

Artículo especial

Novedades en imagen cardiaca 2013



Rocío García-Orta^{a,*}, Patricia Mahía-Casado^b, José J. Gómez de Diego^c, Joaquín Barba-Cosials^d, José F. Rodríguez-Palomares^e, Santiago Aguadé-Bruix^e y Jaume Candell-Riera^{e,f}

^aServicio de Cardiología, Hospital Virgen de las Nieves, Granada, España

^bServicio de Cardiología, Hospital Carlos III, Madrid, España

^cServicio de Cardiología, Hospital Clínico San Carlos, Madrid, España

^dDepartamento de Cardiología, Clínica Universidad de Navarra, Pamplona, Navarra, España

^eServicio de Medicina Nuclear, Hospital Vall d'Hebron, Barcelona, España

^fServicio de Cardiología, Hospital Vall d'Hebron, Barcelona, España

Historia del artículo:

On-line el 6 de enero de 2014

Palabras clave:

Ecocardiografía

Cardiología nuclear

Tomografía computarizada

Resonancia magnética

RESUMEN

La imagen cardiaca es la piedra angular del diagnóstico en cardiología, así como un instrumento esencial en la valoración pronóstica y las decisiones terapéuticas. Este año, la ecocardiografía destaca como guía en el intervencionismo y en la elección del tamaño de las prótesis. Se consolida la entidad de la estenosis aórtica de bajo flujo y bajo gradiente. El método tridimensional avanza en el conocimiento anatómico y la cuantificación valvular. Los parámetros de deformación muestran su poder predictor en valvulopatías y en el seguimiento en la cardiotoxicidad inducida por fármacos. La tomografía computarizada por emisión monofotónica y la tomografía por emisión positrónica consolidan su utilidad en cardiopatía isquémica y destacan en el diagnóstico de inflamaciones e infecciones cardíacas. La tomografía computarizada cardiaca afianza su papel en la coronariografía no invasiva, el manejo del dolor torácico en urgencias, la valoración de las oclusiones crónicas y el estudio morfológico de la placa. La resonancia magnética cardiaca permanece como técnica de referencia en la caracterización tisular tanto en cardiopatía isquémica como en las miocardiopatías y afianza su papel en el estudio de estrés y la valoración de la viabilidad.

© 2013 Sociedad Española de Cardiología. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

Update on Cardiac Imaging Techniques 2013

ABSTRACT

Cardiac imaging is a cornerstone of diagnosis in heart conditions, and an essential tool for assessing prognosis and establishing treatment decisions. This year, echocardiography stands out as a guide in interventional procedures and in choosing the size of the prosthesis. It is also proving to be a valuable technique in low-flow, low-gradient aortic stenosis. Three-dimensional echocardiography is advancing our knowledge of cardiac anatomy and valvular measurements. The parameters indicating tissue deformation have predictive power in valve disease and in the follow-up of drug-induced cardiotoxicity. Single-photon emission computed tomography and positron emission tomography are proving useful in ischemic heart disease and in the diagnosis of cardiac inflammation and infections. The role of computed tomography has been strengthened in noninvasive coronary angiography, the emergency room management of chest pain, assessment of chronic occlusions, and morphologic study of coronary plaque. Cardiac magnetic resonance imaging remains the gold standard for tissue characterization in ischemic heart disease and cardiomyopathies, and is assuming a greater role in stress studies and in the assessment of myocardial viability.

Full English text available from: www.revespcardiol.org/en

© 2013 Sociedad Española de Cardiología. Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

ECOCARDIOGRAFÍA

Novedades en ecocardiografía

Pocas novedades tecnológicas se han incorporado a la práctica clínica. Se están desarrollando aplicaciones para la medición automática del movimiento, la deformación en

ecocardiografía tridimensional (3 D)¹ y para la clasificación de la motilidad regional². Más prometedora resulta la posibilidad de utilizar ultrasonidos de alta intensidad desde la aproximación transtorácica para realizar ablaciones de las estructuras cardíacas sin necesidad de cirugía o catéteres³. Otra aplicación tangencial ya empleada en humanos es la incorporación de ultrasonidos en marcapasos para el envío de señales a electrodos endocárdicos sin cables para ordenar la estimulación⁴. La incorporación de redes para la interpretación de estudios realizados por personal paramédico vía web es ya una realidad⁵.

* Autor para correspondencia: Servicio de Cardiología, Hospital Virgen de las Nieves, Avda. de las Fuerzas Armadas 2, 18014 Granada, España.

Correo electrónico: rociororta@gmail.com (R. García-Orta).

Abreviaturas

Cardio-TC: estudio cardiaco con tomografía computarizada
SPECT: tomografía computarizada por emisión
monofotónica

Ecocardiografía de estrés

El uso de la ecocardiografía de estrés en pacientes revascularizados y asintomáticos no está indicado⁶. Los pacientes que realizan una ecocardiografía de estrés submáxima normal tienen mayor riesgo de eventos que quienes consiguen un estrés máximo⁷. La realización de ecocardiografía de estrés para la valoración de pacientes con disnea demuestra que la incidencia de isquemia inducida es baja y aparece sobre todo en pacientes con anomalías de la contractilidad basales⁸.

Perfusión miocárdica con contraste

Se ha demostrado la utilidad del estudio de la perfusión miocárdica con contraste durante el estrés para conocer el pronóstico y predecir eventos⁹. Mejora la detección de enfermedad coronaria e identifica mejor a los pacientes que van a necesitar revascularización¹⁰.

Intervencionismo cardiaco

El papel de la ecografía transesofágica 3 D en el intervencionismo es cada vez más relevante. Su inclusión sistemática en un

programa de implante percutáneo de válvula aórtica mejora los resultados¹¹ y es una alternativa a la tomografía computarizada (TC) multicorte, ya que ambas predicen correctamente el tamaño final de la prótesis¹². El uso de un solo plano en la valoración del anillo induce errores en la clasificación de pacientes como no apropiados para implante percutáneo de válvula aórtica¹³. La presencia de regurgitación alrededor de la prótesis afecta negativamente al pronóstico, su evaluación es compleja y son necesarias varias técnicas de imagen¹⁴.

La reparación mitral con MitraClip[®] produce un remodelado positivo del ventrículo izquierdo y del anillo, con mejoría de la función miocárdica¹⁵. Se hace necesaria la estandarización de las técnicas de imagen para la valoración y el abordaje de las dehiscencias periprotésicas¹⁶.

En el caso de cierre percutáneo de orejuela, un cálculo del tamaño del dispositivo poco sobredimensionado se asocia con mayor probabilidad de fuga residual¹⁷. El estudio con ecografía transesofágica durante el seguimiento permite detectar un porcentaje no desdeñable de trombos asociados al dispositivo¹⁸.

Valvulopatías

La estenosis aórtica grave de bajo flujo, bajo gradiente y fracción de eyección conservada se afianza como entidad clínicamente relevante. Han aparecido trabajos que confirman la gravedad mediante estudio hemodinámico¹⁹ y planimetría por ecografía transesofágica 3D²⁰ (figura 1). Su pronóstico es peor que el de la estenosis grave con gradiente alto^{21,22}, y el reemplazo valvular se asocia a mejor supervivencia²³. Evitar un error de clasificación en la evaluación de la gravedad sigue siendo la clave. La ecocardiografía de estrés puede ayudar en esta evaluación²⁴. Algunos autores²⁵

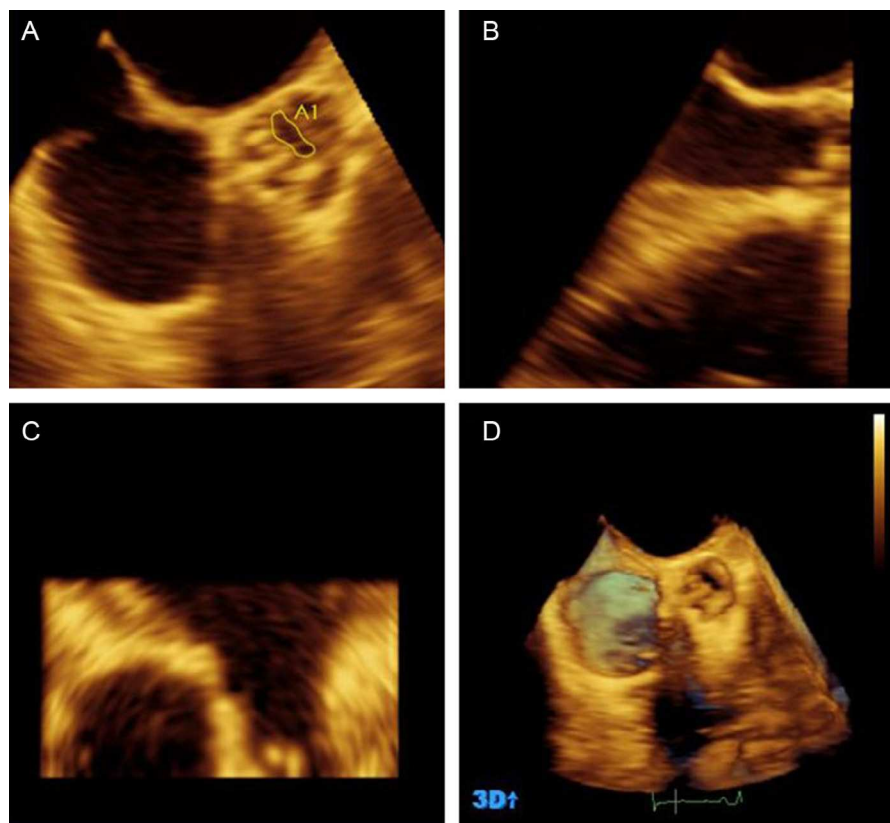


Figura 1. Ecocardiografía tridimensional de la válvula aórtica. A-C: reconstrucción multiplanar. A: plano transversal a nivel de las cúspides donde se realiza la planimetría. B: plano longitudinal usado para la selección del plano transverso en las cúspides. D: válvula aórtica bicúspide. 3 D: tridimensional. Adaptado con permiso de González-Cánovas et al²⁰.

proponen reducir el punto de corte de gravedad a 0,8 cm² para tractos de salida del ventrículo izquierdo pequeños (17–20 mm).

Si la estenosis aórtica se asocia a disfunción ventricular, su evolución cuando es «seudograve» es mejor con manejo conservador que la de la «verdaderamente grave» y equiparable a la disfunción ventricular izquierda sin valvulopatía²⁶, lo que no respalda un tratamiento quirúrgico o percutáneo de la valvulopatía de estos pacientes.

En el manejo de la insuficiencia mitral asintomática, la ecocardiografía de estrés puede ser útil, ya que la disfunción ventricular derecha inducida durante el procedimiento se asocia a menor supervivencia libre de cirugía valvular²⁷.

Ecocardiografía tridimensional

En el prolapso valvular mitral, se ha demostrado el papel del aplanamiento del anillo en la patogenia de la insuficiencia mitral mediante la inducción de protrusión progresiva de los velos, que llevaría a mayor riesgo de rotura de cuerdas²⁸.

El desarrollo de *software* automatizado mejora la cuantificación de la insuficiencia mitral²⁹ y la valoración del complejo aorta-válvula aórtica, lo que ayudará al avance de las técnicas de reparación³⁰.

Se ha publicado el mayor estudio hasta la fecha sobre valores de referencia de volúmenes y función ventricular izquierda³¹ por ecocardiografía 3 D, lo que contribuirá a que se aplique más habitualmente.

Por otra parte, la ecocardiografía 3 D aporta información de gran valor en situaciones anatómicas complejas, como las variantes anatómicas del tabique interauricular³².

Enfermedad aórtica

En cuanto a los valores de referencia y la estandarización de la medida de la aorta torácica proximal, se insiste en la necesidad de corregir no solo por superficie corporal y edad, sino también por sexo³³. Sin embargo, se ha señalado que, en el síndrome de Marfan, el uso del diámetro del tracto de salida como referencia frente a la superficie corporal y la edad mejora la evaluación del grado de anormalidad³⁴.

Sobre los programas de cribado recomendados en los síndromes genéticos, se ha demostrado la alta prevalencia de válvula bicúspide entre familiares de primer grado de pacientes operados por esta afección, lo que refuerza la indicación de realizar un ecocardiograma³⁵.

Función ventricular

A pesar de la aparición de nuevos trabajos que ponen de manifiesto la variabilidad existente entre las diferentes técnicas y la necesidad de estandarizar el estudio de la deformación miocárdica³⁶, las publicaciones sobre la utilidad clínica de estudiar la deformación mediante ecocardiografía 3 D no se han hecho esperar este último año. Dos excelentes revisiones sobre el estado actual de la técnica^{37,38} describen su potencial en el estudio de distintas miocardiopatías. Cabe destacar su aplicabilidad en el estudio de los volúmenes y de la fracción de eyección, pues ha mostrado excelente correlación con la cardi resonancia magnética (CRM)³⁹. Destaca el protagonismo de estas técnicas aplicadas al estudio de las valvulopatías, y se resalta el valor de un sencillo parámetro como la deformación (*strain*) longitudinal total como predictor independiente de mortalidad en pacientes con estenosis aórtica^{40,41}, así como en la disfunción ventricular en la insuficiencia mitral⁴².

Miocardiopatías

Las técnicas de imagen han cobrado un papel relevante en la evaluación de la cardiotoxicidad inducida por fármacos. Sin embargo, la elección de la modalidad de imagen y la frecuencia recomendada de monitorización no están bien definidas. La publicación de un interesante *white paper* sobre las recomendaciones en la utilización de las distintas técnicas de imagen⁴³ y un excelente trabajo en el que se evalúa la reproducibilidad de las distintas técnicas ecocardiográficas para la valoración secuencial en el estudio de la disfunción miocárdica inducida contribuyen a una mejora en el diagnóstico de esta enfermedad⁴⁴. Predictores como el *strain* sistólico longitudinal se afianzan en nuevos trabajos⁴⁵.

Hay un interés creciente en el diagnóstico de las alteraciones morfológicas miocárdicas en los pacientes sometidos a entrenamiento físico o con «corazón de atleta». Existe controversia en la literatura médica respecto a la adaptación específica a cada tipo de entrenamiento. La publicación reciente de un metaanálisis que revisa los cambios morfológicos sufridos por este tipo de pacientes contribuye a aportar luz a este campo⁴⁶.

Insuficiencia cardíaca y resincronización

Los criterios de la *American Society of Cardiology and Radiology* para la correcta utilización de las técnicas de imagen en la insuficiencia cardíaca han visto la luz en 2013. Este documento recoge el esfuerzo por analizar crítica y sistemáticamente el uso racional de estas técnicas en esta enfermedad⁴⁷.

Las guías de consenso europeas y norteamericanas sobre resincronización cardíaca^{48,49} valoran la utilidad de las técnicas de imagen en el estudio de la asincronía, y les otorgan protagonismo. Si bien destacan su papel potencial en la capacidad de predecir qué pacientes responderán a la terapia, no recomiendan su uso como paso previo a implantar el dispositivo. En un reciente metaanálisis, se ha revisado la utilidad de la ecocardiografía 3 D en la resincronización y destaca el índice de asincronía como el mejor predictor de respuesta⁵⁰.

CARDIOLOGÍA NUCLEAR

Guías

Este año se han publicado las guías de la *Society of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*, la *Society of Cardiovascular Computed Tomography* y la *American Society of Nuclear Cardiology*⁵¹ sobre la utilización de los equipos híbridos de tomografía computarizada por emisión monofotónica (SPECT)/TC y tomografía por emisión de positrones (PET)/TC —no solo en referencia a la corrección de atenuación, sino también para la valoración del calcio coronario— de la TC de arterias coronarias, la obtención de imágenes híbridas 3 D para determinar viabilidad miocárdica y detectar inflamación e infección cardíaca.

Tomografía computarizada por emisión monofotónica

Respecto a la valoración pronóstica de la *gated*-SPECT de perfusión miocárdica esfuerzo-reposo, en un estudio realizado en nuestro país con 5.672 pacientes seguidos durante más de 3 años, se ha descrito el valor incremental de esta exploración sobre las variables clínicas y ergométricas en la predicción de mortalidad general y de complicaciones cardiovasculares graves (muerte cardíaca o infarto agudo de miocardio no mortal)⁵². También se han definido las variables predictoras de complicaciones cardíacas

mayores y de revascularización coronaria en los pacientes con una SPECT de perfusión miocárdica y función sistólica normales⁵³.

Asimismo se ha usado la SPECT como referencia en la validación de puntuaciones angiográficas para la cuantificación del miocardio en riesgo⁵⁴ o como complemento de los estudios de viabilidad miocárdica con CRM⁵⁵, donde el análisis de la motilidad, el engrosamiento y la presencia de isquemia en la *gated*-SPECT son de utilidad en la catalogación de los segmentos de dudosa viabilidad en la resonancia magnética (RM), pues hay discrepancias entre

SPECT y RM hasta en un tercio de los segmentos definidos como no viables con esta. Mediante *gated*-SPECT de perfusión miocárdica, se ha descrito la mejoría de la función diastólica ventricular izquierda en relación con la extensión del miocardio salvado en pacientes con infarto agudo de miocardio⁵⁶.

Se ha observado la escasa utilidad del seguimiento sistemático con *gated*-SPECT de pacientes asintomáticos con transposición de grandes vasos corregida mediante *switch* arterial, debido a la gran predominancia de estudios normales en estos pacientes⁵⁷.

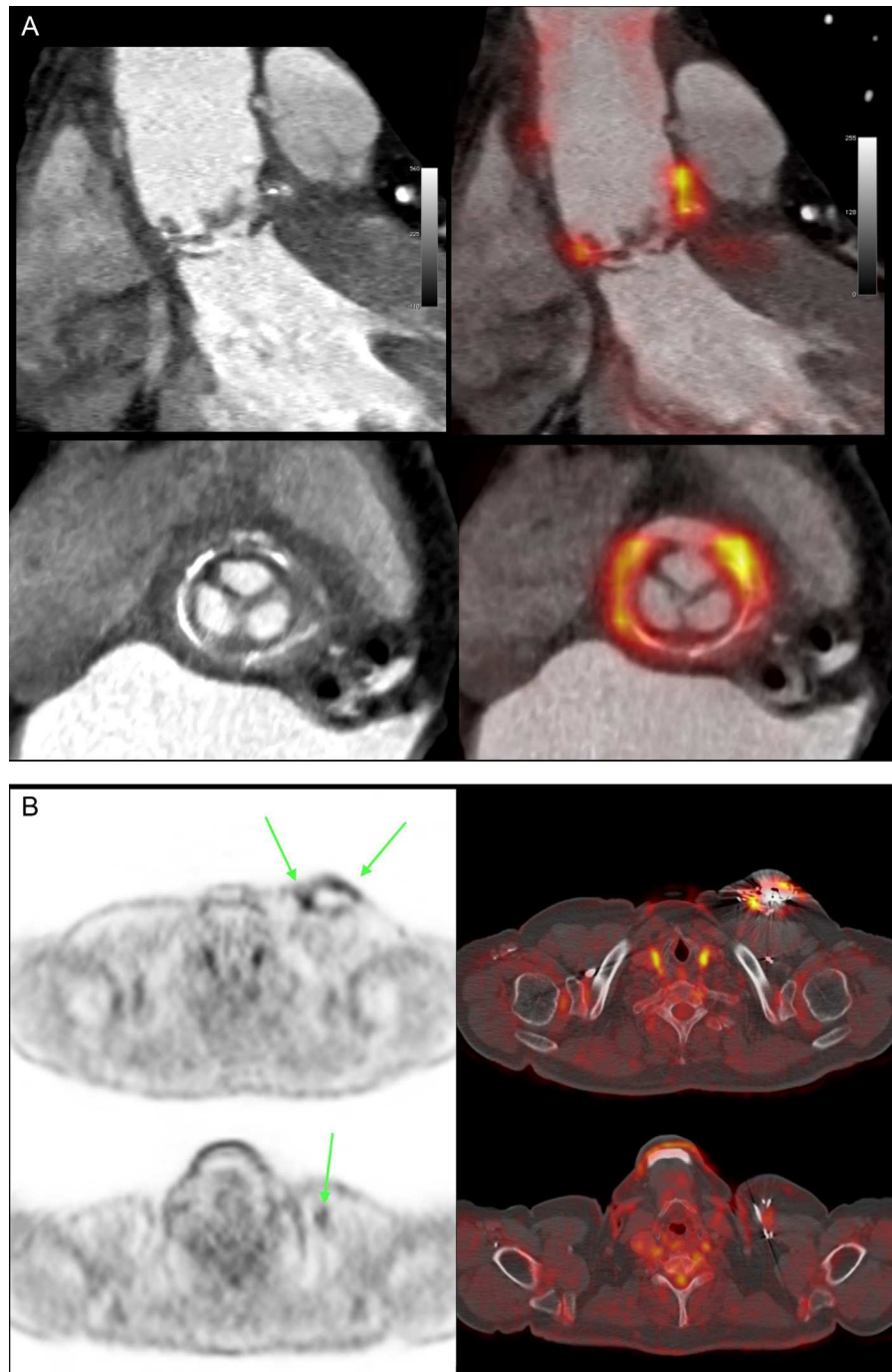


Figura 2. A: cortes angiográficos de tomografía computarizada cardíaca sincronizada (arriba, sagital; abajo, transversal) con su fusión con tomografía por emisión positrónica con ^{18}F -fluorodesoxiglucosa, en un paciente con una prótesis supravalvular aórtica y un tubo en aorta ascendente, con infección activa de la región periprotésica valvular. B: cortes transversales de tomografía por emisión positrónica/tomografía computarizada con su fusión de un paciente con sospecha de infección de marcapasos. Arriba: intensa captación a nivel de la bolsa del dispositivo (flechas). Abajo: actividad sobre el cable del dispositivo (flecha); ambas indican infección.

Tomografía por emisión de positrones

En un estudio multicéntrico⁵⁸ que incluyó a 7.061 pacientes con enfermedad coronaria sospechada o conocida, la PET de perfusión miocárdica ha mostrado que la valoración de la extensión y la intensidad de la isquemia y la necrosis tiene mayor poder predictivo de muerte cardíaca o por cualquier causa que los factores de riesgo convencionales. También se han definido las posibles ventajas del equipo híbrido PET/RM para la valoración simultánea de la viabilidad miocárdica⁵⁹.

Otro novedoso uso de la PET con ¹⁸F-fluorodesoxiglucosa es la valoración de las inflamaciones (sarcoidosis) e infecciones cardíacas⁶⁰: pericarditis, miocarditis y endocarditis, sobre todo en pacientes con válvulas protésicas, tubos valvulados, dispositivos y cables⁶¹ (figuras 2A y B). Tanto es así que se ha propuesto incluir la captación de ¹⁸F-fluorodesoxiglucosa como nuevo criterio mayor entre los de Duke para el diagnóstico de la endocarditis valvular protésica⁶².

TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA CARDIACA

El año 2013 ha sido extraordinario para el estudio cardíaco con tomografía computarizada (cardio-TC), con más de 100 publicaciones solo en las revistas de primer nivel, lo que deja claro que la cardio-TC es la técnica de imagen «de moda» en investigación y que tiene un potencial inmenso en clínica.

La aplicación más sencilla es la puntuación de calcio. Aunque todavía es una prueba poco usada en nuestra práctica clínica, se sigue acumulando evidencia de que es extraordinariamente útil en la valoración del riesgo cardiovascular y el impacto de los factores de riesgo en la aparición y el desarrollo de enfermedad coronaria en

sujetos asintomáticos⁶³, de tal manera que incluso la coronariografía no invasiva aportaría poca información adicional en este grupo de pacientes⁶⁴.

La coronariografía no invasiva se afianza como una técnica fiable para descartar enfermedad coronaria y para seleccionar a los pacientes que se debe remitir a coronariografía convencional⁶⁵. Una novedad extraordinaria es que por primera vez aparece la cardio-TC dentro del algoritmo diagnóstico en las novísimas guías de 2013 de la Sociedad Europea de Cardiología, sobre el manejo de la cardiopatía isquémica estable⁶⁶, como técnica de primera línea en la valoración diagnóstica de pacientes con riesgo bajo-intermedio y como prueba útil en pacientes con resultado incierto en las técnicas de detección de isquemia (figura 3). De hecho, siguen apareciendo trabajos que indican que la valoración en urgencias de los pacientes con dolor torácico acorta la estancia y reduce el número de ingresos innecesarios⁶⁷. Dos nuevas aplicaciones de interés clínico son la valoración del vaso distal en oclusiones crónicas para evaluar la posibilidad de revascularización quirúrgica⁶⁸ y la demostración de que, en un porcentaje importante de los pacientes con infartos y con arterias coronarias normales, en realidad las coronarias no son tan «normales»⁶⁹, lo que tiene un impacto evidente en su tratamiento.

Uno de los campos activos en investigación es la relación entre morfología de la placa y eventos coronarios. Se ha comprobado que tanto la morfología «en servilletero» como el volumen total de placa blanda son parámetros potencialmente útiles⁷⁰. Otro campo importante es la posibilidad de realizar estudios de isquemia con cardio-TC de estrés con adenosina, ya que se han realizado estudios de validación frente a los estudios de isquemia con RM y con reserva de flujo coronario invasivo, con excelentes resultados⁷¹; es posible que esta aplicación se utilice pronto en la clínica. Más intrigante es la posibilidad de evaluar la repercusión funcional de

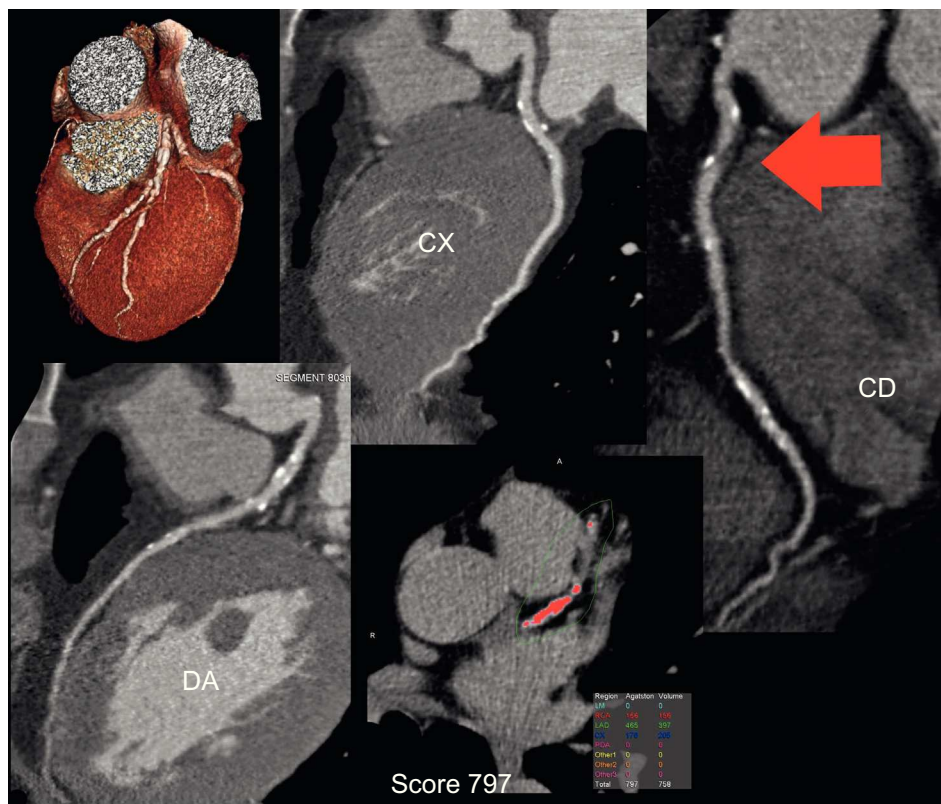


Figura 3. Evaluación de anatomía coronaria en paciente con dolor torácico y prueba de detección de isquemia no concluyente. Se demuestra lesión grave de la coronaria derecha proximal. CD: coronaria derecha; CX: circunfleja; DA: descendente anterior.

las lesiones coronarias sin necesidad de hacer estrés farmacológico utilizando el gradiente de atenuación de contraste⁷² o la valoración no invasiva de la reserva de flujo coronaria⁷³.

La TC se ha convertido en el mejor aliado del intervencionismo estructural. En el implante de implante percutáneo de válvula aórtica, la predicción del ángulo de la escopia acorta el procedimiento y mejora los resultados⁷⁴. La resolución de la imagen es insuperable, por lo que la cardio-TC aparece actualmente en la investigación clínica con todos los nuevos modelos de prótesis⁷⁵ y dispositivos percutáneos.

RESONANCIA MAGNÉTICA CARDIACA

Introducción

En los últimos años, la CRM se ha consolidado como la técnica más precisa para la caracterización tisular miocárdica, tanto en cardiopatía isquémica como en miocardiopatías. Además, diversos estudios demuestran su valor pronóstico en el seguimiento a largo plazo.

Cardiopatía isquémica

A pesar de la controversia existente sobre la determinación del área miocárdica en riesgo, la CRM sigue siendo la técnica de elección para cuantificarla. En un estudio en modelo canino, las secuencias cartográficas T1 y T2 previas al contraste presentaron una excelente correlación con las microesferas para la estimación del área en riesgo⁷⁶. Además, en pacientes tras un infarto agudo de miocardio, las secuencias STIR (*short tau inversion recovery*) presentan una excelente correlación con las puntuaciones angiográficas y con la superficie endocárdica infartada⁷⁷. La razón entre el área en riesgo y el miocardio necrosado permite determinar el miocardio salvado. El tiempo dolor-reperusión y la presencia de diabetes mellitus son los principales factores que influyen en dicho parámetro⁷⁸. En pacientes sometidos a angioplastia de rescate, el miocardio rescatado es mínimo debido al retraso temporal en la apertura de la arteria⁷⁹. Con el fin de disminuir el tamaño de la necrosis y aumentar el miocardio rescatado, se han desarrollado diversas estrategias de reperusión, como la administración de adenosina intracoronaria (estudio multicéntrico nacional PROMISE, cuyos resultados están en fase de publicación) o la administración de abciximab intracoronario, que no se ha demostrado superior a su administración intravenosa convencional⁸⁰.

Desde el punto de vista pronóstico, el tamaño de la necrosis miocárdica es el principal determinante de eventos adversos en el seguimiento⁸¹. En este sentido y utilizando una variable de determinación más rápida (la cuantificación del número de segmentos con transmuralidad de necrosis > 50%), la presencia de más de 6 segmentos transmursales es el principal predictor de eventos en el seguimiento a largo plazo⁸² (figura 4).

Cardiorresonancia de estrés

Diversos estudios recientes han demostrado la superioridad de la CRM de estrés con adenosina frente a la SPECT para el diagnóstico de enfermedad coronaria tanto en estudios unicéntricos⁸³ como en multicéntricos⁸⁴, y se está estableciendo dicha técnica como una excelente alternativa diagnóstica.

Miocardiopatías

En pacientes con miocardiopatía dilatada no isquémica, la presencia de realce intramiocárdico determina una tasa de eventos

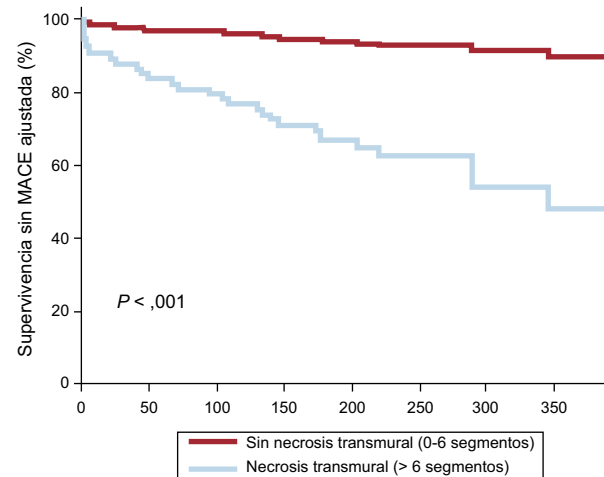


Figura 4. Supervivencia sin eventos adversos cardiovasculares mayores ajustada en pacientes con y sin necrosis transmural extensa. MACE: eventos adversos cardíacos mayores. Adaptado con permiso de Merlos et al⁸².

adversos similar a la que presentan los pacientes con miocardiopatía dilatada isquémica⁸⁵. Dicho factor es independiente de la fracción de eyección⁸⁶.

La revascularización coronaria en pacientes con miocardiopatía dilatada isquémica con disfunción sistólica grave y viabilidad por CRM mejora el pronóstico respecto al tratamiento médico⁸⁷. Si bien no se trata de un ensayo clínico, sus resultados demuestran el beneficio de estudiar la viabilidad miocárdica y se contraponen a los controvertidos resultados del estudio STICH.

Finalmente, en pacientes con miocardiopatía hipertrófica portadores de mutaciones sarcoméricas sin hipertrofia ventricular, la cartografía T1 muestra un aumento de fibrosis/volumen extracelular, lo que indica que el remodelado fibrótico se activa ya en fases iniciales de la enfermedad y que una actuación terapéutica en dichas etapas podría modificar el curso de la enfermedad⁸⁸.

CONFLICTO DE INTERESES

Ninguno.

BIBLIOGRAFÍA

- Piella G, De Craene M, Butakoff C, Grau V, Yao Ch, Nedjati-Gilani S, et al. Multiview diffeomorphic registration: Application to motion and strain estimation from 3 D echocardiography. *Medical Image Analysis*. 2013;17:348-64.
- Shalhaf A, Behnam H, Alizade-Sani Z, Shojafard M. Automatic classification of left ventricular regional wall motion abnormalities in echocardiography images using nonrigid image registration. *J Digit Imaging*. 2013;26:909-19.
- Rong S, Woo K, Zhou Q, Zhu Q, Wu Q, Wang Q, et al. Septal ablation induced by transthoracic high-intensity focused ultrasound in canines. *J Am Soc Echocardiogr*. 2013;26:1228-34.
- Auricchio A, Delnoy PP, Regoli F, Seifert M, Markou T, Butter C. First-in-man implantation of leadless ultrasound-based cardiac stimulation pacing system: novel endocardial left ventricular resynchronization therapy in heart failure patients. *Europace*. 2013;15:1191-7.
- Singh S, Bansal M, Maheshwari P, Adams D, Sengupta SP, Price R, et al. American Society of Echocardiography: Remote Echocardiography with Web-Based Assessments for Referrals at a Distance (ASE-REWARD) Study. *J Am Soc Echocardiogr*. 2013;26:221-33.
- Harb SC, Cook T, Jaber WA, Marwick TH. Exercise testing in asymptomatic patients after revascularization. Are outcomes altered? *Arch Intern Med*. 2012;172:854-61.
- Makani H, Bangalore S, Halpern D, Makwana HG, Chaudhry FA. Cardiac outcomes with submaximal normal stress echocardiography. A meta-analysis. *J Am Coll Cardiol*. 2012;60:1393-401.
- Argulian E, Halpern DG, Agarwal V, Agarwal SK, Chaudhry FA. Predictors of ischemia in patients referred for evaluation of exertional dyspnea: a stress echocardiography study. *J Am Soc Echocardiogr*. 2013;26:72-6.

9. Nicola Gaibazzi N, Rigo F, Lorenzoni V, Molinaro S, Bartolomucci F, Reverberi C, et al. Comparative prediction of cardiac events by wall motion, wall motion plus coronary flow reserve, or myocardial perfusion analysis. A multicenter study of contrast stress echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 2013;61:1–12.
10. Porter TR, Smith LM, Wu J, Thomas D, Haas JT, Mathers DH, et al. Patient outcome following 2 different stress imaging approaches. A prospective randomized comparison. *J Am Coll Cardiol* 2013;61:2446–55.
11. Smith LA, Dworakowski R, Bhan A, Delithanasis I, Hancock J, MacCarthy PA, et al. Real-time three-dimensional transesophageal echocardiography adds value to transcatheter aortic valve implantation. *J Am Soc Echocardiogr* 2013;26:359–69.
12. Husser O, Andreas Holzamer A, Endemann DH, Nunez J, Bodi V, Schmid C, et al. Prosthesis sizing for transcatheter aortic valve implantation — Comparison of three dimensional transesophageal echocardiography with multislice computed tomography. *Int J Cardiol* 2013;168:3431–8.
13. Shahgaldi K, Da Silva C, Bäck M, Rück A, Manouras A, Sahlén A. Transesophageal echocardiography measurements of aortic annulus diameter using biplane mode in patients undergoing transcatheter aortic valve implantation. *Cardiovasc Ultrasound* 2013;11:1–7.
14. Sinning JM, Vasa-Nicotera M, Chin D, Hammerstingl CH, Ghanem A, Bence J, et al. Werner evaluation and management of paravalvular aortic regurgitation after transcatheter aortic valve replacement. *J Am Coll Cardiol* 2013;62:11–20.
15. Foster E, Kwan D, Feldman T, Weissman NJ, Grayburn PA, Schwartz A, et al. Percutaneous mitral valve repair in the initial EVEREST cohort: evidence of reverse left ventricular remodeling. *Circ J Cardiovasc Imaging* 2013;6:522–30.
16. Krishnaswamy A, Kapadia SR, Tuzcu EM. Percutaneous paravalvular leak closure. Imaging techniques and outcomes *Circ J* 2013;77:19–27.
17. Freixa X, Tzicas A, Sobrino A, Chan J, Basmadjian AJ, Ibrahim R. Left atrial appendage closure with the Amplatzer™ Cardiac Plug: impact of shape and device sizing on follow-up leaks. *Int J Cardiol* 2013;168:1023–7.
18. Plicht B, Konorza TF, Kahlert P, Al-Rashid F, Kaelsch H, Jánosi RA, et al. Risk factors for thrombus formation on the Amplatzer Cardiac Plug after left atrial appendage occlusion. *JACC Cardiovasc Interv* 2013;6:606–13.
19. Lauten J, Rost C, Breithardt OA, Seligmann C, Klinghammer L, Daniel WG, et al. Invasive hemodynamic characteristics of low gradient severe aortic stenosis despite preserved ejection fraction. *J Am Coll Cardiol* 2013;61:1799–808.
20. González-Cánovas C, Muñoz-Esparza C, Oliva MJ, González-Carrillo J, López-Cuenca A, Saura D, et al. Estenosis aórtica grave con bajo gradiente y fracción de eyección normal: ¿una cuestión de mala clasificación? *Rev Esp Cardiol* 2013;66:255–60.
21. Clavel MA, Dumesnil JG, Capoulade R, Mathieu P, Sénéchal M, Pibarot P. Outcome of patients with aortic stenosis, small valve area, and low-flow, low-gradient despite preserved left ventricular ejection fraction. *J Am Coll Cardiol* 2012;60:1259–67.
22. Melis G, Frontera G, Caldentey G, Sahuquillo A, Fernández-Palomeque C, Forteza JF, et al. El análisis del flujo aórtico por ecocardiografía Doppler es útil en la estratificación pronóstica de los pacientes con estenosis aórtica grave con fracción de eyección normal. *Rev Esp Cardiol* 2013;66:261–8.
23. Ozkan A, Hachamovitch R, Kapadia SR, Tuzcu EM, Marwick TH. Impact of aortic valve replacement on outcome of symptomatic patients with severe aortic stenosis with low gradient and preserved left ventricular ejection fraction. *Circulation* 2013;128:622–31.
24. Clavel MA, Vladimir P, Sylvestre E, Maréchal S, Dumesnil JG, Capoulade R, et al. Stress echocardiography to assess stenosis severity and predict outcome in patients with paradoxical low-flow, low-gradient aortic stenosis and preserved LVEF. *JACC Cardiovasc Imaging* 2013;6:175–83.
25. Michelena HI, Margaryan E, Miller FA, Eleid M, Maalouf J, Suri R, et al. Inconsistent echocardiographic grading of aortic stenosis: is the left ventricular outflow tract important? *Heart* 2013;99:921–31.
26. Fougères E, Tribouilloy C, Monchi M, Petit-Eisenmann H, Baleynaud S, Pasquet A, et al. Outcomes of pseudo-severe aortic stenosis under conservative treatment. *Eur Heart J* 2012;33:2426–33.
27. Kusunose K, Popović ZB, Motoki H, Marwick TH. Prognostic significance of exercise-induced right ventricular dysfunction in asymptomatic degenerative mitral regurgitation. *Circ Cardiovasc Imaging* 2013;6:167–76.
28. Lee AP, Hsiung MC, Salgo IS, Fang F, Xie JM, Zhang YC, et al. Quantitative analysis of mitral valve morphology in mitral valve prolapse with real-time 3-dimensional echocardiography: importance of annular saddle shape in the pathogenesis of mitral regurgitation. *Circulation* 2013;127:832–41.
29. Thavendiranathan P, Liu S, Datta S, Rajagopalan S, Ryan T, Igo SR, et al. Quantification of chronic functional mitral regurgitation by automated 3-dimensional peak and integrated proximal isovelocity surface area and stroke volume techniques using real-time 3-dimensional volume color Doppler echocardiography: in vitro and clinical validation. *Circ Cardiovasc Imaging* 2013;6:125–33.
30. Calleja A, Thavendiranathan P, Ionasec RI, Houle H, Liu S, Voigt I, et al. Automated quantitative 3-dimensional modeling of the aortic valve and root by 3-dimensional transesophageal echocardiography in normals, aortic regurgitation, and aortic stenosis: comparison to computed tomography in normals and clinical implications. *Circ Cardiovasc Imaging* 2013;6:99–108.
31. Chahal NS, Lim TK, Jain P, Chambers JC, Koener JS, Senior R. Population-based reference values for 3D echocardiographic LV volumes and ejection fraction. *JACC Cardiovasc Imaging* 2012;5:1191–7.
32. Vettukattil JJ, Ahmed Z, Salmon AP, Mohun T, Anderson RH. Defects in the oval fossa: morphologic variations and impact on transcatheter closure. *J Am Soc Echocardiogr* 2013;26:192–9.
33. Mirea O, Maffessanti F, Gripari P, Tamborini G, Muratori M, Fusini L, et al. Effects of aging and body size on proximal and ascending aorta and aortic arch: inner edge-to-inner edge reference values in a large adult population by two-dimensional transthoracic echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2013;26:419–27.
34. Shiran H, Haddad F, Miller DC, Liang D. Comparison of aortic root diameter to left ventricular outflow diameter versus body surface area in patients with Marfan syndrome. *Am J Cardiol* 2012;110:1518–22.
35. Panayotova R, Macnab A, Waterworth PD. A pilot project of familial screening in patients with bicuspid aortic valve disease. *J Heart Valve Dis* 2013;22:150–5.
36. Risum N, Ali S, Olsen NT, Jons C, Khouri MG, Lauridsen TK, et al. Variability of global left ventricular deformation analysis using vendor dependent and independent two-dimensional speckle-tracking software in adults. *J Am Soc Echocardiogr* 2012;25:1195–203.
37. Jasaityte R, Heyde B, D'hooge J. Current state of three-dimensional myocardial strain estimation using echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2013;26:15–28.
38. Biswas M, Sudhakar S, Nanda NC, Buckberg G, Pradhan M, Roomi AU, et al. Two- and three-dimensional speckle tracking echocardiography: clinical applications and future directions. *Echocardiography* 2013;30:88–105.
39. Kleijn SA, Brouwer WP, Aly MF, Rüssel IK, De Roest GJ, Beek AM, et al. Comparison between three-dimensional speckle-tracking echocardiography and cardiac magnetic resonance imaging for quantification of left ventricular volumes and function. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2012;13:834–9.
40. Kearney LG, Lu K, Ord M, Patel SK, Profitis K, Matalanis G, et al. Global longitudinal strain is a strong independent predictor of all-cause mortality in patients with aortic stenosis. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2012;13:827–33.
41. Yingchoncharoen T, Gibby C, Rodriguez LL, Grimm RA, Marwick TH. Association of myocardial deformation with outcome in asymptomatic aortic stenosis with normal ejection fraction. *Circ Cardiovasc Imaging* 2012;5:19–25.
42. Witkowski TG, Thomas JD, Debonnaire PJ, Delgado V, Hoke U, Ewe SH, et al. Global longitudinal strain predicts left ventricular dysfunction after mitral valve repair. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2013;14:69–76.
43. Christian JB, Finkle JK, Ky B, Douglas PS, Gutstein DE, Hockings PD, et al. Cardiac imaging approaches to evaluate drug-induced myocardial dysfunction. *Am Heart J* 2012;164:846–55.
44. Thavendiranathan P, Grant AD, Negishi T, Plana JC, Popović ZB, Marwick TH. Reproducibility of echocardiographic techniques for sequential assessment of left ventricular ejection fraction and volumes: application to patients undergoing cancer chemotherapy. *J Am Coll Cardiol* 2013;61:77–84.
45. Sawaya H, Sebag IA, Plana JC, Januzzi JL, Ky B, Tan TC, et al. Assessment of echocardiography and biomarkers for the extended prediction of cardiotoxicity in patients treated with anthracyclines, taxanes, and trastuzumab. *Circ Cardiovasc Imaging* 2012;5:596–603.
46. Utomi V, Oxenbrough D, Whyte GP, Somauroo J, Sharma S, Shave R, et al. Systematic review and meta-analysis of training mode, imaging modality and body size influences on the morphology and function of the male athlete's heart. *Heart* 2013 Mar 9 [Epub ahead of print].
47. Patel MR, White RD, Abbara S, Bluemke DA, Herfkens RJ, Picard M, et al. 2013 ACCF/ACR/ASE/ASNC/SCCT/SCMR appropriate utilization of cardiovascular imaging in heart failure: a joint report of the American College of Radiology Appropriateness Criteria Committee and the American College of Cardiology Foundation Appropriate Use Criteria Task Force. *J Am Coll Cardiol* 2013;61:2207–31.
48. Russo AM, Stainback RF, Bailey SR, Epstein AE, Heidenreich PA, Jessup M, et al. ACCF/HRS/AHA/ASE/HFSA/SCAI/SCCT/SCMR 2013 appropriate use criteria for implantable cardioverter-defibrillators and cardiac resynchronization therapy. *J Am Coll Cardiol* 2013;61:1318–68.
49. Daubert JC, Saxon L, Adamson PB, Auricchio A, Berger RD, Beshai JF, et al. 2012 EHRA/HRS expert consensus statement on cardiac resynchronization therapy in heart failure: implant and follow-up recommendations and management. *Europace* 2012;14:1236–86.
50. Kleijn SA, Aly MF, Knol DL, Terwee CB, Jansma EP, Abd El-Hady YA, et al. A meta-analysis of left ventricular dyssynchrony assessment and prediction of response to cardiac resynchronization therapy by three-dimensional echocardiography. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2012;13:763–75.
51. Dorbala S, Di Carli MF, Delbeke D, Abbara S, DePuey EG, Dilsizian V, et al. SNMMI/ASNC/SCCT guideline for cardiac SPECT/CT and PET/CT 1.0. *J Nucl Med* 2013;54:1485–507.
52. Candell-Riera J, Ferreira-González I, Marsal JR, Aguadé-Bruix S, Cuberas-Borrós G, Pujol P, et al. Usefulness of exercise test and myocardial perfusion-gated single photon emission computed tomography to improve the prediction of major events. *Circ Cardiovasc Imaging* 2013;6:531–41.
53. Romero-Farina G, Candell-Riera J, Aguadé-Bruix S, Cuberas-Borrós G, Ferreira-González I, Pizzi MN, et al. Predictive variables for hard cardiac events and coronary revascularization in patients with normal left ventricular myocardial perfusion and systolic function. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2013;40:1181–9.
54. Rodríguez-Palomares JF, Alonso A, Martí G, Aguadé-Bruix S, González-Alujas MT, Romero-Farina G, et al. Quantification of myocardial area at risk in the absence of collateral flow: the validation of angiographic scores by myocardial perfusion single-photon emission computed tomography. *J Nucl Cardiol* 2013;20:99–110.
55. Cuberas-Borrós G, Pineda V, Aguadé-Bruix S, Romero-Farina G, Pizzi MN, De Leon G, et al. Gated-SPECT de perfusión miocárdica como técnica complementaria de la resonancia magnética para pacientes con infarto de miocardio crónico. *Rev Esp Cardiol* 2013;66:721–7.

56. Romero-Farina G, Aguadé-Bruix S, Pizzi MN, Cuberas-Borrós G, De León G, Castell-Conesa J, et al. Análisis de la función diastólica mediante *gated*-SPECT de perfusión miocárdica tras revascularización coronaria en el infarto agudo de miocardio. *Rev Esp Med Nucl Imagen Mol*. 2013;32:8-12.
57. Pizzi MN, Franquet E, Aguadé-Bruix S, Manso B, Casaldáliga J, Cuberas-Borrós G, et al. Long-term follow-up assessment after the arterial switch operation for correction of dextro-transposition of the great arteries by means of exercise myocardial perfusion-gated SPECT. *Pediatr Cardiol*. 2013 Jul 11. 10.1007/s00246-013-0759-4.
58. Dorbala S, Di Carli MF, Beanlands RS, Merhige ME, Williams BA, Veledar E, et al. Prognostic value of stress myocardial perfusion positron emission tomography. Results from a multicenter observational registry. *J Am Coll Cardiol*. 2013;61:176-84.
59. Rischpler C, Nekolla SG, Dregely I, Schwaiger M. Hybrid PET/MR imaging of the heart: potential, initial experiences, and future prospects. *J Nucl Med*. 2013;54:402-15.
60. Erba PA, Sollini M, Lazzeri E, Mariani G. FDG-PET in cardiac infections. *Semin Nucl Med*. 2013;43:377-95.
61. Sarrazin JF, Philippon F, Tessier M, Guimond J, Molin F, Champagne J, et al. Usefulness of fluorine-18 positron emission tomography/computed tomography for identification of cardiovascular implantable electronic device infections. *J Am Coll Cardiol*. 2012;59:1616-25.
62. Saby L, Laas O, Habib G, Cammilleri S, Mancini J, Tessonnier L, et al. Positron emission tomography/computed tomography for diagnosis of prosthetic valve endocarditis increased valvular 18F-fluorodeoxyglucose uptake as a novel major criterion. *J Am Coll Cardiol*. 2013;61:2374-82.
63. McEvoy JW, Blaha MJ, Rivera JJ, Budoff MJ, Khan AN, Shaw LJ, et al. Mortality rates in smokers and nonsmokers in the presence or absence of coronary artery calcification. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2012;10:1037-45.
64. Cho I, Chang HJ, Sung JM, Pencina MJ, Lin FY, Achenbach S, et al. Coronary computed tomographic angiography and risk of all-cause mortality and nonfatal myocardial infarction in subjects without chest pain syndrome from the CONFIRM Registry. *Circulation*. 2012;126:304-13.
65. Shaw LJ, Hausleiter J, Achenbach S, Al-Mallah M, Berman DS, Budoff MJ, et al. Coronary computed tomographic angiography as a gatekeeper to invasive diagnostic and surgical procedures: results from the multicenter CONFIRM registry. *J Am Coll Cardiol*. 2012;60:2103-14.
66. Montalescot G, Sechtem U, Achenbach S, Andreotti F, Arden C, Budaj A, et al. 2013 ESC guidelines on the management of stable coronary heart disease. *Eur Heart J*. 2013;34:2949-3003.
67. Poon M, Cortegiano M, Abramowicz AJ, Hines M, Singer AJ, Henry MC, et al. Associations between routine coronary computed tomographic angiography and reduced unnecessary hospital admissions, length of stay, recidivism rates, and invasive coronary angiography in the emergency department triage of chest pain. *J Am Coll Cardiol*. 2013;62:543-52.
68. Opolski MP, Kepka C, Achenbach S, Juraszynski Z, Pregowski J, Kruk M, et al. Coronary computed tomographic angiography for prediction of procedural and intermediate outcome of bypass grafting to left anterior descending artery occlusion with failed visualization on conventional angiography. *Am J Cardiol*. 2012;109:1722-8.
69. Aldrovandi A, Cademartiri F, Arduini D, Lina D, Ugo F, Maffei E, et al. Computed tomography coronary angiography in patients with acute myocardial infarction without significant coronary stenosis. *Circulation*. 2012;126:3000-7.
70. Otsuka K, Fukuda S, Tanaka A, Nakanishi K, Taguchi H, Yoshikawa J, et al. Napkin-ring sign on coronary CT angiography for the prediction of acute coronary syndrome. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2013;6:448-57.
71. Bettencourt N, Chiribiri A, Schuster A, Ferreira N, Sampaio F, Pires-Morais G, et al. Direct comparison of cardiac magnetic resonance and multidetector computed tomography stress-rest perfusion imaging for detection of coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol*. 2013;61:1099-107.
72. Wong DT, Ko BS, Cameron JD, Nerlekar N, Leung MC, Malaipayan Y, et al. Transluminar attenuation gradient in coronary computed tomography angiography is a novel noninvasive approach to the identification of functionally significant coronary artery stenosis: a comparison with fractional flow reserve. *J Am Coll Cardiol*. 2001;61:1271-9.
73. Min JK, Leipsic J, Pencina MJ, Berman DS, Koo BK, Van Mieghem C, et al. Diagnostic accuracy of fractional flow reserve from anatomic CT angiography. *JAMA*. 2012;308:1237-45.
74. Samim M, Stella PR, Agostoni P, Kluin J, Ramjankhan F, Budde RP, et al. Automated 3 D analysis of pre-procedural MDCT to predict annulus plane angulation and C-arm positioning: benefit on procedural outcome in patients referred for TAVR. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2013;2:238-48.
75. Willson AB, Rodès-Cabau J, Wood DA, Leipsic J, Cheung A, Toggweiler S, et al. Transcatheter aortic valve replacement with the St. Jude Medical Portico valve: first-in-human experience. *J Am Coll Cardiol*. 2012;60:581-6.
76. Ugander M, Bagi PS, Oki AJ, Chen B, Hsu LY, Aletras AH, et al. Myocardial edema as detected by pre-contrast T1 and T2 CMR delineates area at risk associated with acute myocardial infarction. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2012;5:596-603.
77. Moral S, Rodríguez-Palomares JF, Descalzo M, Martí G, Pineda V, Otaegui I, et al. Cuantificación del área miocárdica en riesgo: validación de puntuaciones angiográficas coronarias con métodos de resonancia magnética cardiovascular. *Rev Esp Cardiol*. 2012;65:1010-7.
78. Monmeneu JV, Bodí V, López-Lereu MP, Sanchis J, Núñez J, Chaustre F, et al. Análisis mediante resonancia magnética cardíaca del miocardio salvado tras infarto. Predictores e influencia en el remodelado adverso ventricular. *Rev Esp Cardiol*. 2012;65:634-41.
79. Ruiz-Nodar JM, Feliu E, Sánchez-Quiñones J, Valencia-Martín J, García M, Pineda J, et al. Miocardio rescatado tras angioplastia coronaria de rescate: cuantificación mediante resonancia magnética cardíaca. *Rev Esp Cardiol*. 2011;64:965-71.
80. Eitel I, Wöhrle J, Suenkel H, Meissner J, Kerber S, Lauer B, et al. Intracoronary compared with intravenous bolus abciximab application during primary percutaneous coronary intervention in ST-segment elevation myocardial infarction: cardiac magnetic resonance substudy of the AIDA STEMI trial. *J Am Coll Cardiol*. 2013;61:1447-54.
81. Lonborg J, Vejlsstrup N, Kelbaek H, Holmvang L, Jorgensen E, Helqvist S, et al. Final infarct size measured by cardiovascular magnetic resonance in patients with ST elevation myocardial infarction predicts long-term clinical outcome: an observational study. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2013;14:387-95.
82. Merlos P, López-Lereu MP, Monmeneu JV, Sanchis J, Núñez J, Bonanad C, et al. Valor pronóstico a largo plazo del análisis completo de los índices de resonancia magnética cardíaca tras un infarto de miocardio con elevación de ST. *Rev Esp Cardiol*. 2013;66:613-22.
83. Greenwood JP, Maredia N, Younger JF, Brown JM, Nixon J, Everett CC, et al. Cardiovascular magnetic resonance and single-photon emission computed tomography for diagnosis of coronary heart disease (CE-MARC): a prospective trial. *Lancet*. 2012;379:453-60.
84. Schwitzer J, Wacker CM, Wilke N, Al-Saadi N, Sauer E, Huettel K, et al. MR-IMPACT II: Magnetic Resonance Imaging for Myocardial Perfusion Assessment in Coronary artery disease Trial: perfusion-cardiac magnetic resonance vs. single-photon emission computed tomography for the detection of coronary artery disease: a comparative multicentre, multivendor trial. *Eur Heart J*. 2013;34:775-81.
85. Leyva F, Taylor RJ, Foley PW, Umar F, Mulligan LJ, Patel K, et al. Left ventricular midwall fibrosis as a predictor of mortality and morbidity after cardiac resynchronization therapy in patients with nonischemic cardiomyopathy. *J Am Coll Cardiol*. 2012;60:1659-67.
86. Gulati A, Jabbour A, Ismail TF, Guha K, Khwaja J, Raza S, et al. Association of fibrosis with mortality and sudden cardiac death in patients with nonischemic dilated cardiomyopathy. *JAMA*. 2013;309:896-908.
87. Gerber BL, Rousseau MF, Ahn SA, Le Polain de Waroux JB, Pouleur AC, Philips T, et al. Prognostic value of myocardial viability by delayed-enhanced magnetic resonance in patients with coronary artery disease and low ejection fraction: impact of revascularization therapy. *J Am Coll Cardiol*. 2012;59:825-35.
88. Ho CY, Abbasi SA, Neilan TG, Shah RV, Chen Y, Heydari B, et al. T1 measurements identify extracellular volume expansion in hypertrophic cardiomyopathy sarcomere mutation carriers with and without left ventricular hypertrophy. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2013;6:415-22.