las técnicas ecocardiográficas están adquiriendo un gran protagonismo en la valoración de la asincronía, en la identificación de factores predictores de respuesta y en la selección de candidatos, aspectos que se estudia en profundidad en otro capítulo de la monografía.

TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA

La tomografía computarizada (TC) con haz de electrones aparece en 1984 y es el único dispositivo de TC diseñado desde su inicio para el estudio cardíaco. Incrementos continuos o escalonados de la tabla del paciente con un haz de electrones permiten obtener imágenes a 50-100 ms (TC helicoidal) o el escaneo continuo (TC multicorte), con lo que se consiguen reconstrucciones de imágenes con un decalaje de 200 a 400 ms. Actualmente, los TC multicorte de última generación (64 cortes) proporcionan exámenes con una resolución temporal de 100 a 165 ms.

Las aplicaciones específicas de la TC en el contexto de la insuficiencia cardíaca son las siguientes:

TC cardíaca sin contraste para la evaluación del calcio en las coronarias

La cuantificación de la calcificación de las arterias coronarias se ha establecido como un procedimiento para estimar el grado de aterosclerosis. Así, se han esta-

blecido *scores* de calcificación que han proporcionado una valoración individualizada del riesgo cardiovascular de forma independiente y añadida a los factores clásicos de riesgo cardiovascular⁷⁰⁻⁷². Pese a que no se ha demostrado una correspondencia absoluta entre la calcificación coronaria y la presencia de una lesión obstructiva en un lugar específico, se ha observado que la puntuación del calcio de las arterias coronarias puede ser una prueba fiable para discriminar a los pacientes con miocardiopatías isquémicas de las no isquémicas⁷³.

TC de coronarias

La tortuosidad de los vasos y la limitada resolución temporal o espacial ocasionan una gran dificultad en el estudio coronariográfico mediante esta técnica. Sin embargo, diversos estudios han demostrado elevadas sensibilidad (74-92%) y especificidad (79-94%) en el diagnóstico de lesiones significativas (superiores al 50%) en las arterias coronarias epicárdicas principales con la utilización de una TC con haz de electrones y TC multicorte⁷⁴⁻⁷⁶ (fig. 3).

Evaluación de cardiopatías congénitas

La TC es una importante técnica para el diagnóstico o la evaluación de cardiopatías congénitas en niños y en adultos, aunque tanto la ecocardiografía como la RM son los procedimientos más comúnmente utilizados. La posibilidad de valorar una cardiopatía congénita con rapidez y sin sedación en la mayoría de los casos es de especial utilidad en niños⁷⁷. Sin embargo, requiere la exposición a radiación ionizante y la administración de contraste yodado.

Valoración de la estructura y la función cardíacas

La TC con haz de electrones fue validada inicialmente para la cuantificación de la función sistólica

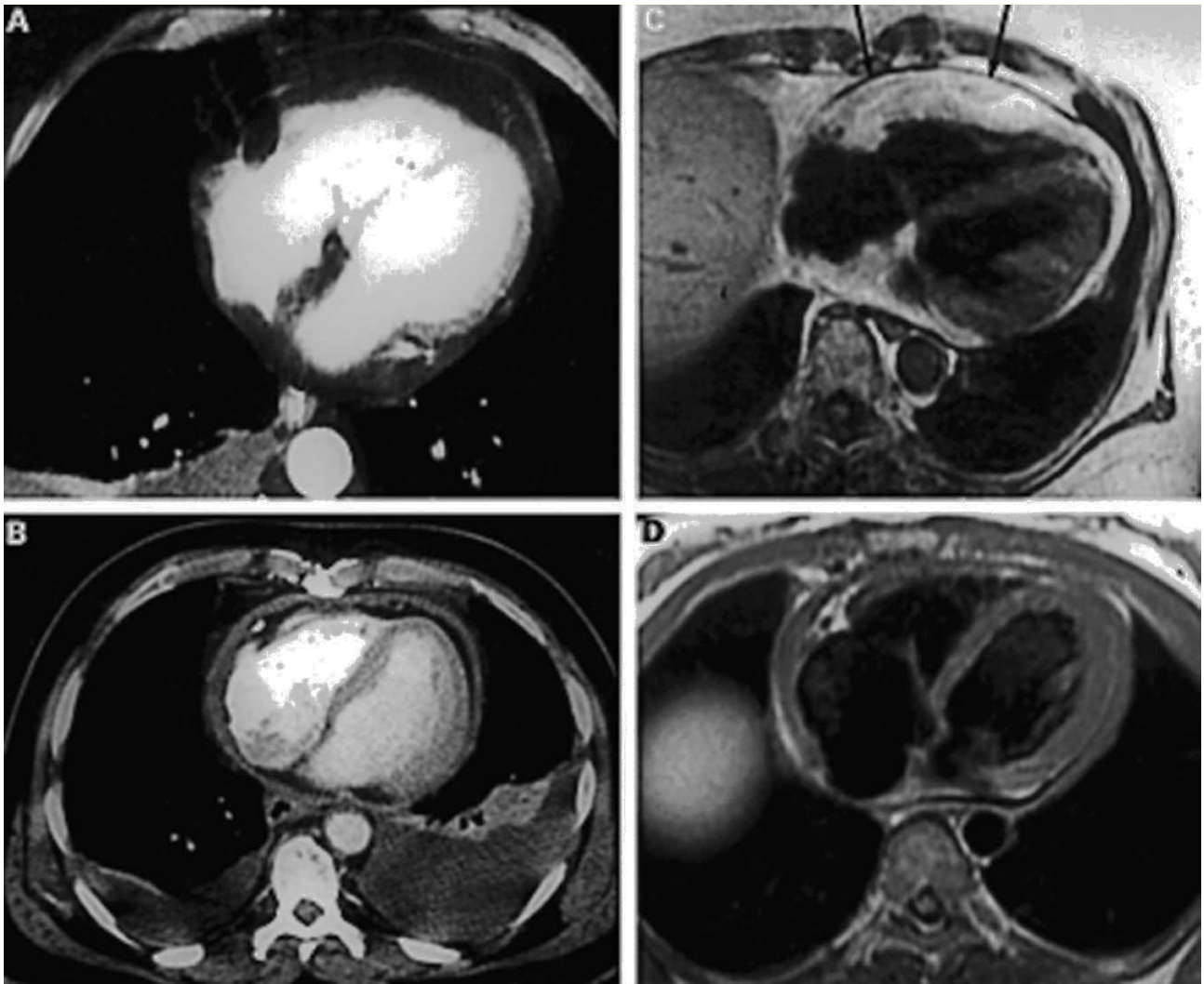


Fig. 4. Imágenes de pericardio normal y anómalo por tomografía computarizada (TC) y resonancia magnética (RM). A. Imagen de TC de pericardio normal. B. Imagen de TC de pericardio engrosado. C. Imagen de RM de pericardio de grosor normal (flechas). D. RM de pericardio engrosado. Tomado de Breen JF. *J Thorac Imaging*. 2001;16:47-54.

(global y regional) y diastólica del VI y el VD, y su eficacia ha sido similar a la de otros métodos.

La TC se ha mostrado eficaz en la medida de la masa, los volúmenes y la fracción de eyección de VI y VD^{78,79}, y se ha utilizado para cuantificar la calcificación de la válvula mitral y aórtica⁸⁰. Sin embargo, es inferior a la ecocardiografía y la RM en la valoración de la función valvular.

Valoración de la enfermedad pericárdica

La TC proporciona una visualización clara del pericardio en la mayoría de los pacientes y tiene una especial utilidad en el diagnóstico de la pericarditis constrictiva, al permitir documentar el engrosamiento pericárdico, definido como un grosor mayor de 4 mm^{81,82} (fig. 4). La resolución de densidad de la TC la convierte en la técnica más sensible para la identifica-

ción de la calcificación pericárdica. Las calcificaciones extensas del pericardio sugieren, aunque no demuestran, la presencia de constrictión pericárdica. La TC es igualmente útil en el diagnóstico y la cuantificación del derrame pericárdico, de las anomalías congénitas (como la ausencia de pericardio) y del quiste pericárdico^{81,82}.

Dispositivos híbridos TC-nuclear

Las técnicas de imagen duales ofrecen la oportunidad de utilizar en un único dispositivo el equipamiento necesario para evaluar con diferentes propósitos, como la determinación de la perfusión, la función y el metabolismo (PET-SPECT) o la calcificación coronaria y la TC de coronarias. Así, las combinaciones SPECT-TC o PET-TC pueden proporcionar una valoración simultánea de la anatomía coronaria junto con imágenes de

perfusión. La imagen funcional (PET o SPECT) combinada con la imagen anatómica (TC calcio o TC de coronarias) también podría ofrecer mayor información pronóstica, aunque esto no se ha demostrado todavía.

MEDICINA NUCLEAR

Durante esta última década se han producido dos hechos fundamentales en la cardiología nuclear: la incorporación de la tomografía por emisión de fotón único (SPECT) y la sincronización de ésta al ECG (*gated-SPECT*). Estas técnicas han permitido mejorar significativamente la resolución espacial y temporal de las imágenes, y valorar en una única exploración la perfusión miocárdica y la función ventricular.

Se va a analizar de forma sistemática el papel de la cardiología nuclear en la valoración diagnóstica, pronóstica y terapéutica de la insuficiencia cardiaca.

Valoración de la disfunción sistólica del ventrículo izquierdo

La ventriculografía con isótopos radiactivos puede ser utilizada para la estimación cuantitativa de volúmenes absolutos y el cálculo de la fracción de eyección de VI y VD. La ventriculografía puede realizarse tanto en reposo como durante ejercicio-estrés, y el radionúclido de más amplio uso es el ^{99m}Tc , dado que su vida media prolongada permite la adquisición seriada de los datos en reposo y durante el ejercicio. Una de las ventajas de la ventriculografía con isótopos radiactivos es que la estimación cuantitativa de los volúmenes y la FE no dependen de presunciones matemáticas de la geometría ventricular, por lo que estas determinaciones se pueden obtener en prácticamente el 100% de los pacientes (fig. 5). Los resultados obtenidos son comparables a los de la ventriculografía de contraste⁸³, la ecocardiografía⁸⁴⁻⁸⁶ y la RM⁸⁷⁻⁸⁹.

También es posible la cuantificación de la contractilidad regional mediante la determinación del movimiento de la pared ventricular y el engrosamiento sistólico, sobre la base del desplazamiento de los bordes ventriculares a lo largo del ciclo cardiaco y al incremento de cuentas por píxel detectado en los radios trazados desde el centro de la cavidad ventricular^{90,91}.

Valoración de la disfunción diastólica del ventrículo izquierdo

Mediante el uso de *software* específicos es posible analizar la tasa de cambio de las cuentas por píxel detectado en diástole para calcular los índices de llenado diastólico, como la tasa de llenado pico, el tiempo de llenado pico y la contribución auricular al llenado de VI⁹². Sin embargo, todavía no se han definido criterios ajustados por edad y sexo, basados en grandes estu-

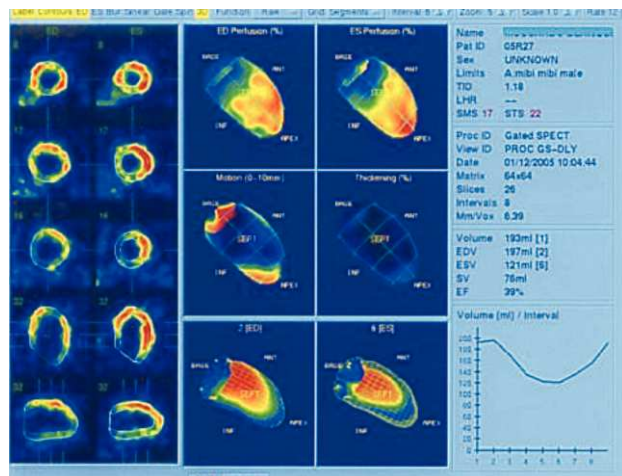


Fig. 5. *Gated-SPECT* de perfusión miocárdica con ^{99m}Tc -MIBI en paciente con miocardiopatía isquémica. A la izquierda, presentación de los cortes con defectos de perfusión segmentarios. En el centro, mapas polares en tres dimensiones y contornos endocárdicos. A la derecha, datos del estudio con volúmenes ventriculares, fracción de eyección (39%) y curva de volumen.

dios poblacionales, para definir la normalidad o anormalidad de la función diastólica mediante ventriculografía con isótopos radiactivos, a diferencia de lo que ocurre con los índices obtenidos mediante técnica Doppler⁹³, ampliamente validados en la práctica clínica.

Valoración de la cardiopatía isquémica subyacente

En 6 estudios publicados que examinan estudios de perfusión miocárdica mediante radionúclidos para la detección de enfermedad coronaria en pacientes con insuficiencia cardiaca y disfunción de VI, la sensibilidad fue del 100% en todos los estudios⁹⁴⁻⁹⁹. Ello se basa en la capacidad de detección de múltiples o extensos infartos previos (con el consecuente remodelado), o la combinación de infartos menos extensos acompañados de un importante grado de isquemia inducible y/o hibernación. La especificidad de las técnicas de perfusión para la detección de enfermedad coronaria es modesta y se sitúa en torno a un 40-50%. Los frecuentes estudios falsos positivos son debidos a anomalías de la perfusión en un número significativo de pacientes con miocardiopatía no isquémica. Estudios patológicos¹⁰⁰, así como estudios con coronariografía en pacientes con miocardiopatía^{101,102}, han demostrado la presencia de fibrosis miocárdica significativa en algunos pacientes, así como disminución en la capacidad de reserva del flujo coronario a un estrés hiperémico, que serían la causa de defectos de perfusión tanto fijos como reversibles.

Aunque la presencia de alguna anomalía en la perfusión no tiene una elevada especificidad para la en-

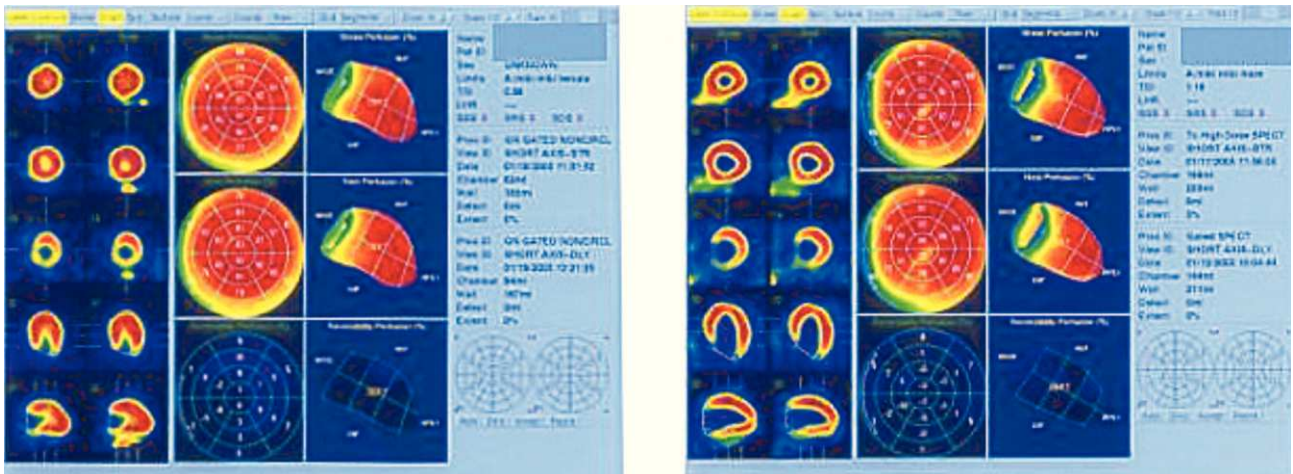


Fig. 6. Gated-SPECT de perfusión miocárdica con ^{99m}Tc -MIBI en miocardiopatía hipertrófica (izquierda) y dilatada (derecha). Imágenes en situación basal y tras estrés en las que no se aprecian defectos de perfusión significativos.

fermedad coronaria, el patrón de la anomalía de la perfusión puede ayudar a diferenciar entre la etiología isquémica y no isquémica de la insuficiencia cardiaca (fig. 6). Así, defectos de perfusión más extensos y/o más severos hacen más probable la etiología isquémica. Datos obtenidos mediante *gated*-SPECT con sestamibi han mostrado una completa discriminación entre pacientes con insuficiencia cardiaca de etiología isquémica y no isquémica al utilizar un *score* semicuantitativo del patrón de perfusión con estrés⁹⁸.

Valoración de viabilidad miocárdica

Los estados de disfunción de VI potencialmente reversible en el contexto de una miocardiopatía isquémica (por miocardio hibernado o aturdido) tienen en común la preservación de la integridad de la membrana celular y una actividad metabólica lo suficientemente preservada para mantener las funciones celulares, en ausencia de normal contractilidad del miocito. Dado que varios radionúclidos permiten identificar la integridad de la membrana celular y aspectos de actividad metabólica, la cardiología nuclear desempeña un importante papel en la valoración de viabilidad miocárdica y, por tanto, en la potencial identificación de pacientes con disfunción de VI y enfermedad coronaria que puedan beneficiarse de revascularización.

Hay en la actualidad un sustancial cuerpo de literatura médica en la evaluación de la capacidad de las diferentes técnicas con isótopos radiactivos para predecir mejoría en la función regional¹⁰³. Bax et al¹⁰⁴ encontraron que todas las técnicas con isótopos radiactivos y la ecocardiografía con dobutamina obtienen unos similares valores positivos y negativos para la predicción de mejoría en la contractilidad regional. Las técnicas con isótopos radiactivos con fotón único (talio 201 y sestamibi) parecen ser ligeramente más sensibles, mientras

que la PET y la eco-dobutamina parecen ser más específicas. Globalmente, las técnicas PET muestran una precisión ligeramente mayor, que se acompaña de una menor accesibilidad, una mayor complejidad técnica y un mayor coste.

Miocardiopatía dilatada secundaria a antraciclina

La administración de tratamiento con antraciclina puede producir una depresión de la función del VI dosis-dependiente, como consecuencia del efecto tóxico sobre los miocitos, en gran parte mediado por la liberación de radicales libres¹⁰⁵. La ventriculografía con isótopos radiactivos es una técnica no invasiva ideal para el control seriado de la función de VI en pacientes tratados con antraciclina. Se ha descrito la presencia combinada de 3 criterios como altamente predictiva para el desarrollo de insuficiencia cardiaca tras el inicio de tratamiento con doxorubicina: edad > 50 años, FE < 60% y reducción de la FE en el seguimiento a un valor $\leq 50\%$ ¹⁰⁶. Datos de varios estudios indican que el tratamiento con antraciclina es seguro si la FEVI en reposo permanece dentro del rango de la normalidad, pero una FE en el seguimiento < 50% junto con la persistencia del tratamiento se asocia con el desarrollo de disfunción de VI irreversible e insuficiencia cardiaca severa¹⁰⁵. Debido a la posibilidad de que aparezcan cambios de la función del VI, las ventriculografías con isótopos radiactivos seriadas se deben programar al menos 10-14 días después de la última dosis de doxorubicina¹⁰⁷.

Diagnóstico de miocarditis

Diversos estudios han demostrado la potencial capacidad de identificación de miocarditis mediante técnicas con isótopos radiactivos con galio (detección de

inflamación), anticuerpos antimiosina (detección de necrosis miocárdica)¹⁰⁸⁻¹¹⁰ y metayodobenzilguanidina (valoración de función neuroadrenérgica)¹¹⁰. La comparación de los resultados de la gammagrafía con los estándares histológicos y clínicos indica una alta sensibilidad de las imágenes con anticuerpos antimiosina para la detección de miocarditis (91-100%), así como un elevado valor predictivo negativo (93-100%). Sin embargo, la especificidad (31-44%) y el valor predictivo positivo (28-33%) son bajos¹¹¹. Por ello, la utilidad de las técnicas con isótopos radiactivos para la detección de miocarditis en el contexto de pacientes con insuficiencia cardiaca no está bien establecida y los datos que describen su utilización están basados en estudios no aleatorizados.

RESONANCIA MAGNÉTICA

La RM es una técnica consolidada en la práctica clínica para el diagnóstico y el tratamiento de un amplio espectro de enfermedades cardiovasculares.

Al igual que la ecocardiografía, la RM es segura y no interfiere con la cubierta de electrones incluidos en los enlaces químicos (por ejemplo en el ADN), que pueden verse alterados con las técnicas que emplean radiaciones ionizantes como la radiografía o la TC. De este modo, se trata de un procedimiento muy seguro para el paciente cardiovascular, sin que se haya descrito efectos adversos significativos a corto o largo plazo. Aspectos que se deben considerar en esta técnica son la claustrofobia, que llega a ser problemática en más del 2% de los pacientes, así como que el paciente lleve objetos ferromagnéticos que puedan convertirse en proyectiles al entrar en el área del *scanner*. Los implantes metálicos como prótesis de cadera, prótesis valvulares cardíacas, *stents* coronarios y suturas externas no suponen riesgo, ya que los materiales utilizados no son ferromagnéticos, aunque pueden originar artefactos en las imágenes obtenidas. Se requiere precaución en los pacientes con clips cerebrovasculares. En los pacientes portadores de marcapasos-DAI u otros implantes electrónicos como dispositivos de perfusión o monitorización no deberían realizarse RM, aunque se han descrito exploraciones exitosas de pacientes no marcapasos-dependiente que han sido monitorizados cuidadosamente durante el procedimiento y se ha interrogado al dispositivo antes y después de la RM^{112,113}.

A continuación se van a analizar las indicaciones clínicas de la RM en el contexto de la insuficiencia cardiaca.

Cardiopatía isquémica crónica: función regional y global, perfusión, viabilidad y coronariografía

Debido a la capacidad de obtención de imágenes en 3 dimensiones, alta resolución espacial y temporal

y su alta resolución de contraste, la RM se ha convertido en el estándar de referencia para la valoración cuantitativa de volúmenes de VI y VD, la FE, masa y función ventricular regional^{114,115}. Además, las técnicas de *tagging* son únicas entre todas las demás modalidades para la determinación del *strain* miocárdico como parámetro de medida de la contractilidad¹¹⁶.

La función regional se estudia de modo similar a la ecocardiografía, realizando una valoración visual del movimiento del endocardio y, especialmente, del engrosamiento sistólico de la pared¹¹⁷⁻¹¹⁹. Diversos estudios que han analizado estos parámetros han permitido relacionar el grado de necrosis transmural y la recuperación funcional en el contexto de infarto de miocardio agudo y crónico^{120,121}.

Aunque la realización de ejercicio físico en la exploración con RM es técnicamente difícil, hay una amplia experiencia en estudios con estrés farmacológico. La combinación en la utilización de un agonista betaadrenérgico (dobutamina) para la provocación de anomalías inducibles en la movilidad de la pared y un estrés vasodilatador (adenosina), junto con el primer paso de una pequeña dosis de gadolinio para la valoración de la perfusión miocárdica, ha demostrado ser eficaz para la detección de enfermedad coronaria. Los estudios de estrés con dobutamina han mostrado unos resultados superiores a los obtenidos con dipiridamol^{122,123}, así como superiores a los obtenidos por la eco-dobutamina^{124,125}, debido fundamentalmente a la mejor calidad de imagen. La utilización de métodos de *tagging* facilita la obtención de un incremento en la sensibilidad para el diagnóstico de enfermedad coronaria, dado que permiten un análisis objetivo que reduce la variabilidad interobservador¹²⁶. Globalmente, en estudios clínicos para la detección de enfermedad coronaria, los estudios de perfusión con RM han mostrado unos óptimos resultados en comparación con la coronariografía¹²⁷⁻¹²⁹, la PET¹²⁸ y la SPECT¹²⁷.

La RM ha demostrado ser una técnica eficaz en la valoración de la viabilidad miocárdica⁷⁷. La medida del engrosamiento sistólico de la pared miocárdica basal y/o tras dobutamina¹³⁰, así como la extensión (> o < 50%) de la zona de realce tardío tras la administración de gadolinio^{131,132}, permiten una elevada fiabilidad en la predicción de viabilidad miocárdica, su reproducibilidad es buena¹³³ y las comparaciones con el PET son excelentes¹³⁴, mostrándose superior a la SPECT con talio¹³⁵.

La utilización de la RM para la valoración de las arterias coronarias nativas se ha mostrado factible, especialmente para los segmentos proximales y medios de las arterias coronarias principales; sin embargo, no ocurre lo mismo para las ramas coronarias debido a su pequeño tamaño, tortuosidad, complejidad anatómica tridimensional y artefactos debidos a los movimientos cardíaco y respiratorio^{136,137}.

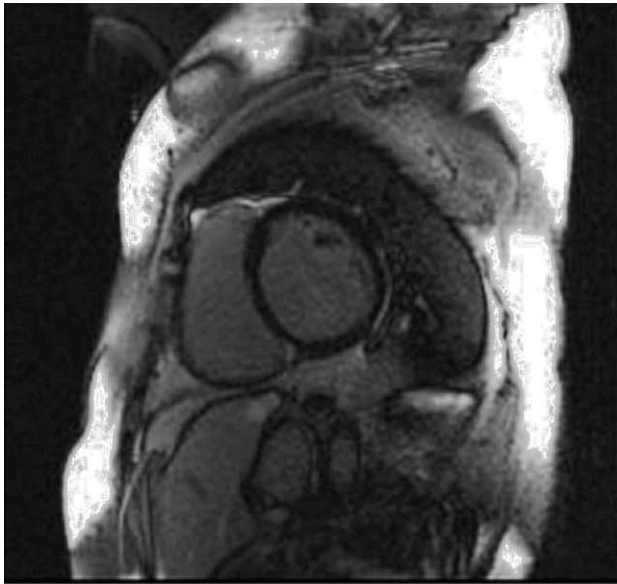


Fig. 7. Secuencias de viabilidad miocárdica mediante resonancia magnética. La imagen de la izquierda corresponde a una miocardiopatía dilatada idiopática en la que se aprecia ausencia de realce tardío con gadolinio. La imagen de la derecha corresponde a una miocardiopatía isquémica, y se observa un patrón de captación de gadolinio de predominio subendocárdico.

Miocardiopatías no isquémicas

Miocardiopatía hipertrófica

La ecocardiografía es la técnica de imagen más comúnmente utilizada para el estudio de la miocardiopatía hipertrófica (MCH). Sin embargo, la RM proporciona una precisa definición de la localización y la extensión de la hipertrofia, especialmente en el ápex del VI, que puede no ser adecuadamente valorado por la ecocardiografía y conduce a un infradiagnóstico de MCH apical¹³⁸. Además, la RM también permite el estudio de la función cardíaca y el gradiente dinámico del flujo en el tracto de salida^{139,140}. El realce tardío con gadolinio también se ha utilizado en la MCH para demostrar áreas de fibrosis¹⁴¹, relacionándose su extensión con el riesgo de muerte súbita y con el desarrollo de dilatación de VI e insuficiencia cardíaca¹⁴².

Miocardiopatía no compactante del ventrículo izquierdo

La RM se presenta como una técnica ideal para el diagnóstico de esta enfermedad, que muestra la característica trabeculación de la pared ventricular¹⁴³, aunque no hay grandes estudios comparativos con la ecocardiografía.

Miocardiopatía dilatada

Es conocida la utilidad de la RM en el control de los volúmenes ventriculares en la miocardiopatía dilatada y su mayor definición en el diagnóstico de dilatación del ventrículo derecho¹⁴⁴. Una ventaja de la RM sobre

la ecocardiografía es la utilización del realce tardío con gadolinio, que no muestra captación en la mayoría de los pacientes con miocardiopatía dilatada (MCD) (fig. 7). Esto confirmaría el diagnóstico y evitaría la realización de coronariografía^{145,146}. En algunos pacientes con MCD se observa realce tardío con gadolinio, pero sólo en la porción media del miocardio con un patrón habitualmente distinguible del observado en la cardiopatía isquémica (subendocárdico y/o transmural), y que se corresponde con fibrosis de la porción media de la pared observada en estudios *post mortem*.

Displasia arritmogénica del ventrículo derecho

La RM es una técnica ideal para definir las anomalías estructurales y funcionales del VD, y desempeña un importante papel en el estudio de la displasia arritmogénica del VD (DAVD)^{147,148}. Los criterios diagnósticos de la DAVD que es capaz de mostrar la RM incluyen: anomalías en la contractilidad regional del VD, incremento en los volúmenes de VD y su cuantificación, anomalías morfológicas (aneurismas, trabeculación) e incremento de la señal miocárdica que sugiere una infiltración grasa.

Hemocromatosis (miocardiopatía siderótica)

La miocardiopatía por depósito de hierro es una causa de insuficiencia cardíaca que frecuentemente pasa desapercibida, y que se observa en pacientes con hemocromatosis o en anemias severas que requieren transfusiones regulares desde el nacimiento; más del 70% de estos pacientes fallece por insuficiencia car-

diaca¹⁴⁹. Recientemente, la medida del T2 mediante RM ha permitido identificar los depósitos de hierro, y hay una clara relación entre la reducción del T2 miocárdico (< 20 ms) y el depósito de hierro con disfunción de VI¹⁵⁰. El T2 miocárdico aumenta con la recuperación de la función de VI de estos pacientes¹⁵¹, llegándose a utilizar esta técnica para evaluar la eficacia de diferentes tratamientos quelantes¹⁵².

Miocardiopatía restrictiva

La RM puede ser útil para definir las anomalías anatómicas y funcionales presentes en las miocardiopatías restrictivas-infiltrativas¹⁵³. La amiloidosis cardiaca puede ser reconocida por sus típicas alteraciones de la función diastólica y morfológicas, incluido el engrosamiento del septo interauricular¹⁵⁴. Otra contribución de la RM es la visualización del engrosamiento del pericardio, colaborando en el diagnóstico diferencial con constricción¹⁵⁵, aunque la TC puede tener similar eficacia en esta consideración.

Sarcoidosis cardiaca

Aunque la afección cardiaca en la sarcoidosis es infrecuente, la muerte súbita puede ser una forma de presentación clínica, por lo que su detección precoz tiene importancia clínica. Algunos trabajos ponen de manifiesto la utilidad de la RM en esta enfermedad^{156,157}. La utilización de realce con gadolinio muestra un incremento de la señal en los corazones afectados por sarcoidosis¹⁵⁸⁻¹⁶⁰, que se reduce con el tratamiento esteroideo y, por tanto, es un potencial marcador terapéutico^{158,160}.

Miocarditis

El diagnóstico clínico de miocarditis es difícil, dado que los síntomas son variables y frecuentemente inespecíficos. Además, la elevación enzimática y las alteraciones de la repolarización pueden orientar inicialmente el diagnóstico hacia un síndrome coronario agudo. La biopsia miocárdica, considerada como patrón de referencia diagnóstico, conlleva cierto riesgo y su valor es limitado por la afección parcheada del miocardio por el proceso inflamatorio. La RM muestra incrementos focales de la señal miocárdica con T2, junto con un realce precoz con gadolinio (1-2 min)¹⁶¹, y también con realce tardío¹⁶² (fig. 8). La captación de contraste suele presentarse de manera característica en forma de un patrón parcheado durante aproximadamente las primeras 2 semanas desde el evento agudo, y evoluciona de manera progresiva hacia un proceso más diseminado en períodos posteriores^{161,163}. Este patrón de captación es, además, fácilmente diferenciable del patrón subendocárdico de captación que se presenta en el infarto agudo de miocardio. Por otro lado, la presencia añadida de alteraciones de la contractilidad segmentaria en las zo-

nas de captación por cine-RM incrementa de manera considerable el grado de certeza diagnóstica¹⁶⁴.

Enfermedad pericárdica

Tanto la RM como la TC definen de una forma eficaz las anomalías anatómicas del pericardio, incluidos tanto el engrosamiento como la presencia de derrame pericárdico, y las alteraciones congénitas como quistes o ausencia de pericardio (fig. 4). Aunque la TC presenta la ventaja de la capacidad de identificación de calcio pericárdico, la RNM es capaz de representar y cuantificar las anomalías funcionales (mediante el mapeo de la velocidad de flujos en las cavas) que pueden asociarse con la enfermedad pericárdica, a la vez que permite demostrar signos fisiológicos de interdependencia ventricular con calcificación pericárdica¹⁶⁵. Sin embargo, en pacientes con insuficiencia cardiaca severa y en aquellos con fibrilación auricular escasamente controlada, la TC puede ser preferible a la RM debido a que el tiempo para la obtención de las imágenes es más corto y no se requiere ECG-gating.

Enfermedad valvular

La ecocardiografía sigue siendo la técnica de imagen de primera elección para la determinación sistemática de las anomalías de la estructura y del flujo valvular. Además, la ecografía transesofágica (ETE) es superior a la RM en la valoración de la morfología valvular y en la detección de pequeñas vegetaciones. Sin embargo, la RM puede desempeñar un papel complementario cuando la ventana transtorácica es inadecuada y la práctica de la ETE no es aconsejable, o cuando los resultados de la ecocardiografía y el cateterismo son discordantes. Por otro lado, la RM está empezando a ser utilizada en el tratamiento de los pacientes con lesiones regurgitantes en la estimación de la severidad y en la repercusión en los volúmenes ventriculares, la función y la masa miocárdica. También, la RM ha sido útil para la obtención de datos para la estimación de gradientes y áreas en la estenosis mitral y aórtica, con resultados que muestran una buena correlación con los obtenidos mediante cateterismo o ecocardiografía Doppler^{166,167}.

Por lo que respecta a los pacientes portadores de prótesis valvulares, la RM es una exploración segura¹⁶⁸. Sin embargo, se producen artefactos locales que pueden impedir la visualización de *jets* de menor tamaño secundarios a *leaks* paravalvulares.

Cardiopatías congénitas

La valoración de las cardiopatías congénitas fue una de las primeras indicaciones clínicas para el desarrollo de la RM, y su utilidad ha ido creciendo con el desarrollo de la tecnología en RM. Aunque la ecocardiografía

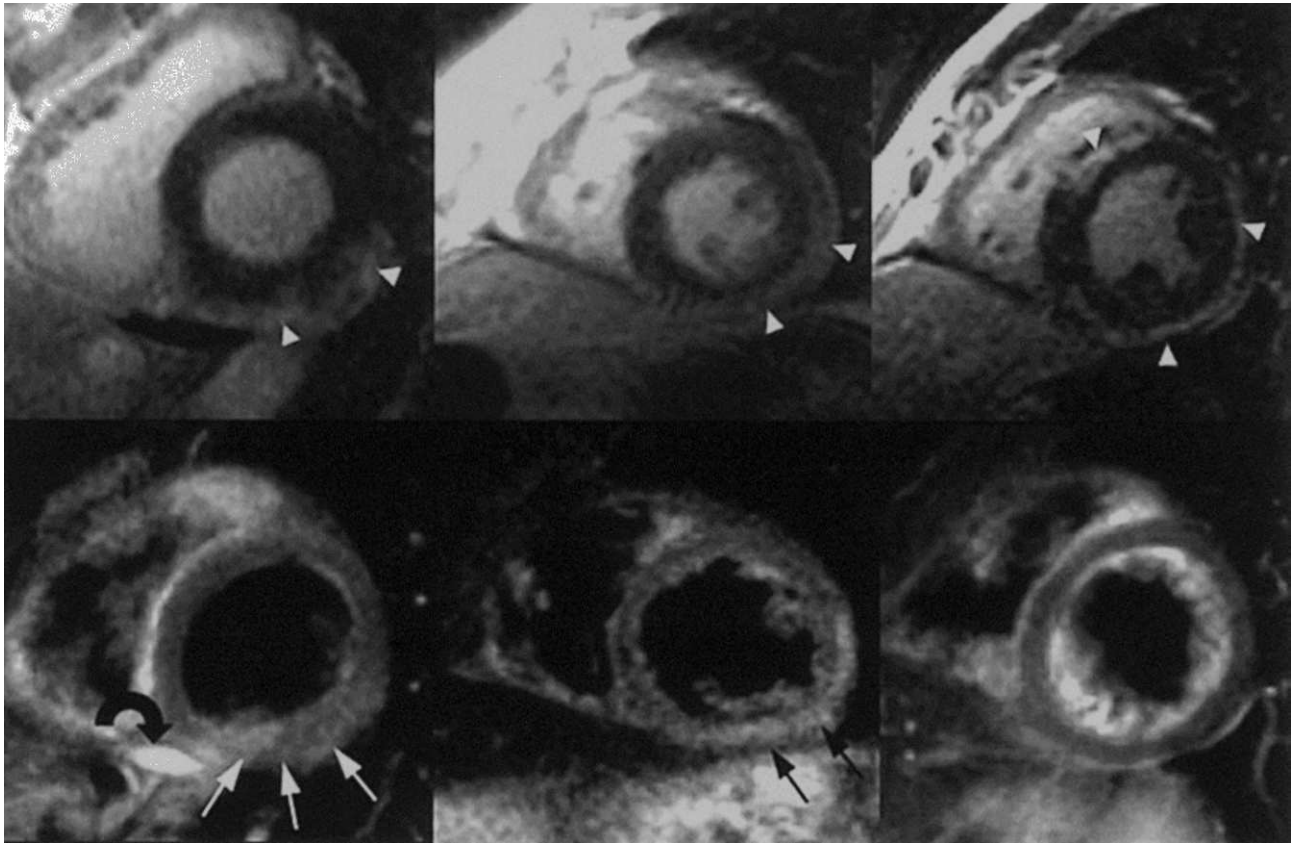


Fig. 8. Estudio con resonancia magnética de 3 pacientes con miocarditis (la imagen superior corresponde a realce tardío con gadolinio y la inferior, a estudio con T2 en el mismo paciente). Se aprecian zonas de mayor señal con T2 (flechas estrechas), que se suelen corresponder con áreas de realce tardío con gadolinio (puntas de flecha), de distribución preferentemente subepicárdica. Se observa, además, la existencia de un pequeño derrame pericárdico (flecha curvada) en uno de los pacientes. Tomado de Hassan Abdel-Aty. *J Am Coll Cardiol.* 2005;45:1815-22.

es a menudo la técnica de imagen inicial en la valoración de las cardiopatías congénitas, la RM puede proporcionar una valoración tridimensional eficaz de la estructura cardíaca y del flujo sanguíneo, especialmente útil para aquellos pacientes con mala ventana ultrasónica. Además, y especialmente en adultos, la RNM puede ser un mejor método para valoración de los grandes vasos y cardiopatías congénitas complejas^{169,170}.

CORONARIOGRAFÍA

La indicación de coronariografía en el contexto de la insuficiencia cardíaca es clara en todos los pacientes en los que hay datos clínicos que apoyan la presencia de isquemia como factor etiológico o desencadenante de insuficiencia cardíaca (angina, historia previa de cardiopatía isquémica), dado que una eventual revascularización puede cambiar de forma determinante tanto la situación clínica como el pronóstico de estos pacientes^{13,14}. Debido a que la revascularización está recomendada en pacientes con angina significativa, independientemente del grado de isquemia o viabilidad, los tests no invasivos tendrían poco papel en estos pacientes, por lo que se recomienda la realización directa

de coronariografía en los pacientes con angina y función del VI deprimida¹⁷¹.

Estudios observacionales han demostrado el efecto beneficioso de la revascularización en pacientes con función de VI deprimida, enfermedad coronaria y miocardio viable, pero no está claro cómo se debería identificar a estos pacientes, ya que la sensibilidad y la especificidad de un test de imagen anómalo no han sido validadas en pacientes con insuficiencia cardíaca¹⁷². De esta manera, se necesitan estudios adicionales para determinar si la posibilidad de isquemia miocárdica o viabilidad debería ser evaluada de forma sistemática para valorar la contribución de la enfermedad coronaria en pacientes con insuficiencia cardíaca y FEVI deprimida que no tienen angina^{50,77,173}.

Hasta un tercio de los pacientes con miocardiopatía no isquémica presenta dolor torácico que puede sugerir angina o ser de características atípicas. La coronariografía generalmente está recomendada en estas circunstancias para definir la presencia o ausencia de enfermedad coronaria significativa, incluso sin la realización previa de estudios no invasivos, dado que la presencia de estudios de perfusión anómalos y alteraciones de la contractilidad segmentaria en estudios no

invasivos es común en pacientes con miocardiopatía no isquémica.

En ausencia de angina o historia previa de enfermedad coronaria, sería razonable la realización de una coronariografía en pacientes jóvenes para excluir la presencia de anomalías coronarias congénitas. Por otro lado, el hecho de que la revascularización pueda tener un efecto favorable en la función ventricular ha conducido a muchos expertos a sugerir la necesidad de excluir la posibilidad de enfermedad coronaria, especialmente en pacientes con diabetes mellitus u otros estados asociados con la presencia de isquemia miocárdica silente.

Finalmente, la angiografía coronaria está indicada en pacientes con insuficiencia cardíaca refractaria de etiología desconocida y en pacientes con evidencia de regurgitación mitral severa o valvulopatía aórtica¹⁴.

CONCLUSIONES

La insuficiencia cardíaca es un problema de primera magnitud en las sociedades occidentales, tanto por su gran prevalencia como por las elevadas morbilidad y mortalidad que comporta. El desarrollo en los últimos años de las técnicas de imagen de uso común en cardiología ha proporcionado una amplia oferta de exploraciones para la valoración diagnóstica, pronóstica y terapéutica de los pacientes con insuficiencia cardíaca. Se hace necesario, por tanto, un mayor conocimiento del rendimiento de cada una de las técnicas para una optimización del tratamiento de los pacientes con este síndrome clínico.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos las imágenes facilitadas por la Unidad de Ecocardiografía, Servicio de Medicina Nuclear y Resonancia Magnética (Eresa) del Hospital Universitario La Fe de Valencia.

BIBLIOGRAFÍA

- Goldberger AL. A specific ECG triad associated with congestive heart failure. *Pacing Clin Electrophysiol.* 1982;5:593-9.
- Kelly J, Kelleher K. The electrocardiogram in heart failure. *Age Ageing.* 2000;29:203-6.
- Struthers AD. The diagnosis of heart failure. *Heart.* 2000;84:334-8.
- Davie AP, Francis CM, Love MP, Caruana L, Starkey JR, Shaw TR, et al. Value of the ECG in identifying heart failure due to LV systolic dysfunction. *BMJ.* 1996;312:222-9.
- Davie AP, Francis CM, Love MP, Caruana L, Starkey JR, Shaw TR, et al. Value of the electrocardiogram in identifying heart failure due to left ventricular systolic dysfunction. *BMJ.* 1996;312:222.
- Thomas JT, Kelly RF, Thomas SJ, Stamos TD, Albasha K, Parrillo JE, et al. Utility of history, physical examination, electrocardiogram, and chest radiograph for differentiating normal from decreased systolic function in patients with heart failure. *Am J Med.* 2002;112:437-45.
- Martínez-Selles M, García Robles JA, Prieto L, Frades E, Muñoz R, Díaz Castro O, et al. Características de los pacientes ingresados por insuficiencia cardíaca según el estado de su función ventricular. *Rev Esp Cardiol.* 2002;55:579-86.
- Dec GW, Fuster V. Idiopathic dilated cardiomyopathy. *N Engl J Med.* 1994;331:1564-75.
- Hesse B, Díaz LA, Snader CE, Blackstone EH, Lauer MS. Complete bundle branch block as an independent predictor of all-cause mortality: report of 7,073 patients referred for nuclear exercise testing. *Am J Med.* 2001;110:253-9.
- Shamim W, Francis DP, Yousufuddin M, Varney S, Pieopli MF, Anker SD, et al. Intraventricular conduction delay: a prognostic marker in chronic heart failure. *Int J Cardiol.* 1999;70:171-8.
- Shenkman HJ, Pampati V, Khandelwal AK, McKinnon J, Nori D, Kaatz S, et al. Congestive heart failure and QRS duration: establishing prognosis study. *Chest.* 2002;122:528-34.
- Brooksby P, Batin PD, Nolan J, Lindsay SJ, Andrews R, Mullen M, et al. The relationship between QT intervals and mortality in ambulant patients with chronic heart failure. The united kingdom heart failure evaluation and assessment of risk trial (UK-HEART). *Eur Heart J.* 1999;20:1335-41.
- Hunt SA, Antman EM, Smith S, Abraham WT, Chin MH, Feldman AM, et al. ACC/AHA 2005 Guideline Update for the diagnosis and management of chronic heart failure in the adult. *J Am Coll Cardiol.* 2005;46:1116-43.
- Swedberg K, Cleland J, Dargie H, Drexler H, Follath F, Komajda M, et al. Guidelines for the diagnosis and treatment of chronic heart failure: executive summary (update 2005). *Eur Heart J.* 2005;26:1115-40.
- Auricchio A, Stellbrink C, Butter C, Sack S, Vogt J, Misier AR, et al. Pacing Therapies in Congestive Heart Failure II Study Group; Guidant Heart Failure Research Group. Clinical efficacy of cardiac resynchronization therapy using left ventricular pacing in heart failure patients stratified by severity of ventricular conduction delay. *J Am Coll Cardiol.* 2003;42:2109-16.
- Bristow MR, Saxon LA, Boehmer J, Krueger S, Kass DA, De Marco T, et al. Cardiac-resynchronization therapy with or without an implantable defibrillator in advanced chronic heart failure. *N Engl J Med.* 2004;350:2140-50.
- McNamara RF, Carleen E, Moss AJ, and the Multicentre Post-Infarction Research Group. Estimating left ventricular ejection fraction after myocardial infarction by various clinical parameters. *Am J Cardiol.* 1988;62:192-6.
- McHugh TJ, Forrester JS, Adler L, Zion D, Swan HJC. Pulmonary vascular congestion in acute myocardial infarction: hemodynamic and radiologic correlations. *Ann Intern Med.* 1972;76:29-33.
- Kostuk W, Barr JW, Simon AL, Ross JR. Correlations between the chest film and hemodynamics in acute myocardial infarction. *Circulation.* 1973;48:624-32.
- Chakko S, Woska D, Martínez H, De Marchena E, Futterman L, Kessler KM. Clinical, radiographic, and hemodynamic correlations in chronic congestive heart failure: conflicting results may lead to inappropriate care. *Am J Med.* 1991;90:353-9.
- Grover M, Slutsky RA, Higgins CB, Shabetai R. Extravascular lung water in patients with congestive heart failure. Difference between patients with acute and chronic myocardial disease. *Radiology.* 1983;147:659-62.
- Kundel HL, Revesz G. Digital analysis of chest radiographs in pulmonary vascular congestion. *Radiology.* 1982;143:407-10.
- Rocker GM, Rose DH, Manhire AR, Pearson D, Shale DJ. The radiographic differentiation of pulmonary oedema. *Br J Radiol.* 1989;62:582-6.
- Badgett RG, Mulrow CD, Otto PM, Ramirez G. How well can the chest radiograph diagnose left ventricular dysfunction? *J Gen Intern Med.* 1996;11:625-34.
- Alam M, Rosenhamer G, Hoglund C. Comparability of echocardiography and chest X-ray following myocardial infarction. *J Intern Med.* 1989;226:171-3.

26. Kono T, Suwa M, Hanada H, Horota Y, Kawamura K. Clinical significance of normal cardiac silhouette in dilated cardiomyopathy. Evaluation based upon echocardiography and magnetic resonance imaging. *Jpn Circ J*. 1992;56:359-65.
27. Madsen EB, Gilpin E, Slutsky RA, Ahnve S, Henning H, Ross J. Usefulness of the chest X-ray for predicting abnormal left ventricular function after acute myocardial infarction. *Am Heart J*. 1984;108:1431-6.
28. Grover M, Slutsky RA, Higgins CB, Shabetai R. Extravascular lung water in patients with congestive heart failure. *Radiology*. 1983;147:659-62.
29. Wood MJ, Picard MH. Utility of echocardiography in the evaluation of individuals with cardiomyopathy. *Heart*. 2004;9:707-12.
30. Dhir M, Nagueh SF. Echocardiography and prognosis of heart failure. *Curr Opin Cardiol*. 2002;17:253-6.
31. Colquhoun MC, Waine C, Monaghan MJ, Struthers AD, Mills PG. Investigation in general practice of patients with suspected heart failure [editorial]. *Heart*. 1995;74:335-6.
32. Wheelton NM, MacDonald TM, Flucker CJ, McKendrick AD, McDevitt DG, Struthers AD. Echocardiography in chronic heart failure in the community. *Quart J Med*. 1993;86:17-23.
33. Teupe C, Takeuchi M, Ram SP, Pandian NG. Three-dimensional echocardiography: in-vitro validation of a new, voxel-based method for rapid quantification of ventricular volume in normal and aneurysmal left ventricles. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2001;17:99-105.
34. Sugeng L, Weinert L, Lang RM. Left ventricular assessment using real time three dimensional echocardiography. *Heart*. 2003;89 Suppl 3:iii29-36.
35. Altmann K, Shen Z, Boxt LM, King DL, Gersony WM, Allan LD, et al. Comparison of three-dimensional echocardiographic assessment of volume, mass, and function in children with functionally single left ventricles with two-dimensional echocardiography and magnetic. *Am J Cardiol*. 1997;80:1060-5.
36. Teupe C, Takeuchi M, Yao J, Pandian N. Determination of left ventricular mass by three-dimensional echocardiography: in vitro validation of a novel quantification method using multiple equi-angular rotational planes for rapid measurements. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2002;18:161-7.
37. Kuhl HP, Hanrath P, Franke A. M-mode echocardiography overestimates left ventricular mass in patients with normal left ventricular shape: a comparative study using three-dimensional echocardiography. *Eur J Echocardiogr*. 2003;4:312-9.
38. Mannaerts HF, Van Der Heide JA, Kamp O, Papavassiliu T, Marcus JT, Beek A, et al. Quantification of left ventricular volumes and ejection fraction using freehand transthoracic three-dimensional echocardiography: comparison with magnetic resonance imaging. *J Am Soc Echocardiogr*. 2003;16:101-9.
39. Shiota T, McCarthy PM, White RD, Qin JX, Greenberg NL, Flamm SD, et al. Initial clinical experience of real-time three-dimensional echocardiography in patients with ischemic and idiopathic dilated cardiomyopathy. *Am J Cardiol*. 1999;84:1068-73.
40. Xie GY, Berk MR, Smith MD, Gurley JC, DeMaria AN. Prognostic value of Doppler transmitral flow patterns in patients with congestive heart failure. *J Am Coll Cardiol*. 1994;24:132-9.
41. Hung J, Koelling T, Semigran MJ, Dec GW, Levine RA, Di Salvo TG. Usefulness of echocardiographically determined tricuspid regurgitation in predicting event-free survival in severe heart failure secondary to idiopathic-dilated cardiomyopathy or to ischemic cardiomyopathy. *Am J Cardiol*. 1998;82:1201-3, A10.
42. Koelling TM, Aaronson KD, Cody RJ, Bach DS, Armstrong WF. Prognostic significance of mitral regurgitation and tricuspid regurgitation in patients with left ventricular systolic dysfunction. *Am Heart J*. 2002;144:524-9.
43. Petersen P, Boysen G, Godtfredsen J, Andersen ED, Andersen B. Placebo controlled, randomised trial of warfarin and aspirin for the prevention of thromboembolic complications in chronic atrial fibrillation: the Copenhagen AFASAK study. *Lancet*. 1989;i:175-9.
44. Boston Area Anticoagulation Trial for Atrial Fibrillation Investigators. The effect of low-dose warfarin on the risk of stroke in patients with non-rheumatic atrial fibrillation. *N Engl J Med*. 1990;323:1505-11.
45. EAFT (European Atrial Fibrillation Trial) Study Group. Secondary prevention in non-rheumatic atrial fibrillation after transient ischaemic attack or minor stroke. *Lancet*. 1993;342:1406-12.
46. Stroke Prevention in Atrial Fibrillation Investigators. Predictors of thromboembolism in atrial fibrillation. I: clinical features of patients at risk. *Ann Intern Med*. 1992;116:1-5.
47. Stroke Prevention in Atrial Fibrillation Investigators. Predictors of thromboembolism in atrial fibrillation. II: echocardiographic features of patients at risk. *Ann Intern Med*. 1992;116:6-12.
48. Gottdiener JS, Gay JA, VanVoorhees L, DiBianco R, Fletcher RD. Incidence and embolic potential of left ventricular thrombus in cardiomyopathy: assessment by two-dimensional echocardiography. *Am J Cardiol*. 1983;52:1281-5.
49. Jugdutt BI, Sivaram CA, Wortman C. Prospective twodimensional echocardiographic evaluation of left ventricular thrombus and embolism after acute myocardial infarction. *J Am Coll Cardiol*. 1989;13:554-64.
50. Cheitlin MD, Antman EM, Smith SC, Armstrong WF, Aurigemma GP, Beller GA, et al. ACC/AHA/ASE 2003 Guideline Update for the Clinical Application of Echocardiography. *J Am Coll Cardiol*. 2003;42:954-70.
51. Muro T, Hozumi T, Watanabe H, Yamagishi H, Yoshiyama M, Takeuchi K, et al. Assessment of myocardial perfusion abnormalities by intravenous myocardial contrast echocardiography with harmonic power Doppler imaging: comparison with positron emission tomography. *Heart*. 2003;89:145-9.
52. Kaul S, Senior R, Ditttrich H, Raval U, Khattar R, Lahiri A. Detection of coronary artery disease with myocardial contrast echocardiography: comparison with 99mTc-sestamibi single-photon emission computed tomography. *Circulation*. 1997;96:785-92.
53. Korosoglou G, Da Silva KG Jr, Labadze N, Dubart AE, Hansen A, Rosenberg M, et al. Real-time myocardial contrast echocardiography for pharmacologic stress testing: is quantitative estimation of myocardial blood flow reserve necessary? *J Am Soc Echocardiogr*. 2004;17:1-9.
54. Dilsizian V, Bonow RO. Current diagnostic techniques of assessing myocardial viability in patients with hibernating and stunned myocardium [fe de erratas en *Circulation*.1993;87:2070]. *Circulation*. 1993;87:1-20.
55. Rahimtoola SH. Concept and evaluation of hibernating myocardium. *Annu Rev Med*. 1999;50:75-86.
56. Yoshida K, Gould KL. Quantitative relation of myocardial infarct size and myocardial viability by positron emission tomography to left ventricular ejection fraction and 3-year mortality with and without revascularization. *J Am Coll Cardiol*. 1993;22:984-97.
57. Lee KS, Marwick TH, Cook SA, Go RT, Fix JS, James KB, et al. Prognosis of patients with left ventricular dysfunction, with and without viable myocardium after myocardial infarction. Relative efficacy of medical therapy and revascularization. *Circulation*. 1994;90:2687-94.
58. Di Carli MF, Asgarzadie F, Schelbert HR, Brunken RC, Laks H, Phelps ME, et al. Quantitative relation between myocardial viability and improvement in heart failure symptoms after revascularization in patients with ischemic cardiomyopathy. *Circulation*. 1995;92:3436-44.
59. La Canna G, Alfieri O, Giubbini R, Gargano M, Ferrari R, Violi O. Echocardiography during infusion of dobutamine for identification of reversible dysfunction in patients with chronic coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol*. 1994;23:617-26.
60. Arnesi M, Cornel JH, Salustri A, Maat A, Elhendy A, Reijns AE, et al. Prediction of improvement of regional left ventricular function after surgical revascularization. A comparison of

- low-dose dobutamine echocardiography with 201 Tl single-photon emission computed tomography. *Circulation*. 1995;91:2748-52.
61. De Filippi CR, Willett DL, Irani WN, Eichhorn EJ, Velasco CE, Grayburn PA. Comparison of myocardial contrast echocardiography and low-dose dobutamine stress echocardiography in predicting recovery of left ventricular function after coronary revascularization in chronic ischemic heart disease. *Circulation*. 1995;92:2863-8.
62. Nagueh SF. Dobutamine echocardiography versus nuclear cardiac imaging for evaluation of myocardial viability. *Curr Opin Cardiol*. 1997;12:547-52.
63. Senior R, Glenville B, Basu S, Sridhara BS, Anagnostou E, Stanbridge R, et al. Dobutamine echocardiography and thallium-201 imaging predict functional improvement after revascularisation in severe ischaemic left ventricular dysfunction. *Br Heart J*. 1995;74:358-64.
64. Shimoni S, Frangogiannis NG, Aggeli CJ, Shan K, Verani MS, Quinones MA, et al. Identification of hibernating myocardium with quantitative intravenous myocardial contrast echocardiography: comparison with dobutamine echocardiography and thallium-201 scintigraphy. *Circulation*. 2003;107:538-44.
65. Linde C, Leclercq C, Rex S, Garrigue S, Laverge T, Cazeau S, et al. Long-term benefits of biventricular pacing in congestive heart failure: results from the Multisite STimulation in cardiomyopathy (MUSTIC) study. *J Am Coll Cardiol*. 2002;40:111-8.
66. Abraham WT, Fisher WG, Smith AL, Delurgio DB, Leon AR, Loh E, et al. Cardiac resynchronization in chronic heart failure. *N Engl J Med*. 2002;346:1845-53.
67. McAlister FA, Ezekowitz JA, Wiebe N, Rowe B, Spooner C, Crumley E, et al. Systematic review: cardiac resynchronization in patients with symptomatic heart failure. *Ann Intern Med*. 2004;141:381-90.
68. Bradley DJ, Bradley EA, Baughman KL, Berger RD, Calkins H, Goodman SN, et al. Cardiac resynchronization and death from progressive heart failure: a meta-analysis of randomized controlled trials. *JAMA*. 2003;289:730-40.
69. Cleland JG, Daubert JC, Erdmann E, Freemantle N, Gras D, Kappenberger L, et al. The effect of cardiac resynchronization on morbidity and mortality in heart failure. *N Engl J Med*. 2005;352:1539-49.
70. Arad Y, Spadaro LA, Goodman K, Newstein D, Guerci AD. Prediction of coronary events with electron beam computed tomography. *J Am Coll Cardiol*. 2000;36:1253-60.
71. Kondos GT, Hoff JA, Sevruckov A, Daviglus ML, Garside DB, Devries SS, et al. Electron-beam tomography coronary artery calcium and cardiac events: a 37-month follow-up of 5,635 initially asymptomatic low- to intermediate-risk adults. *Circulation*. 2003;107:2571-6.
72. Shaw LJ, Raggi P, Schisterman E, Berman DS, Callister TQ. Prognostic value of cardiac risk factors and coronary artery calcium screening for all-cause mortality. *Radiology*. 2003;228:826-33.
73. Shemesh J, Tenenbaum A, Fisman EZ, Har-Zahav Y, Rath S, Apter S, et al. Coronary calcium as a reliable tool for differentiating ischemic from nonischemic cardiomyopathy. *Am J Cardiol*. 1996;77:191-4.
74. Budoff MJ, Achenbach S, Duerinckx A. Clinical utility of computed tomography and magnetic resonance techniques for noninvasive coronary angiography. *J Am Coll Cardiol*. 2003;42:1867-78.
75. Hoffmann U, Moselewski F, Cury RC, Ferencik M, Jang IK, Diaz LJ, et al. Predictive value of 16-slice multidetector spiral computed tomography to detect significant obstructive coronary artery disease in patients at high risk for coronary artery disease: patient-versus segment-based analysis. *Circulation*. 2004;110:2638-43.
76. Mollet NR, Cademartiri F, Krestin GP, McFadden EP, Arampatzis CA, Serruys PW, et al. Improved diagnostic accuracy with 16-row multi-slice computed tomography coronary angiography. *J Am Coll Cardiol*. 2005;45:128-32.
77. Budoff MJ, Cohen MC, García MJ, Hodgson JM, Hundley WG, Lima JA, et al. ACCF/AHA clinical competence statement on cardiac imaging with computed tomography and magnetic resonance. *J Am Coll Cardiol*. 2005;46:383-402.
78. Rumberger JA. Use of ultrafast (cine) X-ray computed tomography in cardiac and cardiovascular imaging. En: Giuliani ER, editor. *Mayo Clinic Practice of Cardiology*. St. Louis: Mosby; 1996. p. 303-24.
79. Baik HK, Budoff MJ, Lane KL, Bakhsheshi H, Brundage BH. Accurate measures of left ventricular ejection fraction using electron beam tomography: a comparison with radionuclide angiography, and cine angiography. *Int J Card Imaging*. 2000;16:391-8.
80. Shavelle DM, Takasu J, Budoff MJ, Mao S, Zhao XQ, O'Brien KD. HMG CoA reductase inhibitor (statin) and aortic valve calcium. *Lancet*. 2002;359:1125-6.
81. Moncada R, Baker M, Salinas M, Demos TC, Churchill R, Love L, et al. Diagnostic role of computed tomography in pericardial heart disease: congenital defects, thickening, neoplasms, and effusions. *Am Heart J*. 1982;103:263-82.
82. Isner JM, Carter BL, Bankoff MS, Konstam MA, Salem DN. Computed tomography in the diagnosis of pericardial heart disease. *Ann Intern Med*. 1982;97:473-9.
83. Itti E, Rosso J, Hammami H, Benayoun S, Thirion JP, Meignan M. Myocardial tracking, a new method to calculate ejection fraction with gated SPECT: validation with (201)Tl versus planar angiography. *J Nucl Med*. 2001;42:845-52.
84. Nichols K, Lefkowitz D, Faber T, Folks R, Cooke D, García EV, et al. Echocardiographic validation of gated SPECT ventricular function measurements. *J Nucl Med*. 2000;41:1308-14.
85. Choragudi NL, Prakash AM, Sun Y, Prasad P, Chiamaramida SA, Lucariello RJ. Comparison of echocardiography with technetium 99m-gated single photon emission computed tomography as diagnostic tools for left ventricular ejection fraction. *Echocardiography*. 2001;18:627-32.
86. Fleming RM. A tete-a-tete comparison of ejection fraction and regional wall motion abnormalities as measured by echocardiography and gated sestamibi SPECT. *Angiology*. 2002;53:313-21.
87. Gunning MG, Anagnostopoulos C, Davies G, Forbat SM, Ell PJ, Underwood SR. Gated technetium-99m-tetrofosmin SPECT and cine MRI to assess left ventricular contraction. *J Nucl Med*. 1997;38:438-42.
88. Bax JJ, Lamb H, Dibbets P, Pelikan H, Boersma E, Viergever EP, et al. Comparison of gated single-photon emission computed tomography with magnetic resonance imaging for evaluation of left ventricular function in ischemic cardiomyopathy. *Am J Cardiol*. 2000;86:1299-305.
89. Ioannidis JP, Trikalinos TA, Danias PG. Electrocardiogram-gated single-photon emission computed tomography versus cardiac magnetic resonance imaging for the assessment of left ventricular volumes and ejection fraction: a meta-analysis. *J Am Coll Cardiol*. 2002;39:2059-68.
90. Germano G, Erel J, Lewin H, Kavanagh PB, Berman DS. Automatic quantitation of regional myocardial wall motion and thickening from gated technetium-99m sestamibi myocardial perfusion single-photon emission computed tomography. *J Am Coll Cardiol*. 1997;30:1360-7.
91. Wahba FF, Lamb HJ, Bax JJ, Dibbets-Schneider P, Bavelaar-Croon CD, Zwinderman AH, et al. Assessment of regional myocardial wall motion and thickening by gated 99Tcm-tetrofosmin SPECT: a comparison with magnetic resonance imaging. *Nucl Med Commun*. 2001;22:663-71.
92. Muntinga HJ, Van den Berg F, Knol HR, Niemeyer MG, Blanksma PK, Louwes H, et al. Normal values and reproducibility of left ventricular filling parameters by radionuclide angiography. *Int J Card Imaging*. 1997;13:165-71.

93. Schirmer H, Lunde P, Rasmussen K. Mitral flow derived Doppler indices of left ventricular diastolic function in a general population; the Tromsø study. *Eur Heart J*. 2000;21:1376-86.
94. Tauberg SG, Orie JE, Bartlett BE, Cottingham EM, Flores AR. Usefulness of thallium-201 for distinction of ischemic from idiopathic dilated cardiomyopathy. *Am J Cardiol*. 1993;71:674-80.
95. Bureau JF, Gaillard JF, Granier R, Ollivier JP. Diagnostic and prognostic criteria of chronic left ventricular failure obtained during exercise-201Tl imaging. *Eur J Nucl Med*. 1987;12:613-6.
96. Bulkley BH, Hutchins GM, Bailey I, Strauss HW, Pitt B. Thallium 201 imaging and gated cardiac blood pool scans in patients with ischemic and idiopathic congestive cardiomyopathy: a clinical and pathologic study. *Circulation*. 1977;55:753-60.
97. Saltissi S, Hockings B, Croft DN, Webb-Peploe MM. Thallium-201 myocardial imaging in patients with dilated and ischaemic cardiomyopathy. *Br Heart J*. 1981;46:290-5.
98. Danias PG, Ahlberg AW, Clark BA III, Messineo F, Levine MG, McGill CC, et al. Combined assessment of myocardial perfusion and left ventricular function with exercise technetium-99m sestamibi gated single-photon emission computed tomography can differentiate between ischemic and nonischemic dilated cardiomyopathy. *Am J Cardiol*. 1998;82:1253-8.
99. Glamann DB, Lange RA, Corbett JR, Hillis LD. Utility of various radionuclide techniques for distinguishing ischemic from nonischemic dilated cardiomyopathy. *Arch Intern Med*. 1992;152:769-72.
100. Hudson RED. Pathology of cardiomyopathy. *Cardiovasc Clin*. 1972;4:3-59.
101. Pasternac A, Noble J, Streulens Y, Elie R, Henschke C, Bourassa MG. Pathophysiology of chest pain in patients with cardiomyopathies and normal coronary arteries. *Circulation*. 1982;65:778-89.
102. Cannon RO III, Cunnion RE, Parrillo JE, Palmeri ST, Tucker EE, Schenke WH, et al. Dynamic limitation of coronary vasodilator reserve in patients with dilated cardiomyopathy and chest pain. *J Am Coll Cardiol*. 1987;10:1190-200.
103. Klocke FJ, Antman EM, Smith SC, Baird MG, Bateman TM, Berman DS, et al. ACC/AHA/ASNC Guidelines for the Clinical Use of Cardiac Radionuclide Imaging. *J Am Coll Cardiol*. 2003;42:1318-33.
104. Bax JJ, Wijns W, Cornel JH, Visser FC, Boersma E, Fioretti PM. Accuracy of currently available techniques for prediction of functional recovery after revascularization in patients with left ventricular dysfunction due to chronic coronary artery disease: comparison of pooled data. *J Am Coll Cardiol*. 1997;30:1451-60.
105. Alexander J, Dainiak N, Berger HJ, Goldman L, Johnstone D, Reduto L, et al. Serial assessment of doxorubicin cardiotoxicity with quantitative radionuclide angiocardigraphy. *N Engl J Med*. 1979;300:278-83.
106. Schaadt B, Kelbaek H. Age and left ventricular ejection fraction identify patients with advanced breast cancer at high risk for development of epirubicin-induced heart failure. *J Nucl Cardiol*. 1997;4:494-501.
107. Lopez M, Vici P, Di Lauro K, Conti F, Paoletti G, Ferraironi A, et al. Randomized prospective clinical trial of high-dose epirubicin and dexrazoxane in patients with advanced breast cancer and soft tissue sarcomas. *J Clin Oncol*. 1998;16:86-92.
108. Lekakis J, Nanas J, Prassopoulos V, Kostamis P, Mouloupoulos S. Natural evolution of antimyosin scan and cardiac function in patients with acute myocarditis. *Int J Cardiol*. 1995;52:53-8.
109. Dec GW, Palacios I, Yasuda T, Fallon JT, Khaw BA, Strauss HW, et al. Antimyosin antibody cardiac imaging: its role in the diagnosis of myocarditis. *J Am Coll Cardiol*. 1990;16:97-104.
110. Agostini D, Babatasi G, Manrique A, Saloux E, Grollier G, Potier JC, et al. Impairment of cardiac neuronal function in acute myocarditis: iodine-123-MIBG scintigraphy study. *J Nucl Med*. 1998;39:1841-4.
111. Narula J, Khaw BA, Dec GW, Palacios IF, Newell JB, Southern JF, et al. Diagnostic accuracy of antimyosin scintigraphy in suspected myocarditis. *J Nucl Cardiol*. 1996;3:371-81.
112. 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.
113. Pennell DJ, Sechtem UP, Higgins CB, Manning WJ, Pohost GM, Rademakers FE, et al. Clinical indications for cardiovascular magnetic resonance (CMR): Consensus Panel report. *Eur Heart J*. 2004;25:1940-65.
114. Grothues F, Moon JC, Bellenger NG, Smith GS, Klein HU, Pennell DJ. Interstudy reproducibility of right ventricular volumes, function and mass with cardiovascular magnetic resonance. *Am Heart J*. 2004;147:218-23.
115. Bottini PB, Carr AA, Prisant M, Flickinger FW, Allison JD, Gottdiener JS. Magnetic resonance imaging compared to echocardiography to assess left ventricular mass in the hypertensive patient. *Am J Hypertens*. 1995;8:221-8.
116. Zerhouni EA, Parish DM, Rogers WJ, Yang A, Shapiro EP. Human heart: Tagging with MR Imaging – A method for non-invasive assessment of myocardial motion. *Radiology*. 1988;169:59-63.
117. Underwood SR, Rees RSO, Savage PE, Klipstein RH, Firmin DN, Fox KM, et al. Assessment of regional left ventricular function by magnetic resonance. *Br Heart J*. 1986;56:334-40.
118. Suzuki J, Caputo GR, Masui T, Chang JM, O'Sullivan M, Higgins CB. Assessment of right ventricular diastolic and systolic function in patients with dilated cardiomyopathy using cine magnetic resonance imaging. *Am Heart J*. 1991;122:1035-40.
119. Peshock RM, Rokey R, Malloy GM, McNamee P, Buja LM, Parkey RW, et al. Assessment of myocardial systolic wall thickening using nuclear magnetic resonance imaging. *J Am Coll Cardiol*. 1989;14:653-9.
120. Beek AM, Kuhl HP, Bondarenko O, Twisk JW, Hofman MB, Van Dockum WG, et al. Delayed contrast-enhanced magnetic resonance imaging for the prediction of regional functional improvement after acute myocardial infarction. *J Am Coll Cardiol*. 2003;42:895-901.
121. Choi KM, Kim RJ, Gubernikoff G, Vargas JD, Parker M, Judd RM. Transmural extent of acute myocardial infarction predicts long-term improvement in contractile function. *Circulation*. 2001;104:1101-7.
122. Pennell DJ, Underwood SR, Ell PJ, Swanton RH, Walker JM, Longmore DB. Dipyridamole magnetic resonance imaging: a comparison with thallium-201 emission tomography. *Br Heart J*. 1990;64:362-9.
123. Baer FM, Smolarz K, Jungehulsing M, Beckwilm J, Theissen P, Sechtem U, et al. Feasibility of high dose dipyridamole magnetic resonance imaging for detection of coronary artery disease and comparison with coronary angiography. *Am J Cardiol*. 1992;69:51-6.
124. Nagel E, Lehmkuhl HB, Bocksch W, Klein C, Vogel U, Frantz E, et al. Noninvasive diagnosis of ischemia induced wall motion abnormalities with the use of high dose dobutamine stress MRI. Comparison with dobutamine stress echocardiography. *Circulation*. 1999;99:763-70.
125. Nagel E, Lehmkuhl HB, Klein C, Schneider U, Frantz E, Ellmer A, et al. Influence of image quality on the diagnostic accuracy of dobutamine stress magnetic resonance imaging in comparison with dobutamine stress echocardiography for the non-invasive detection of myocardial ischemia. *Z Kardiol*. 1999;88:622-30.
126. Kuijpers D, Ho KY, Van Dijkman PR, Vliegenthart R, Oudkerk M. Dobutamine cardiovascular magnetic resonance for the detection of myocardial ischemia with the use of myocardial tagging. *Circulation*. 2003;107:1592-7.
127. Panting JR, Gatehouse PD, Yang GZ, Jerosch-Herold M, Wilke N, Firmin DN, et al. Echo planar magnetic resonance myocardial perfusion imaging: Parametric map analysis and comparison with thallium SPECT. *J Magn Reson Imaging*. 2001;13:192-200.

128. Schwitter J, Nanz D, Kneifel S, Buchi M, Knusel PR, Marincek B, et al. Assessment of myocardial perfusion in coronary artery disease by magnetic resonance: a comparison with positron emission tomography and coronary angiography. *Circulation*. 2001;103:2230-5.
129. Wolff SD, Schwitter J, Coulden R, Friedrich MG, Bluemke DA, Biederman RW, et al. Myocardial first-pass perfusion magnetic resonance imaging. A multicenter dose-ranging study. *Circulation*. 2004;110:732-7.
130. Baer FM, Voth E, Schneider CA, Theissen P, Schicha H, Sechtem U. Comparison of low-dose dobutamine gradient-echo magnetic resonance imaging and positron emission tomography with [18F]fluorodeoxyglucose in patients with chronic coronary artery disease. A functional and morphological approach to the detection of residual myocardial viability. *Circulation*. 1995;91:1006-15.
131. Ramani K, Judd RM, Holly TA, Parrish TB, Rigolin VH, Parker MA, et al. Contrast magnetic resonance imaging in the assessment of myocardial viability in patients with stable coronary artery disease and left ventricular dysfunction. *Circulation*. 1998;98:2687-94.
132. Gerber BL, Garot J, Bluemke DA, Wu KC, Lima JA. Accuracy of contrast-enhanced magnetic resonance imaging in predicting improvement of regional myocardial function in patients after acute myocardial infarction. *Circulation*. 2002;106:1083-9.
133. Mahrholdt H, Wagner A, Holly TA, Elliott MD, Bonow RO, Kim RJ, et al. Reproducibility of chronic infarct size measurement by contrast-enhanced magnetic resonance imaging. *Circulation* 2002;106:2322-7.
134. Kuhl HP, Beek AM, Van der Weerd AP, Hofman MB, Visser CA, Lammertsma AA, et al. Myocardial viability in chronic ischemic heart disease: comparison of contrast-enhanced magnetic resonance imaging with (18)F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography. *J Am Coll Cardiol*. 2003;41:1341-8.
135. Kitagawa K, Sakuma H, Hirano T, Okamoto S, Makino K, Takekida K. Acute myocardial infarction: Myocardial viability assessment in patients early thereafter: comparison of contrast-enhanced MR imaging with resting 201-Tl SPECT. *Radiology*. 2003;226:138-44.
136. Budoff MJ, Achenbach S, Duerinckx A. Clinical utility of computed tomography and magnetic resonance techniques for noninvasive coronary angiography. *J Am Coll Cardiol*. 2003;42:1867-78.
137. Kim WY, Danias PG, Stuber M, Flamm SD, Plein S, Nagel E, et al. Coronary magnetic resonance angiography for the detection of coronary stenoses. *N Engl J Med*. 2001;345:1863-9.
138. Moon JCC, Fisher NG, McKenna WJ, Pennell DJ. Detection of apical hypertrophic cardiomyopathy by cardiovascular magnetic resonance in patients with non-diagnostic echocardiography. *Heart*. 2004;90:645-9.
139. Suzuki J, Watanabe F, Takenaka K, Amano K, Amano W, Igarashi T, et al. New subtype of apical hypertrophic cardiomyopathy identified with nuclear magnetic resonance imaging as an underlying cause of markedly inverted T waves. *J Am Coll Cardiol*. 1993;22:1175-81.
140. Arrive L, Assayag P, Russ G, Najmark D, Brochet E, Nahum H. MRI and cine MRI of asymmetric septal hypertrophic cardiomyopathy. *J Comput Assist Tomogr*. 1994;18:376-82.
141. Moon JC, Reed E, Sheppard MN, Elkington AG, Ho SY, Burke M, et al. The histological basis of late gadolinium enhancement cardiovascular magnetic resonance in hypertrophic cardiomyopathy. *J Am Coll Cardiol*. 2004;43:2260-4.
142. 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.
143. McCrohon JA, Richmond DR, Pennell DJ, Mohiaddin RH. Isolated noncompaction of the myocardium: a rarity or missed diagnosis? *Circulation*. 2002;106:e22-3.
144. Doherty NE, Fujita N, Caputo GR, Higgins CB. Measurement of right ventricular mass in normal and dilated cardiomyopathic ventricles using cine magnetic resonance imaging. *Am J Cardiol*. 1992;69:1223-8.
145. 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.
146. Soriano C, Ridocci F, Estornell J, Jiménez J, Martínez V, 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.
147. Casolo GC, Poggesi L, Boddi M, Fazi A, Bartolozzi C, Lizzadro G, et al. ECG-gated magnetic resonance imaging in right ventricular dysplasia. *Am Heart J* 1987;113:1245-8.
148. Blake LM, Scheinman MM, Higgins CB. MR features of arrhythmogenic right ventricular dysplasia. *AJR Am J Roentgenol*. 1994;162:809-12.
149. Borgna-Pignatti C, Rugolotto S, De Stefano P, De Stefano P, Piga A, Di Gregorio F, et al. Survival and disease complications in thalassemia major. *Ann N Y Acad Sci*. 1998;850:227-31.
150. Anderson LJ, Holden S, Davis B, Prescott E, Charrier CC, Bunce NH, et al. Cardiovascular T2 magnetic resonance for the early diagnosis of myocardial iron overload. *Eur Heart J*. 2001;22:2171-9.
151. Anderson LJ, Bunce N, Davis B, Prescott E, Charrier CC, Bunce NH, et al. Reversal of siderotic cardiomyopathy: a prospective study with cardiac magnetic resonance [resumen]. *Heart*. 2001;85 Suppl 1:33.
152. Anderson LJ, Wonke B, Prescott E, Holden S, Walker JM, Pennell DJ. Comparison of effects of oral deferiprone and subcutaneous desferrioxamine on myocardial iron levels and ventricular function in beta thalassemia. *Lancet*. 2002;360:516-20.
153. Sechtem U, Higgins CB, Sommerhoff BA, Lipton MJ, Huycke EC. Magnetic resonance imaging of restrictive cardiomyopathy. *Am J Cardiol*. 1987;59:480-2.
154. Fattori R, Rocchi G, Celletti F, Bertaccini P, Rapezzi C, Gavelli G. Contribution of magnetic resonance imaging in the differential diagnosis of cardiac amyloidosis and symmetric hypertrophic cardiomyopathy. *Am Heart J*. 1998;136:824-30.
155. Masui T, Finck S, Higgins CB. Constrictive pericarditis and restrictive cardiomyopathy: evaluation with MR imaging. *Radiology*. 1992;182:369-73.
156. Riedy K, Fisher MR, Belic N, Koenigsberg PI. MR imaging of myocardial sarcoidosis. *AJR Am J Roentgenol*. 1988;15:915-6.
157. Doherty MJ, Kumar SK, Nicholson AA, McGivern DV. Cardiac sarcoidosis: the value of magnetic resonance imaging in diagnosis and assessment of response to treatment. *Respir Med*. 1998;92:797-9.
158. Shimada T, Shimada K, Sakane T, Ochiai K, Tsukihashi H, Fukui M, et al. Diagnosis of cardiac sarcoidosis and evaluation of the effects of steroid therapy by gadolinium-DTPA-enhanced magnetic resonance imaging. *Am J Med*. 2001;110:520-7.
159. Schulz-Menger J, Strohm O, Dietz R, Friedrich MG. Visualization of cardiac involvement in patients with systemic sarcoidosis applying contrast-enhanced magnetic resonance imaging. *MAGMA*. 2000;11:82-3.
160. Vignaux O, Dhote R, Duboc D, Blanche P, Dusser D, Weber S, et al. Clinical significance of myocardial magnetic resonance abnormalities in patients with sarcoidosis: a 1-year follow-up study. *Chest*. 2002;122:1895-901.
161. Friedrich MG, Strohm O, Schulz-Menger J, Marciniak H, Luft FC, Dietz R. Contrast media enhanced magnetic resonance imaging visualises myocardial changes in the course of viral myocarditis. *Circulation*. 1998;97:1802-9.
162. 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.

163. Liu PP, Yan AT. Resonance for the diagnosis of acute myocarditis. Prospects for detecting myocardial inflammation. *J Am Coll Cardiol.* 2005;45:1823-5.
164. Roditi GH, Hartnell GG, Cohen MC. MRI changes in myocarditis: evaluation with spin echo, cine MR angiography and contrast enhanced spin echo imaging. *Clin Radiol.* 2000;55:752-8.
165. Mohiaddin RH, Wann SL, Underwood R, Firmin DN, Rees S, Longmore DB. Vena caval flow: assessment with cine MR velocity mapping. *Radiology.* 1990;177:537-41.
166. Kilner PJ, Manzara CC, Mohiaddin RH, Pennell DJ, Sutton MG, Firmin DN, et al. Magnetic resonance jet velocity mapping in mitral and aortic valve stenosis. *Circulation.* 1993;87:1239-48.
167. Caruthers SD, Lin SJ, Brown P, Watkins MP, Williams TA, Lehr KA, et al. Practical value of cardiac magnetic resonance imaging for clinical quantification of aortic valve stenosis: comparison with echocardiography. *Circulation.* 2003;108:2236-43.
168. Edwards MB, Taylor KM, Shellock FG. Prosthetic heart valves: evaluation of magnetic field interactions, heating, and artifacts at 1.5 T. *J Magn Reson Imaging.* 2000;12:363-9.
169. Hirsch R, Kilner PJ, Connelly MS, Redington AN, St John Sutton MG, Somerville J. Diagnosis in adolescents and adults with congenital heart disease. Prospective assessment of individual and combined roles of magnetic resonance imaging and transthoracic echocardiography. *Circulation.* 1994;90:2937-51.
170. Hoppe U, Dederichs B, Deutsch HJ, Theissen P, Schicha H, Sechtem U. Congenital heart disease in adults and adolescents: comparative value of transthoracic and transesophageal echocardiography and MR imaging. *Radiology.* 1996;199:669-77.
171. Eagle KA, Guyton RA, Davidoff R, Edwards FH, Ewy GA, Gardner TJ, et al. ACC/AHA 2004 guideline update for coronary artery bypass graft surgery: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee to Update the 1999 Guidelines for Coronary Artery Bypass Graft Surgery) [citado 30 Jun 2005]. Disponible en: <http://www.acc.org/clinical/guidelines/cabg/cabg.pdf>
172. Allman KC, Shaw LJ, Hachamovitch R, Udelson JE. Myocardial viability testing and impact of revascularization on prognosis in patients with coronary artery disease and left ventricular dysfunction: a meta-analysis. *J Am Coll Cardiol.* 2002;39:1151-8.
173. Klocke FJ, Baird MG, Lorell BH, Bateman TM, Messer JV, Berman DS, et al. ACC/AHA/ASNC guidelines for the clinical use of cardiac radionuclide imaging: executive summary: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (ACC/AHA/ASNC Committee to Revise the 1995 Guidelines for the Clinical Use of Cardiac Radionuclide Imaging). *J Am Coll Cardiol.* 2003;42:1318-33.