

Las técnicas de imagen en cardiología: la respuesta actual a los interrogantes de siempre

J. Barba¹, G. Bastarrika², M.J. García Velloso³

¹Departamento de Cardiología y Cirugía Cardiovascular; ²Servicio de Radiología; ³Servicio de Medicina Nuclear. Clínica Universitaria. Facultad de Medicina. Universidad de Navarra

Correspondencia:

Joaquín Barba

Departamento de Cardiología y Cirugía Cardiovascular

Clínica Universitaria. Facultad de Medicina. Universidad de Navarra

Pío XII, 36. 31008. Pamplona

(jbarba@unav.es)

Resumen

Grandes avances han tenido lugar en la cardiología no invasiva para mejorar la visualización de la anatomía y función cardíacas y comprender mejor las enfermedades del corazón. El desarrollo de la ecocardiografía ha tenido lugar incrementando su simplicidad o complejidad. Desde pequeños equipos ultraportátiles que proporcionan información básica, hasta los equipos más complejos con imagen tridimensional que permiten un análisis minucioso de la función regional.

La resonancia magnética es una de las técnicas que se ha incorporado a la cardiología no invasiva. Permite valorar la función, la masa, los volúmenes cardíacos y detectar infarto de miocardio, fibrosis, así como, patología valvular o congénita. La tomografía computarizada se usa, también, para detectar y cuantificar la aparición de enfermedad coronaria y el calcio coronario aunque el uso de este último es controvertido.

Técnicas de medicina nuclear como el SPECT (Single Photon Emission Computed Tomography) permiten estudiar la perfusión miocárdica de forma costo-eficaz. También la PET (Positron Emission tomography) es útil en el estudio de la perfusión, metabolismo, selección de pacientes para revascularización y en su aplicación en investigación translacional en modelos animales transgénicos.

Palabras clave: Ecocardiografía. Resonancia magnética. Tomografía computadorizada. Medicina Nuclear.

Introducción

Las técnicas de imagen han sufrido un importante desarrollo general en los últimos años tanto en lo que se refiere a técnicas basadas en ultrasonidos como en imagen radiológica (TAC y resonancia) o en técnicas propias de la medicina nuclear (SPECT y PET). En la actualidad prácticamente todas, en mayor o menor medida, se aplican en el diagnóstico y seguimiento de las enfermedades cardíacas. En el presente artículo se revisan todas ellas y se apuntan las posibles directrices que su uso pueda tener en los próximos años.

Summary

Tremendous advances have been made in non-invasive cardiology, such as improved visualization of the anatomy and function of the heart and better understanding of heart disease. Echocardiography has improved in both simplicity and complexity, offering a range of modalities from small, hand-held devices that provide basic information simply and inexpensively to complex, dynamic three-dimensional imaging of regional myocardial function.

Cardiovascular magnetic resonance imaging is the newest technique for non-invasive cardiology. It assesses cardiac function, mass and volume and can detect myocardial infarction, fibrosis, valvular and congenital heart disease. Computed tomography is used to detect and quantify coronary heart disease and coronary calcium, high scores being related to increased risk, but its use remains controversial.

Myocardial perfusion scintigraphy single photon emission computed tomography (SPECT) is cost effective in investigating patients with suspected coronary disease and acute coronary syndrome. Also positron emission tomography (PET) is useful in the study of perfusion, metabolism, patients selection for revascularization, and in translational research in transgenic animal models.

Key words: Echocardiography. Magnetic resonance. Computed tomography. Nuclear medicine.

Ecocardiografía-doppler

La ecocardiografía es la técnica que mayor difusión cuenta en la actualidad. Con más de cincuenta años de desarrollo a sus espaldas es la técnica más asequible, con mayor resolución temporal, mayor aplicabilidad y disponibilidad, si bien es la técnica menos reproducible y más operador dependiente (Tabla 1).

En la actualidad, además, se dispone de diferentes modalidades con diferentes aplicaciones como la ecocardiografía transtorácica, transesofágica, de estrés físico o farmacológico, intraoperatoria, de contraste, intracardiaca, etc...

La irrupción hace ya algunos años de la imagen de segundo armónico o imagen armónica gracias al empleo de agentes de contraste ultrasónicos, también llamados potenciadores de señal, ha mejorado la calidad de imagen frente a la imagen convencional o fundamental de manera que un examen ecocardiográfico con calidad diagnóstica, es en la actualidad posible, en la mayoría de los pacientes y en la mayoría de las situaciones. Incluso, podría desplazar a la ecocardiografía transesofágica en determinadas situaciones como la detección de foramen oval permeable (FOP)¹⁻³.

En los últimos años se han producido avances relacionados, por un lado, con la miniaturización del equipamiento y, por otro, con el tipo de imagen como la tridimensional en tiempo real o con el tipo de señal analizada como el "strain" o "strain-rate". Además, se han apuntado nuevos datos relacionados con el aumento en la precisión de la técnica de cara al estudio de determinadas patologías.

Paralelamente han aparecido en el mercado equipos de reducido tamaño, ultrapotátiles cada vez con más funciones, y mejor calidad de imagen que en los próximos años competirán con los de gama elevada, si bien, en la actualidad todavía hay discordancia sobre todo en la valoración de las regurgitaciones valvulares^{4,5}. En un futuro muy próximo es de preveer el abaratamiento del coste de estos equipos, su perfeccionamiento y como consecuencia su difusión o -en expresión de algunos ecocardiografistas- su vulgarización. Esto plantea un pequeño debate en virtud de la dependencia del operador de la técnica, sobre el nivel de formación requerido para su manejo y, sobre los diferentes puntos de vista de cardiólogos, intensivistas, anestesiólogos, etc... De cualquier forma está claro que, este tipo de examen, pasará en pocos años a ser una extensión de la exploración física, por lo que será necesario un esfuerzo de formación a todos los niveles, como lo demuestra el hecho de que en la actualidad, ya se utilizan estos equipos en determinadas consultas con una mayor rapidez en los procesos y un abaratamiento de costes⁶⁻⁷.

Pero, sin duda, el avance más importante aparecido en los últimos años es la ecocardiografía tridimensional en tiempo real (Figuras 1 y 2). Hasta la fecha existían diferentes métodos de obtención de imágenes tridimensionales que requerían por un lado un tiempo de adquisición de imágenes prolongado y, por otro, un largo tiempo de reconstrucción de la imagen. Esta técnica permite obtener imágenes reducidas en tiempo real o bien otras reconstruidas a partir de cuatro ciclos cardíacos que permiten obtener un volumen completo del corazón. Los primeros estudios para validar la exactitud de esta técnica han aparecido recientemente y demuestran mayor exactitud que la ecocardiografía bidimensional convencional en la medida de volúmenes ventriculares, con menor infraestimación en el cálculo del volumen telediastólico, telesistólico y la determinación de la masa de ventrículo izquierdo cuando se comparan con la resonancia magnética⁸⁻¹¹. La variabilidad también es menor para esta técnica.

Se ha demostrado particularmente útil en el estudio de patología valvular demostrando mayor grado de acuerdo a la hora de calcular la severidad de la estenosis mitral¹². También se ha demostrado recientemente su superioridad- incluso- frente a la ecocardiografía transesofágica a la hora de estudiar la regurgitación mitral y la anatomía segmentaria de los velos

Tabla 1. Comparación de las diferentes técnicas de imagen utilizadas en Cardiología

| | Eco | SPECT | PET | RM | TAC |
|---------------------|-----|-------|-----|-----|-----|
| FE | Sí | Sí | Sí | Sí | Sí |
| Función regional | Sí | Sí | Sí | Sí | Sí |
| Función diastólica | Sí | Sí | Sí | ? | ? |
| Función valvular | +++ | No | No | ++ | + |
| Estrés | Sí | Sí | Sí | Sí | ? |
| Viabilidad | Sí | Sí | Sí | Sí | ? |
| Accesibilidad | +++ | ++ | + | ++ | ++ |
| Reproducibilidad | ++ | ++ | ++ | +++ | +++ |
| Tiempo | +++ | ++ | + | ++ | + |
| Precio | +++ | + | ++ | ++ | ++ |
| Resolución espacial | ++ | + | + | +++ | +++ |
| Resolución temporal | +++ | ++ | ++ | ++ | ++ |
| Radiación | +++ | ++ | ++ | +++ | + |

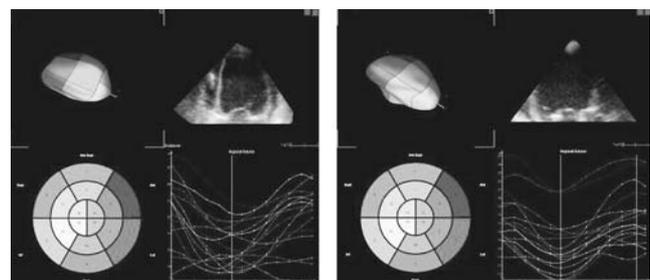
+++ : Mejor ; + : Peor.

Eco: Ecocardiograma; FE: Fracción de eyección; SPECT: Single Photon Emission Computed tomography; PET: Positron Emission Tomography; RM: Resonancia magnética; TAC: Tomografía computerizada

Figura 1. Imagen tridimensional en tiempo real en el eje largo paraesternal. Permite un análisis detallado de la dinámica valvular y de la función ventricular



Figura 2. El estudio con imagen tridimensional permite un minucioso análisis segmentario de la función ventricular. En el presente caso a la izquierda pueden verse las curvas de contractilidad regional en un paciente con desincronia en la contracción. A la derecha después del implante de un estimulador tricameral se observa el efecto de la resincronización con curvas de contractilidad regional sincrónicas



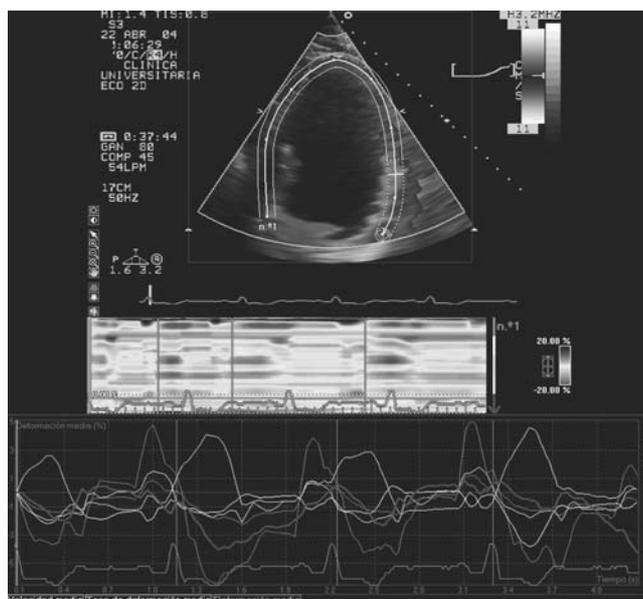
valvulares mitrales cuando se planifica cirugía reparadora o valvuloplastia. Otros estudios demuestran su utilidad en el estudio del movimiento longitudinal del anillo mitral y de la función ventricular izquierda¹³.

El empleo de agentes ecopotenciadores o contrastes ha tenido y tiene de momento sus dos grandes aplicaciones en la opacificación del ventrículo izquierdo y en el estudio de la perfusión miocárdica. Por un lado, han demostrado ser útiles en la mejora de la imagen del ventrículo izquierdo opacificando su cavidad con una mejor delimitación del borde endocárdico que permite mejorar los cálculos de función ventricular y, una mejora del análisis de la contractilidad regional en situación de estrés, o mejorar la calidad del estudio en situaciones difíciles^{14,15}. Por otro lado, es posible estudiar la perfusión miocárdica con diferentes técnicas^{16,17}, valorar la presencia de circulación colateral miocárdica, o la viabilidad miocárdica^{18,19}.

Pero fuera de la estricta aplicación clínica existen líneas de investigación que utilizan las microburbujas de estos agentes como vehículo para el transporte de plásmidos, determinados genes, o proteínas que puedan interactuar con determinados receptores en un intento de pasar del diagnóstico a la terapéutica²⁰⁻²³. También se han demostrado útiles en medir el incremento en la densidad capilar inducida por el implante de células de médula ósea²⁴.

Se ha difundido desde hace algunos años el empleo del doppler miocárdico o doppler de tejidos (DTI) tanto para el estudio de la velocidad miocárdica propiamente dicha como para el análisis de la función diastólica del ventrículo izquierdo en combinación con el estudio del llenado mitral. La relación entre la velocidad precoz del llenado mitral (E) y la velocidad precoz del anillo mitral (E'), es decir la relación E/E' muestra una estrecha correlación con la presión de llenado del ventrículo izquierdo. El estudio del DTI es útil para hacer un diagnóstico diferencial preciso entre pericarditis constrictiva y miocardiopatía

Figura 3. Curvas de strain a lo largo de tres ciclos cardíacos. Permiten también un análisis muy minucioso de la dinámica ventricular en sístole y diástole



restrictiva. La velocidad E' mayor de 8 cm/s tanto en la región lateral como en la septal del anillo predice constrictión con una sensibilidad del 95% y especificidad del 96%. Mientras que pacientes con miocardiopatía restrictiva presentan una velocidad E' reducida^{25,26}.

Una aplicación en parte derivada del DTI es el "strain" y el "strain rate". El "strain" miocárdico se define como un índice adimensional del cambio de la longitud miocárdica y se expresa como una fracción o cambio porcentual. Mientras que, el "strain rate" es la derivada respecto del tiempo del "strain" representada por la diferencial de velocidad entre dos puntos del miocardio normalizada por la distancia entre ellos. Estos cambios a lo largo del ciclo cardíaco pueden representarse en forma de escala de colores sobre la propia imagen miocárdica, por separado, bien en forma de curvas u ondas a lo largo del tiempo para cada región miocárdica de forma similar a la del DTI. Sus potenciales aplicaciones radican en el estudio de la isquemia miocárdica, la desincronía intraventricular, la viabilidad miocárdica, o su aplicación en estudios de estrés^{27,28}. Su alta resolución temporal y espacial permitirán en un futuro próximo realizar un análisis más preciso y rápido de la función regional miocárdica (Figura 3).

El uso de la ecocardiografía intracardiaca continúa extendiéndose sobre todo para la guía y monitorización de procedimientos intervencionistas como la colocación de dispositivos oclusores en defectos septales, FOP o valvulopastias, reemplazando en estas situaciones a la ETE. Proporciona la ventaja de no necesitar de anestesia general con lo que el procedimiento en general se simplifica aunque el coste es similar teniendo en cuenta el precio de los catéteres utilizados²⁹.

En cuanto a la ecocardiografía de estrés, ya sea físico o farmacológico, continúa reafirmando como uno de los métodos de diagnóstico y seguimiento de la cardiopatía isquémica más utilizados en la rutina clínica de forma convencional o con la ayuda de agentes ecopotenciadores (contrastes). Las indicaciones más claras para su aplicación son el diagnóstico de isquemia y viabilidad miocárdicas, si bien su uso puede extenderse al estudio de pacientes con disnea, valvulares, miocardiopatías, etc.³⁰. Hasta la fecha se ha venido utilizando para predecir el riesgo perioperatorio de padecer eventos cardíacos, aunque un estudio prospectivo y randomizado reciente sugiere que en el caso de la cirugía vascular no tiene valor para este propósito aunque son necesarios estudios de mayor tamaño para confirmar este hecho^{31,32}.

Otras aplicaciones ya conocidas de la ecocardiografía basadas en el análisis de la señal de retrodispersión integrada o backscatter como la detección automática de bordes, la colorquinesia, y la caracterización tisular han sufrido también avances en los últimos años y aunque su aplicación clínica sigue sin extenderse continúan siendo herramientas de investigación importantes en el estudio de la función y la estructura del miocardio sano o enfermo^{33,34}.

Técnicas radiológicas

La ecocardiografía, un procedimiento rápido y ampliamente disponible, es la técnica de primera elección para el diagnóstico y seguimiento de la mayoría de las enfermedades cardíacas. Sin embargo, el rápido desarrollo tecnológico y la aparición

de nuevas técnicas igualmente no invasivas, más exactas, menos operador dependientes y más reproducibles como son la resonancia magnética cardiovascular (RMC) y la tomografía computarizada cardiaca (TC) han supuesto que nuevas técnicas, hasta ahora poco empleadas, sean tomadas en consideración en el abordaje diagnóstico de las enfermedades cardíacas.

Hasta la fecha, en la valoración global del paciente con patología cardíaca con frecuencia se requería más de una exploración para llegar a un diagnóstico concreto. La TC y sobre todo la RMC parecen perfilarse como exploraciones complementarias a la ecocardiografía cuando por dificultades técnicas, constitución del paciente, propia patología cardíaca, etc. ésta no es concluyente. En ocasiones, se consideran ya técnicas de primera elección para la valoración de un número cada vez mayor de enfermedades cardíacas y permiten, en entidades concretas, realizar un diagnóstico completo de la enfermedad en una única exploración.

TC multidetector (TCMD)

La generalización de los equipos de TC multidetector (TCMD), la posibilidad de sincronizar la adquisición de imágenes con el registro electrocardiográfico (ECG) reconstruyendo posteriormente el estudio en la fase del ciclo cardíaco deseada y el desarrollo de nuevos programas informáticos de reconstrucción y postprocesamiento son los elementos clave que han permitido que la TCMD se haya introducido como técnica de estudio para patología cardiovascular concreta. Desde el punto de vista clínico, al valorar la realización de un estudio de TCMD se deben tener en cuenta dos consideraciones: 1. para adquirir la exploración se emplean radiaciones ionizantes en una dosis no desdeñable, aunque es cierto que con las técnicas actuales de modulación de la dosis de radiación se ha conseguido disminuir la misma de manera considerable; 2. para la gran mayoría de los estudios se debe administrar contraste yodado por vía intravenosa; contraste que está contraindicado en pacientes con alergia a este medio de contraste y en pacientes con nefropatía, ya que es un contraste de excreción renal, predominantemente.

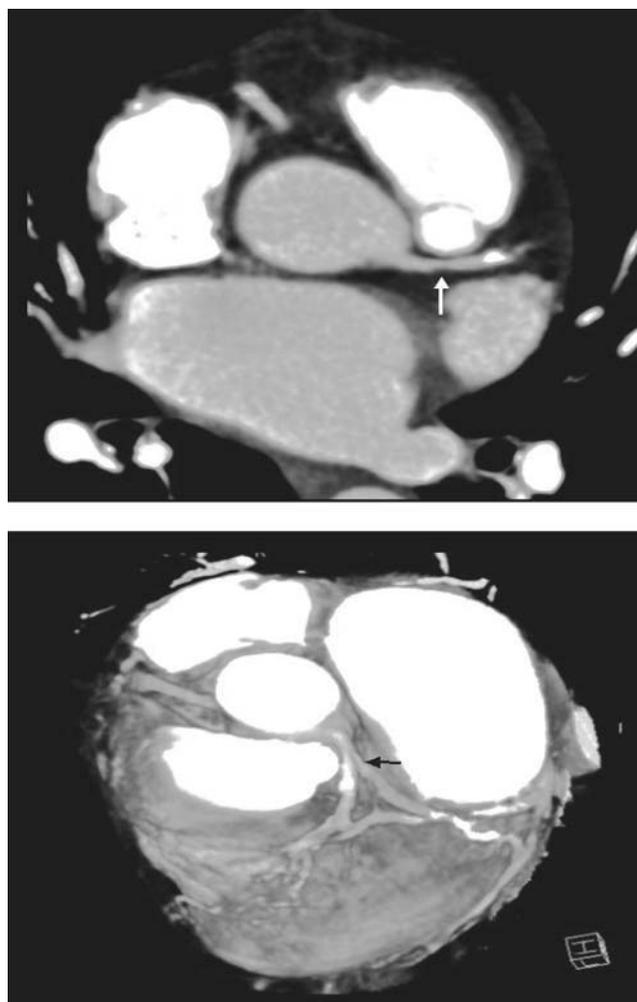
Las indicaciones más establecidas de TCMD cardíaca son³⁵: valoración prequirúrgica de los pacientes con cardiopatías congénitas en adultos y estudio de la permeabilidad de los injertos aortocoronarios³⁶⁻⁴³. Entre las indicaciones aceptadas, aunque se trata de un tema controvertido, también se considera la detección y cuantificación de la calcificación de las arterias coronarias en pacientes con dolor torácico atípico⁴⁴, para el cribado de sujetos asintomáticos (con riesgo cardiovascular moderado o bajo) y para el seguimiento evolutivo de la arteriosclerosis coronaria tras tratamiento (dietético, farmacológico)⁴⁵. Las principales indicaciones en desarrollo de la TCMD cardíaca son⁴⁶: detección y cuantificación de enfermedad coronaria⁴⁷⁻⁵⁶, valoración del grosor de la pared ventricular⁵⁷ y análisis de la función ventricular (fracción de eyección, gasto cardíaco y contractilidad regional)^{47,58-61}. Entre las indicaciones futuras se debe considerar la detección de viabilidad miocárdica⁶². Otros aspectos en investigación son: la valoración angiográfica de las endoprótesis vasculares⁶³⁻⁶⁷ y la caracterización (morfología y composición) de las placas de ateroma⁶⁸⁻⁷¹ (Figura 4). La TCMD también es útil para caracterizar las masas cardíacas intracavitarias y para valorar el pericardio⁷².

Por último, decir que la TCMD también constituye la técnica de elección en pacientes en que no se puede realizar un estudio de RMC por contraindicaciones (pacientes con implantes ferromagnéticos, pacientes claustrofóbicos, etc.)

Resonancia Magnética Cardiovascular (RMC)

La RMC es una técnica no invasiva, bien tolerada y segura que actualmente se encuentra disponible en la mayoría de los centros hospitalarios. De hecho, la RMC se debe considerar en la práctica clínica diaria como la exploración idónea para el diagnóstico y manejo de las enfermedades del sistema cardiovascular ya que se trata de una técnica inocua, el paciente no se expone a radiaciones ionizantes y permite obtener imágenes tanto anatómicas como funcionales en cualquier plano del espacio (capacidad multiplanar)^{73,74}. Las secuencias eco de gradiente (cineRM), contraste de fase (flujo) y secuencias de angioRM, en otras, permiten estudiar en una única exploración la anatomía del corazón y valorar parámetros de función cardíaca de forma cualitativa, semicuantitativa y cuantitativa⁷⁵.

Figura 4. Angiografía coronaria por TC multidetector (TCMD). 4a. Reconstrucción multiplanar (MPR). Placa blanda en la arteria coronaria descendente anterior (flecha). 4b. Reconstrucción volumétrica (VR). No se observa estenosis significativa (flecha).



De acuerdo con la indicación clínica y la patología a estudiar, puede ser preciso administrar contraste intravenoso (gadolinio, Gd-DTPA). El contraste empleado, aunque presenta propiedades farmacocinéticas similares al contraste yodado utilizado en los estudios de TCMD (contraste de distribución extracelular y excreción predominante renal), posee un mejor perfil de seguridad y menor nefrotoxicidad. Por tanto, la nefropatía o la alergia al contraste yodado no son una contraindicación para la administración de Gd-DTPA y, de hecho, la RMC es la técnica de elección para el estudio de la vascularización en pacientes con dichos antecedentes. Los materiales ferromagnéticos (clips férricos intracraneales, cuerpos extraños metálicos intraoculares, etc.) sí que constituyen una contraindicación para el estudio de RMC. Tampoco se deben introducir en el equipo de RM pacientes con implantes cocleares o audífonos. Los implantes metálicos como las prótesis de cadera, suturas de esternotomía, endoprótesis coronarias (stent) y las prótesis valvulares cardíacas no son una contraindicación siempre y cuando no estén compuestas por materiales ferromagnéticos. Se prefiere no estudiar por RMC a los pacientes con marcapasos, desfibriladores u otros implantes electrónicos⁷⁶.

De acuerdo, con el panel de consenso originado, aprobado y fundado por el Grupo de Trabajo de RMC de la Sociedad Europea de Cardiología y la Sociedad de Resonancia Magnética Cardiovascular^{76,77}, las indicaciones de la RMC se pueden dividir en cuatro grandes grupos:

1. cardiopatías congénitas,
2. enfermedades vasculares adquiridas,
3. enfermedad coronaria y

Figura 5. RM cardíaca. Eje largo del ventrículo izquierdo. Realce tardío transmural extenso en el territorio de la arteria coronaria coronaria derecha. El realce tardío indica ausencia de viabilidad miocárdica



4. miocardiopatías, trasplante cardíaco, enfermedades del pericardio y masa cardíacas.

Desde el punto de vista clínico, y dado que enfermedades cardiovasculares y especialmente la enfermedad coronaria constituyen la primera causa de muerte en la edad adulta⁷⁴, una de las aplicaciones más relevantes de la RMC es precisamente la valoración de la enfermedad coronaria y el estudio de la cardiopatía isquémica⁷⁸. La RMC puede detectar enfermedad coronaria bien de forma indirecta, mediante la demostración de los efectos de la isquemia inducida en estudios de estrés (alteraciones de la perfusión-adenosina, alteraciones de la contractilidad-dobutamina)^{79,80} o bien, aunque todavía en vías de desarrollo, mediante la visualización directa de las arterias coronarias (anatomía y flujo coronario)^{81,82}. La RMC también es una técnica de gran utilidad para valorar el infarto de miocardio, tanto agudo como crónico, tras administrar contraste intravenoso (Gd-DTPA). La presencia de captación tardía de contraste por parte del miocardio y la extensión de la misma (transmuralidad) son indicadores de viabilidad miocárdica (Figura 5). Por otra parte, en los pacientes con cardiopatía isquémica intervenida, la RMC puede predecir la recuperación funcional tras el procedimiento de revascularización⁸³.

En definitiva, la RMC y la TCMD cardíaca son dos técnicas no invasivas muy útiles, en muchas ocasiones complementarias, para realizar una valoración global de los pacientes cardiopatas. Permiten estudiar parámetros tanto morfológicos como funcionales del sistema cardiovascular de manera exacta y reproducible. El conocimiento de la clínica del paciente, la anamnesis y la exploración física continúan siendo el pilar fundamental de la orientación diagnóstica de la enfermedad. La ecocardiografía puede ser suficiente para llegar al diagnóstico final. La RMC y la TCMD cardíaca, cada una con sus indicaciones concretas, constituyen las técnicas de primera elección para el diagnóstico final de cada vez más enfermedades cardiovasculares. Por supuesto, la implantación de estas técnicas en la práctica clínica diaria y el correcto aprovechamiento de sus posibilidades depende de la estrecha colaboración y el intercambio de conocimientos de los clínicos implicados (cardiólogo-radiólogo) en la valoración del paciente y de su enfermedad.

Medicina nuclear

Se denomina Cardiología Nuclear al conjunto de procedimientos de Medicina Nuclear aplicados a la Cardiología⁸⁴. Son técnicas de imagen no invasiva que permiten explorar la perfusión miocárdica en estrés y en reposo, la función ventricular global y regional, el metabolismo y la inervación cardíacos. Estas pruebas se utilizan en cardiología desde comienzos de la década de los 80 y tienen un amplio uso en el ámbito americano y europeo, constatándose una instauración progresiva en gran parte de los hospitales de nuestro país. Las Sociedades españolas de Cardiología y de Medicina Nuclear⁸⁵ elaboraron un documento en el que además de unificar los criterios de nomenclatura, metodología e interpretación de las pruebas más comunes, se describe el consenso actual de las indicaciones clínicas.

La técnica tomográfica denominada SPECT debido a su nombre anglosajón (Single Photon Emission Computed Tomography) permite realizar estudios con radiofármacos mar-

cados con isótopos emisores de fotones, obteniendo imágenes tridimensionales del corazón mediante la tomogammacámara, y analizar los diferentes territorios miocárdicos en cortes tomográficos representados en tres planos siguiendo los ejes corto (apical, medio y basal), largo horizontal y largo vertical del ventrículo izquierdo, de acuerdo con la normativa de presentación del American Heart Association⁸⁶.

El estudio de la perfusión miocárdica mediante radiofármacos emisores de fotones está basado en la propiedad que poseen determinados radiotrazadores de incorporarse en condiciones fisiológicas a las células miocárdicas, dependiendo del flujo sanguíneo coronario y de la integridad del miocito. Las imágenes ofrecidas por los radiofármacos miocardiotropos se caracterizan por asentar sobre mecanismos funcionales y metabólicos, reflejando la perfusión miocárdica y traduciendo por lo tanto la repercusión funcional secundaria a las alteraciones que ocurren a nivel del lecho vascular coronario. Los estudios de perfusión miocárdica pueden realizarse conjuntamente con técnicas de esfuerzo físico o de provocación farmacológica, permitiendo poner de manifiesto isquemia inducible. En las unidades de dolor torácico de los servicios de urgencias, estos estudios han demostrado su utilidad clínica en el diagnóstico y la estratificación de riesgo de pacientes con cardiopatía isquémica⁸⁷. Permiten tanto la detección precoz del síndrome coronario agudo como la identificación eficiente de los pacientes de bajo riesgo que pueden ser tratados de forma ambulatoria. Recientemente se han propuesto estrategias encaminadas tanto a incrementar la rapidez diagnóstica como a rentabilizar la utilización conjunta en un mismo estudio de la ecocardiografía de estrés y el SPECT de perfusión miocárdica. Además, existe una tendencia creciente a solicitar estudios de perfusión miocárdica con finalidad pronóstica en pacientes con cardiopatía isquémica, para estratificar el riesgo en enfermos ya diagnosticados de enfermedad coronaria⁸⁸, o bien para monitorizar la eficacia terapéutica de tratamientos farmacológicos, de técnicas de revascularización, de resincronización⁸⁹ y de nuevas estrategias de terapia celular tanto con mioblastos como con células responsables de angiogénesis.

Los radiofármacos tecnecio permiten adquirir imágenes de gran calidad, con la posibilidad de realizar GATED-SPECT, sincronizando la adquisición del estudio de perfusión con el ECG. Este avance técnico permite por tanto la valoración simultánea de la perfusión miocárdica, de la función ventricular izquierda y el cálculo de volúmenes ventriculares (Figura 6). Esta técnica permite además identificar defectos de captación debidos a atenuación fisiológica de los tejidos adyacentes, que se mantienen sin cambios significativos en las imágenes de estrés y de reposo, pero que muestran valores normales tanto del engrosamiento sistólico parietal como de la contractilidad segmentaria en el estudio Gated-SPECT. Tal es el caso de mujeres con atenuación en la cara anterolateral por mamas de gran tamaño o de pacientes obesos con atenuación en la cara diafragmática. Los equipos actuales permiten además obtener estudios de transmisión y corregir la atenuación de tejidos blandos adyacentes.

El estudio de la viabilidad miocárdica en la evaluación de los pacientes con enfermedad arterial coronaria y disfunción ventricular izquierda tiene valor diagnóstico y pronóstico⁹⁰. Los radiotrazadores marcados con ^{99m}Tc, realizados con infusión de nitratos y en modo Gated-SPECT han demostrado su utilidad clínica. También permiten estudiar la reserva contráctil mediante adquisición Gated-SPECT en condiciones basales y durante la infusión continua de dobutamina a dosis bajas⁹¹.

La técnica tomográfica denominada PET (Positron Emission Tomography) se basa en la detección de los fotones de alta energía producidos en la aniquilación de los positrones emitidos por el radiotrazador PET. La aplicación clínica más importante de la PET en cardiología es la valoración de la viabilidad miocárdica en regiones con alteración de la contractilidad mediante la combinación de estudios de perfusión y de metabolismo⁹². La PET proporciona de forma no invasiva la cuantificación del flujo coronario y del consumo miocárdico de glucosa en términos absolutos. En estudios realizados con glucosa marcada con flúor-18 (FDG), la captación de FDG ha demostrado ser un indicador de viabilidad ya que regiones con alteración de la contractilidad y captación de glucosa en la PET mejoran la contractilidad tras revascularización⁹³ (Figura 7). La PET permite hacer una selección adecuada de los pacientes que, aún

Figura 6. Gated SPECT de un paciente con cardiopatía isquémica que pone de manifiesto la existencia de isquemia inferior, con análisis de la perfusión, en estrés y en reposo (izquierda), de la contractilidad, del engrosamiento sistólico y cálculo de volúmenes ventriculares (derecha)

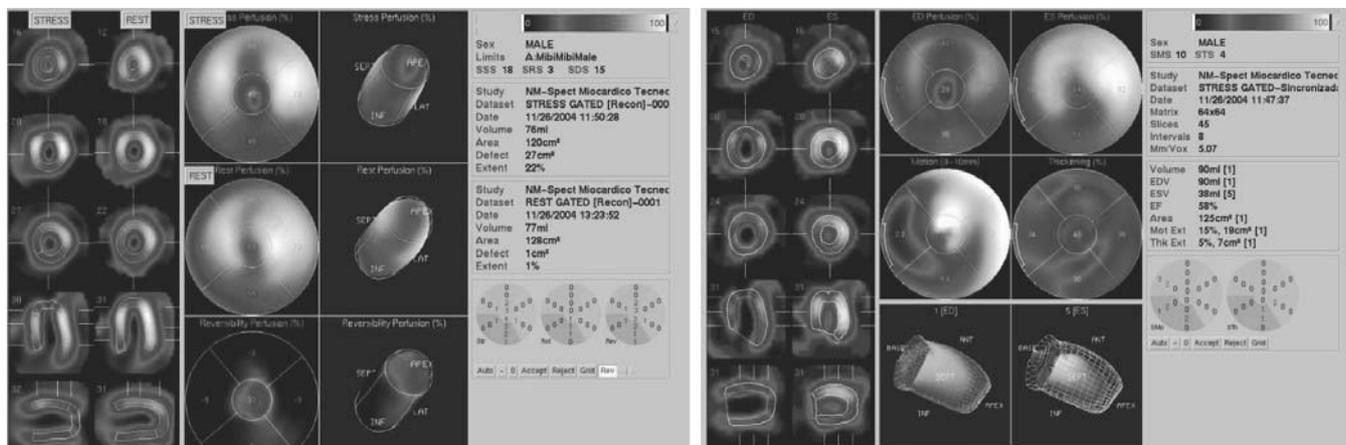


Figura 7. Estudio PET de perfusión miocárdica con ^{13}N -amónio y de metabolismo de la glucosa con ^{18}F -FDG un paciente con cardiopatía isquémica que pone de manifiesto la existencia de necrosis anterior y apical con extensión a los segmentos apicales de la cara septal, junto con viabilidad miocárdica en las caras lateral, inferior y septal

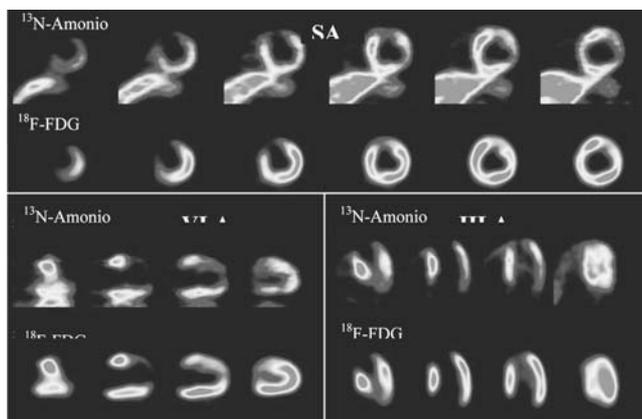
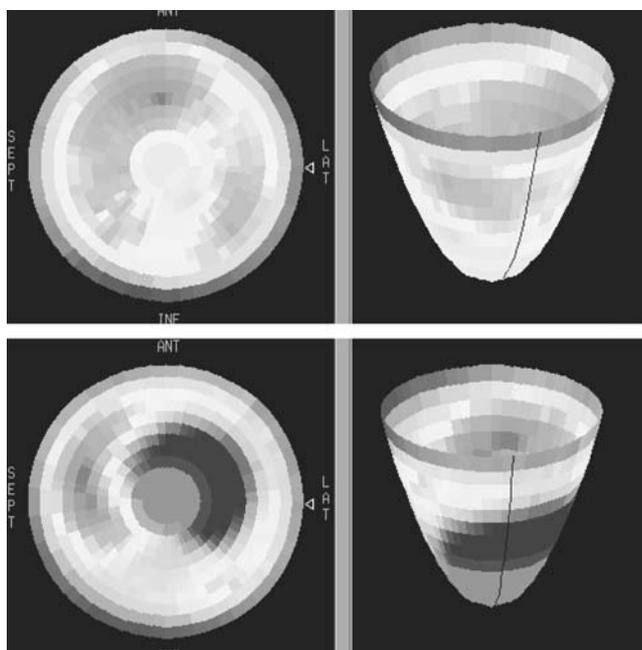


Figura 8. Estudio de metabolismo de la glucosa en corazón de rata realizado con ^{18}F -FDG en un microPET en situación basal (A - superior) y tras la producción de un infarto de miocardio por ligadura arterial (B - inferior). En el mapa polar, en el que se representan en dos dimensiones todos los segmentos miocárdicos (izquierda) y también en la imagen volumétrica de la figura 8B se aprecia ausencia de metabolismo en el ápex y segmentos apicales de las caras anterior y lateral



presentando alto riesgo quirúrgico, se van a beneficiar de procedimientos de revascularización miocárdica mejorando la sintomatología y la función ventricular, y evitar la cirugía innecesaria en los pacientes que no van a mejorar⁹⁴. La PET permite también estudiar el metabolismo miocárdico de los ácidos grasos utilizando radiofármacos como el palmitato marcado con

carbono-11 y el acetato marcado con C-11 en el estudio del metabolismo oxidativo. El misonidazole marcado con flúor-18 permite valorar de forma no invasiva la hipoxia cardíaca⁹⁵. Además, tanto el SPECT-MIBG marcado con I-123 como la PET con radiotrazadores marcados con C-11 y F-18 permiten estudiar la integridad de la inervación cardíaca autonómica, de importancia creciente en pacientes con miocardiopatías⁹⁶. Finalmente, la imagen molecular, mediante SPECT pero fundamentalmente con PET y recientemente con microPET en investigación traslacional en pequeños animales transgénicos, permite detectar la angiogénesis natural y monitorizar la eficacia de la neoangiogénesis obtenida mediante terapia génica⁹⁷ (Figura 8). La investigación se ha centrado en la capacidad de monitorizar "in vivo" la eficacia de la trasducción de los genes terapéuticos, así como de identificar las técnicas más adecuadas para la administración tanto de los vectores en terapia génica como de las células en terapia celular, la evaluación de la viabilidad de las células implantadas y una comprensión mayor de los mecanismos de acción de estas nuevas modalidades terapéuticas⁹⁸.

Bibliografía

1. Kull HP, Hoffmann R, Merx MW, Franke A, Klötzsch C, Lepper W et al. Transthoracic echocardiography using second harmonic imaging. Diagnostic alternative to transesophageal echocardiography for the detection of atrial right to left shunt in patients with cerebral embolic events. *J Am Coll Cardiol* 1999;34:1823-30.
2. Ha JW, Shin MS, Kang S, Pyun WB, Jang KJ, Byun KH et al. Enhanced detection of right-to-left shunt through patent foramen ovale by transthoracic contrast echocardiography using harmonic imaging. *Am J Cardiol* 2001;87:669-71.
3. Clarke NRA, Timperley J, Kelion AD, Banning AP. Transthoracic echocardiography using second harmonic imaging with Valsalva manoeuvre for the detection of right to left shunts. *Eur J Echocardiography* 2004;5:176-82.
4. Liang D, Schitteger I. Accuracy of hand-carried ultrasound. *Echocardiography* 2003;20:487-90.
5. De Cara JM, Lang RM, Spencer KT. The hand-carried echocardiographic device as aid to the physical examination. *Echocardiography* 2003;5:477-85.
6. Laradogioitia E. Ecocardiografía. Impacto de las nuevas tecnologías. *Rev Esp Cardiol Supl* 2005;5:45A-54A.
7. Bruce CJ et al. Utility of hand-carried ultrasound devices used by cardiologist with and without significant echocardiographic experience in the cardiology inpatients and outpatient settings. *Am J Cardiol* 2002;90:1173-5.
8. Jenkins C, Brickell K, Hanekom L, Marwick TH. Reproducibility and accuracy of echocardiographic measurements of left ventricular parameters using real-time three-dimensional echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 2004;44:878-86.
9. Kuhl HP, Schreckenber M, Rulands D et al. High-resolution transthoracic real-time three-dimensional echocardiography: quantitation of cardiac volumes and function using semi-automatic border detection and comparison with cardiac magnetic resonance imaging. *J Am Coll Cardiol* 2004;43:2083-90.
10. Salehian O, Chan KL. Impact of three-dimensional echocardiography in valvular heart disease. *Curr Opin Cardiol* 2005;20:122-6.
11. Bu L, Muns S, Zhang H et al. Rapid full volume data acquisition by real-time three-dimensional echocardiography for the assessment of left ventricular indexes in children: a validation

- study compared with magnetic resonance imaging. *J Am Soc Echocardiogr* 2005;299-305.
12. Zamorano J, Cordeiro P, Sugeng L et al. Real-time-three-dimensional echocardiography for rheumatic mitral valve stenosis evaluation. *J Am Coll Cardiol* 2004;43:2083-90.
 13. Qin JX, Shiota T, Tsujino H et al. Mitral annular motion as a surrogate for left ventricular ejection fraction: real-time three-dimensional echocardiography and magnetic resonance imaging studies. *Eur J Echocardiography* 2004;5:407-15.
 14. Malm S, Frigstad S, Sagberg E, Larsson H, Skjaerpe T. Accurate and reproducible measurements of left ventricular volume and ejection fraction by contrast echocardiography. A comparison with magnetic resonance imaging. *J Am Coll Cardiol* 2004;44:1030-5.
 15. Nash PJ, Kassimatis KC, Borowski AG et al. Salvage of nondiagnostic transthoracic echocardiograms on patients in intensive care units with intravenous ultrasound contrast. *Am J Cardiol* 2004;94:409-11.
 16. Dawson D, Rinkevich D, Belcik T et al. Measurement of myocardial blood flow velocity reserve with myocardial contrast echocardiography in patients with suspected coronary artery disease: comparison with quantitative gated technetium 99m sestamibi single photon emission computed tomography. *J Am Soc Echocardiogr* 2003;16:1171-7.
 17. Hickman M, Jeetley P, Senior R. Usefulness of myocardial contrast echocardiography derived coronary flow reserve to accurately determine severity of left anterior descending coronary artery stenosis. *Am J Cardiol* 2004;93:1159-62.
 18. Janardhanan R, Senior R. Accuracy of dipyridamole myocardial contrast echocardiography for the detection of residual stenosis of the infarct-related artery and multivessel disease early after acute myocardial infarction. *J Am Coll Cardiol* 2004;43:2247-52.
 19. Pérez David E, García Fernández MA. Assessment of myocardial function recovery in reperfused AMI: The clinical impact of visual and quantitative analysis in MCE. *Eur J Echocardiogr* 2004;5 (suppl 2):S24-S27.
 20. Dijkmans PA, Juffermans LJM, Muster RJP et al. Microbubbles and ultrasound: from diagnosis to therapy. *Eur J Echocardiography* 2004;5:245-256.
 21. Kondo I, Ohmori K, Oshita A et al. Treatment of acute myocardial infarction by hepatocyte growth factor gene transfer: the first demonstration of myocardial transfer of a "functional" gene using ultrasonic microbubble destruction. *J Am Coll Cardiol* 2004;43:644-53.
 22. Hansen A, Kumar A, Wolf D et al. Evaluation of cardioprotective effects of recombinant soluble P-selectin glycoprotein ligand-immunoglobulin in myocardial ischemia-reperfusion injury by real-time myocardial contrast echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 2004;44:887-91.
 23. Kunichika H, Ben-Yehuda O, Lafitte S, Kunichika N, Peters B, DeMaria AN. Effects of glycoprotein IIb/IIIa inhibition on microvascular flow after coronary reperfusion: a quantitative myocardial contrast echocardiography study. *J Am Coll Cardiol* 2004;43:276-83.
 24. Fujii H, Tomita S, Nakatani T et al. A novel application of myocardial contrast echocardiography to evaluate angiogenesis by autologous bone marrow cell transplantation in chronic ischemic pig model. *J Am Coll Cardiol* 2004; 43:1299-305.
 25. Ha JW, Ommen SR, Tajik AJ, et al. Differentiation of constrictive pericarditis from restrictive cardiomyopathy using mitral annular velocity by tissue Doppler echocardiography. *Am J Cardiol* 2004;94:316-9.
 26. Sengupta PP, Mohan JC, Mehta V, Arora R, Pandian NG, Khanderia BK. Accuracy and pitfalls of early diastolic motion of the mitral annulus for diagnosing constrictive pericarditis by tissue Doppler imaging. *Am J Cardiol* 2004;93:886-90.
 27. Yip G, Abraham T, Belohlaveck M, Khanderia BK. Clinical applications of strain rate imaging. *J Am Soc Echocardiography* 2003;16:1334-42.
 28. Gilman G, Khanderia BK, Hagen ME, Abraham T, Seward JB, Belohlaveck M. Strain rate and strain: a step-by-step approach to image and data acquisition. *J Am Soc Echocardiography* 2004;17:1011-20.
 29. Rhodes JF, Qureshi AM, Preminger TJ et al. Intracardiac echocardiography during transcatheter interventions for congenital heart disease. *Am J Cardiol* 2003;92:1492-4.
 30. Bergeron S, Ommen SR, Bailey KR, Oh JK, McCully RB, Pellikka PA. Exercise echocardiographic findings and outcome of patients referred for evaluation of dyspnea. *J Am Coll Cardiol* 2004;43:2242-6.
 31. Labib SB, Goldstein M, Kinnunem PM, Schick EC. Cardiac events in patients with negative maximal versus negative submaximal dobutamine echocardiograms undergoing noncardiac surgery: importance of resting wall motion abnormalities. *J Am Coll Cardiol* 2004;44:82-7.
 32. Falcone RA, Nass C, Jermyn R et al. The value of preoperative pharmacologic stress testing before vascular surgery using ACC/AHA guidelines: a prospective, randomised trial. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2003;17:694-8.
 33. Maceira A, Barba J, Beloqui O, Díez J. Ultrasonic Backscatter and Diastolic Function in Hypertensive Patients. *Hypertension* 2002;40:1212-7.
 34. Maceira A, Barba J, Varo N, Beloqui O, Díez J. Ultrasonic Backscatter and serum marker of cardiac fibrosis in hypertensives. *Hypertension* 2002;39:923-8.
 35. Prokop M, van der Molen AJ. Heart. In: Prokop M, Galanski M, editors. *Spiral and Multislice computed tomography of the body*. Stuttgart, Germany: Georg Thieme Verlag, 2003;759-824.
 36. Kahl FR, Wolfman NT, Watts LE. Evaluation of aortocoronary bypass graft status by computed tomography. *Am J Cardiol* 1981; 48(2):304-10.
 37. Daniel WG, Dohring W, Stender HS, Lichtlen PR. Value and limitations of computed tomography in assessing aortocoronary bypass graft patency. *Circulation* 1983;67(5):983-7.
 38. Engelmann MG, von Smekal A, Knez A, Kurzinger E, Huehns TY, Hofling B et al. Accuracy of spiral computed tomography for identifying arterial and venous coronary graft patency. *Am J Cardiol* 1997;80(5):569-74.
 39. Stanford W, Brundage BH, MacMillan R, Chomka EV, Bateman TM, Eldredge WJ et al. Sensitivity and specificity of assessing coronary bypass graft patency with ultrafast computed tomography: results of a multicenter study. *J Am Coll Cardiol* 1988;12(1):1-7.
 40. Ko YG, Choi DH, Jang YS, Chung NS, Shim WH, Cho SY et al. Assessment of coronary artery bypass graft patency by multislice computed tomography. *Yonsei Med J* 2003;44(3):438-44.
 41. Silber S, Finsterer S, Krischke I, Lochow P, Muhlring H. [Noninvasive angiography of coronary bypass grafts with cardio-CT in a cardiology practice]. *Herz* 2003;28(2):126-35.
 42. Burgstahler C, Kuettner A, Kopp AF, Herdeg C, Martensen J, Claussen CD et al. Non-invasive evaluation of coronary artery bypass grafts using multi-slice computed tomography: initial clinical experience. *Int J Cardiol* 2003;90(2-3):275-80.
 43. Ropers D, Ulzheimer S, Wenkel E, Baum U, Giesler T, Derlien H et al. Investigation of aortocoronary artery bypass grafts by multislice spiral computed tomography with electrocardiographic-gated image reconstruction. *Am J Cardiol* 2001;88(7):792-5.
 44. Wexler L, Brundage B, Crouse J, Detrano R, Fuster V, Maddahi J et al. Coronary artery calcification: pathophysiology, epidemiology, imaging methods, and clinical implications. A statement for health professionals from the American Heart Association. Writing Group. *Circulation* 1996;94(5):1175-92.

45. Callister TQ, Raggi P, Cooil B, Lippolis NJ, Russo DJ. Effect of HMG-CoA reductase inhibitors on coronary artery disease as assessed by electron-beam computed tomography. *N Engl J Med* 1998;339(27):1972-8.
46. Bastarrika G, Cano D, Becker CR, Wintersperger BJ, Reiser MF. [Multislice CT of the heart: clinical applications]. *An Sist Sanit Navar* 2004;27(1):63-72.
47. Rodenwaldt J. Multislice computed tomography of the coronary arteries. *Eur Radiol* 2003;13:748-757.
48. Pannu HK, Flohr TG, Corl FM, Fishman EK. Current concepts in multi-detector row CT evaluation of the coronary arteries: principles, techniques, and anatomy. *Radiographics* 2003;23 Spec No:S111-25.
49. Achenbach S, Ulzheimer S, Baum U, Kachelriess M, Ropers D, Giesler T et al. Noninvasive coronary angiography by retrospectively ECG-gated multislice spiral CT. *Circulation* 2000;102(23):2823-8.
50. Cademartiri F, Nieman K, Raaijmakers RH, de Feyter PJ, Flohr T, Alfieri O et al. Non-invasive demonstration of coronary artery anomaly performed using 16-slice multidetector spiral computed tomography. *Ital Heart J* 2003;4(1):56-9.
51. Salm LP, Bax JJ, Dirksen MS, Vliegen HW, Jukema JW, Schalij MJ et al. Comparison of MSCT and MRA in the evaluation of an anomalous right coronary artery. *J Cardiovasc Magn Reson* 2003; 5(2):403-5.
52. Achenbach S, Giesler T, Ropers D, Ulzheimer S, Derlien H, Schulte C et al. Detection of coronary artery stenoses by contrast-enhanced, retrospectively electrocardiographically-gated, multislice spiral computed tomography. *Circulation* 2001;103 (21):2535-8.
53. Knez A, Becker CR, Leber A, Ohnesorge B, Becker A, White C et al. Usefulness of multislice spiral computed tomography angiography for determination of coronary artery stenoses. *Am J Cardiol* 2001;88(10):1191-4.
54. Nieman K, Oudkerk M, Rensing BJ, van Ooijen P, Munne A, van Geuns RJ et al. Coronary angiography with multi-slice computed tomography. *Lancet* 2001;357(9256):599-603.
55. Ropers D, Baum U, Pohle K, Anders K, Ulzheimer S, Ohnesorge B et al. Noninvasive coronary angiography by retrospectively electrocardiographically-gated, thin-slice multidetector-array computed tomography. *J Am Coll Cardiol* 2003;41(6 Suppl B):468.
56. Nieman K, Cademartiri F, Lemos PA, Raaijmakers R, Pattynama PM, de Feyter PJ. Reliable noninvasive coronary angiography with fast submillimeter multislice spiral computed tomography. *Circulation* 2002;106(16):2051-4.
57. Wiese TH, Rogalla P, Taupitz M, Wagner S, Schnorr J, Mews J et al. Assessment of left ventricular volumes and function: intraindividual comparison of multi-slice spiral CT and electron beam CT in an animal model. *Acta Radiol* 2004;45(8):819-27.
58. Ohnesorge BM. *Multislice CT in cardiac imaging: technical principles, clinical application and future developments*. London: Springer; 2002.
59. Mahnken AH, Klotz E, Hennemuth A, Jung B, Koos R, Wildberger JE et al. Measurement of cardiac output from a test-bolus injection in multislice computed tomography. *Eur Radiol* 2003;13(11): 2498-504.
60. Carrascosa PM, Capunay CM, Parodi JC, Padilla LT, Johnson P, Carrascosa JM et al. General utilities of multislice tomography in the cardiac field. *Herz* 2003;28(1):44-51.
61. Mahnken AH, Spuntrup E, Wildberger JE, Heuschmid M, Niethammer M, Sinha AM et al. [Quantification of cardiac function with multislice spiral CT using retrospective EKG-gating: comparison with MRI]. *Rofo Fortschr Geb Rontgenstr Neuen Bildgeb Verfahr* 2003;175(1):83-8.
62. Nikolaou K, Sanz J, Poon M, Wintersperger BJ, Ohnesorge B, Rius T et al. Assessment of myocardial perfusion and viability from routine contrast-enhanced 16-detector-row computed tomography of the heart: preliminary results. *Eur Radiol* 2005;15(5):864-71. Epub 2005 Mar 18.
63. Kruger S, Mahnken AH, Sinha AM, Borghans A, Dedden K, Hoffmann R et al. Multislice spiral computed tomography for the detection of coronary stent restenosis and patency. *Int J Cardiol* 2003;89(2-3):167-72.
64. Maintz D, Grude M, Fallenberg EM, Heindel W, Fischbach R. Assessment of coronary arterial stents by multislice-ct angiography. *Acta Radiol* 2003;44(6):597-603.
65. Pump H, Mohlenkamp S, Sehnert CA, Schimpf SS, Schmidt A, Erbel R et al. Coronary arterial stent patency: assessment with electron-beam CT. *Radiology* 2000;214(2):447-52.
66. Maintz D, Juergens KU, Wichter T, Grude M, Heindel W, Fischbach R. Imaging of coronary artery stents using multislice computed tomography: in vitro evaluation. *Eur Radiol* 2003;13(4):830-5.
67. Nieman K, Cademartiri F, Raaijmakers R, Pattynama P, de Feyter P. Noninvasive angiographic evaluation of coronary stents with multi-slice spiral computed tomography. *Herz* 2003;28(2):136-42.
68. Becker CR, Nikolaou K, Muders M, Babaryka G, Crispin A, Schoepf UJ et al. Ex vivo coronary atherosclerotic plaque characterization with multi-detector-row CT. *Eur Radiol* 2003;13(9):2094-8.
69. Nikolaou K, Sagmeister S, Knez A, Klotz E, Wintersperger BJ, Becker CR et al. Multidetector-row computed tomography of the coronary arteries: predictive value and quantitative assessment of non-calcified vessel-wall changes. *Eur Radiol* 2003;13(11): 2505-12.
70. Schroeder S, Kopp AF, Baumbach A, Meisner C, Kuettner A, Georg C et al. Noninvasive detection and evaluation of atherosclerotic coronary plaques with multislice computed tomography. *J Am Coll Cardiol* 2001;37(5):1430-5.
71. Fayad ZA, Fuster V, Nikolaou K, Becker C. Computed tomography and magnetic resonance imaging for noninvasive coronary angiography and plaque imaging: current and potential future concepts. *Circulation* 2002;106(15):2026-34.
72. Wang ZJ, Reddy GP, Gotway MB, Yeh BM, Hetts SW, Higgins CB. CT and MR imaging of pericardial disease. *Radiographics* 2003; 23 Spec No:S167-80.
73. Pujadas S, Reddy GP, Weber O, Lee JJ, Higgins CB. MR imaging assessment of cardiac function. *J Magn Reson Imaging* 2004; 19(6):789-99.
74. Bastarrika G, Sprengel U, Saenz de Buruaga J, Romero C, Alegria E, Benito A et al. [Cardiac magnetic resonance: clinical applications]. *An Sist Sanit Navar* 2005;28(1):49-58.
75. Poustchi-Amin M, Gutierrez FR, Brown JJ, Mirowitz SA, Narra VR, Takahashi N et al. Performing cardiac MR imaging: an overview. *Magn Reson Imaging Clin N Am* 2003;11(1):1-18.
76. 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(21):1940-65.
77. Landis SH, Murray T, Bolden S, Wingo PA. Cancer statistics, 1998. *CA Cancer J Clin* 1998;48(1):6-29.
78. Lipton MJ, Bogaert J, Boxt LM, Reba RC. Imaging of ischemic heart disease. *Eur Radiol* 2002;12(5):1061-80. Epub 2002 Jan 11.
79. Barkhausen J, Hunold P, Jochims M, Debatin JF. Imaging of myocardial perfusion with magnetic resonance. *J Magn Reson Imaging* 2004;19(6):750-7.
80. Hunold P, Maderwald S, Eggebrecht H, Vogt FM, Barkhausen J. Steady-state free precession sequences in myocardial first-pass perfusion MR imaging: comparison with TurboFLASH imaging. *Eur Radiol* 2004;14(3):409-16.
81. Botnar RM, Stuber M, Danias PG, Kissinger KV, Manning WJ. Coronary magnetic resonance angiography-methods. In: Pennell

- DJ, editor. *Cardiovascular magnetic resonance*. Philadelphia: Churchill Livingstone, 2002. p. 196-214.
82. So NM, Lam WW, Li D, Chan AK, Sanderson JE, Metreweli C. Magnetic resonance coronary angiography with 3D TrueFISP: breath-hold versus respiratory gated imaging. *Br J Radiol* 2005; 78(926):116-21.
 83. Kim RJ, Fieno DS, Parrish TB, Harris K, Chen EL, Simonetti O et al. Relationship of MRI delayed contrast enhancement to irreversible injury, infarct age, and contractile function. *Circulation* 1999;100(19):1992-2002.
 84. <http://www.ami-imaging.org> // <http://www.petscan.org>
 85. Cardiología nuclear: bases técnicas y aplicaciones clínicas. J Candell Riera, J Castell Conesa, JA. Jurado López, E López de Sá, JA Nuño de la Rosa, FJ Ortigosa Aso, V Valle Tudela. *Rev Esp Med Nuclear* 2000;19:29-64.
 86. AHA Scientific Statements: Standardized Myocardial Segmentation and Nomenclature for Tomographic Imaging of the Heart: A Statement for Healthcare Professionals From the Cardiac Imaging Committee of the Council on Clinical Cardiology of the American Heart Association. Manuel D. Cerqueira, Neil J. Weissman, Vasken Dilsizian, Alice K. Jacobs, Sanjiv Kaul et al. *Circulation* 2002;105:539-42.
 87. Bülow H, Schwaiger M. Nuclear cardiology in acute coronary syndromes. *J Nucl Med Mol Imaging* 2005;49(1):59-71.
 88. Clark AN, Beller GA. The present role of nuclear cardiology in clinical practice. *Q J Nucl Med Mol Imaging* 2005;49:43-58.
 89. Sundell J, Engblom E, Koistinen J, Ylitalo A, Naum A, Stolen KQ, Kalliokoski R, Nekolla SG, Airaksinen KE, Bax JJ, Knuuti J. The effects of cardiac resynchronization therapy on left ventricular function, myocardial energetics, and metabolic reserve in patients with dilated cardiomyopathy and heart failure. *J Am Coll Cardiol* 2004;43:1027-33.
 90. Underwood SR, Bax JJ, Von Dahl J et al. Imaging techniques for the assessment of myocardial hibernation. Report of a Study Group of the European Society of Cardiology. *Eur Heart J* 2004; 25:815-836.
 91. Yoshinaga K, Morita K, Yamada S et al. Low-dose dobutamine electrocardiograph-gated myocardial SPECT for identifying viable myocardium: comparison with dobutamine stress echocardiography and PET. *J Nucl Med* 2001;42:838-44.
 92. Allman KC, Shaw LJ, Hachamovitch R et al. 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.
 93. Coma-Canella I, García Velloso MJ. Utilidad clínica de la tomografía de emisión de positrones (PET) en la valoración de la viabilidad miocárdica. *Rev Esp Cardiol* 1997;50:605-11.
 94. Schelbert HR. 18F-Deoxyglucose and the assessment of myocardial viability. *Semin Nucl Med* 2002;32:60-9.
 95. Sinusas AJ. The potential for myocardial imaging with hypoxia markers. *Semin Nucl Med* 1999;29:330-8.
 96. Carro I. Cardiac neurotransmission imaging. *J Nucl Med* 2001; 42:1062-76.
 97. Dobrucki LW, Sinusas AJ. Molecular imaging. A new approach to nuclear cardiology. *Q J Nucl Med Mol Imaging* 2005;49:106-15.
 98. Bengel FM. Noninvasive imaging of cardiac gene expression and its future implications for molecular therapy. *Mol Imaging Biol* 2005;7:22-29.



 Alumni Navarrens
Universidad de Navarra

“En la Alumni nos falta algo... nos faltas TÚ”

Hazte miembro-Alumni

Edificio Central. 31080 Pamplona. España. Tel. 948 425 600. Fax. 948 425 619. alumni@unav.es. www.unav.es/alumni