

Papel de la gated-SPECT frente a otras técnicas de imagen en cardiología

Isabel Coma-Canella^a y María J. Pérez-Castejón^b

^aDepartamento de Cardiología y Cirugía Cardiovascular. Clínica Universitaria de Navarra. Facultad de Medicina. Universidad de Navarra. Pamplona. España.

^bServicio de Medicina Nuclear. Instituto de Cardiología de Madrid. Madrid. España.

Para el diagnóstico y la evaluación pronóstica de los pacientes con cardiopatía isquémica, además de la gated-SPECT se utilizan otras técnicas de imagen, como la ecocardiografía con sobrecarga, la tomografía computarizada (TC) y la resonancia magnética (RM).

La ecocardiografía con sobrecarga (ejercicio físico o sobrecarga farmacológica) es la más utilizada por el momento, dada su gran disponibilidad, inocuidad y versatilidad. Esta técnica tiene un valor parecido al de la gated-SPECT para detectar isquemia, con una menor sensibilidad y una mayor especificidad.

La TC puede usarse para detectar calcio, que mide la carga aterosclerótica total, pero no el grado de obstrucción coronaria, ya que las placas más calcificadas no necesariamente son las más obstructivas. A mayor cantidad de calcio, mayor probabilidad de lesiones coronarias importantes y peor pronóstico. La TC también puede usarse como angiografía no invasiva, si se inyecta contraste yodado y se hace una reconstrucción posterior de las arterias coronarias, tanto de forma longitudinal como transversal. Con los equipos habituales se necesita bradicardizar al paciente con un betabloqueante y no se puede hacer un buen estudio si hay cualquier tipo de arritmia.

La RM con gadolinio permite detectar infartos no transmurales con una alta fiabilidad. Además, facilita la evaluación completa de la anatomía y la función ventricular, así como los estudios de sobrecarga farmacológica para la detección de isquemia. Los principales problemas son su elevado coste y su menor disponibilidad respecto a las otras técnicas.

La tomografía por emisión de positrones (PET) se emplea de momento en investigación y muy poco en la clínica.

Palabras clave: *Gammagrafía. Ecocardiografía. Tomografía. Resonancia magnética nuclear. Isquemia miocárdica.*

Comparison of Gated SPECT With Other Imaging Techniques Used in Cardiology

In addition to gated SPECT, a number of other imaging techniques are used in the diagnostic and prognostic assessment of patients with ischemic heart disease, such as stress echocardiography, computed tomography, and magnetic resonance imaging.

At present, stress echocardiography (involving physical exercise or pharmacological stress) is the most commonly used technique because it is readily available, safe and versatile. This technique is as valuable as gated SPECT for detecting ischemia, and has lower sensitivity and higher specificity.

Computed tomography (CT) can be used to detect calcium, thereby giving an estimate of the total atherosclerotic burden, but not of the degree of coronary obstruction, because the most calcified plaques are not necessarily the most obstructive. However, the greater the amount of calcium, the higher the probability that severe coronary lesions are present and the worse the prognosis. In addition, CT can also be used as a form of noninvasive angiography. Following the injection of iodine contrast, the anatomy of the coronary arteries can be reconstructed, both longitudinally and transversally. With currently available systems, it is necessary to administer a beta-blocker to induce bradycardia as the presence of any form of arrhythmia can prevent accurate imaging.

Magnetic resonance imaging (MRI) with gadolinium can detect non-transmural infarctions with great accuracy. Moreover, it can also provide a complete assessment of ventricular anatomy and function, and can be used to detect ischemia during pharmacological stress. The main disadvantages are that it is expensive and that it is less readily available than other techniques.

Currently, positron-emission tomography (PET) is mainly a research tool and is very seldom used clinically.

Key words: *Scintigraphy. Echocardiography. Tomography. Magnetic resonance imaging. Myocardial ischemia.*

Correspondencia: Dra. I. Coma-Canella.
Departamento de Cardiología. Clínica Universitaria de Navarra.
Avda. Pío XII, 36. 31008 Pamplona. España.
Correo electrónico: icoma@unav.es

ABREVIATURAS

ACC/AHA/ASNC: American College of Cardiology/American Heart Association/American Society of Nuclear Cardiology.

EBCT: tomografía computarizada de haz de electrones.

FDG: fluordesoxiglucosa.

mSv: milisievert.

RM: resonancia magnética.

SHAPE: Screening for Heart Attack Prevention and Education.

SPECT: tomografía computarizada con emisión de fotón único.

TC: tomografía computarizada.

INTRODUCCIÓN

El tratamiento de los pacientes con sospecha o diagnóstico de cardiopatía isquémica precisa con frecuencia la realización de pruebas de imagen no invasivas, tanto para establecer el diagnóstico como para estratificar el riesgo o valorar la viabilidad.

Las técnicas disponibles en la actualidad, además de la gated-SPECT de perfusión miocárdica, son las siguientes: ecocardiografía con sobrecarga, tomografía computarizada (TC) y resonancia magnética (RM). La tomografía por emisión de positrones (PET) se utiliza fundamentalmente en investigación y muy poco en la práctica clínica, ya que apenas está disponible en cardiología y resulta demasiado cara. Todas estas técnicas son muy distintas y cada una tiene ventajas e inconvenientes.

Puesto que ya se ha hablado de la gated-SPECT en capítulos previos, en éste nos limitaremos a compararla con las restantes técnicas de uso habitual.

GATED-SPECT FRENTE A ECOCARDIOGRAFÍA CON SOBRECARGA

En el diagnóstico de enfermedad coronaria

La mayoría de los estudios que comparan ambas técnicas¹⁻³ muestra una sensibilidad ligeramente superior para la gated-SPECT, a costa de una menor especificidad. La mayor sensibilidad se debe a que las alteraciones de la perfusión miocárdica son más precoces que las de la contractilidad segmentaria en la secuencia de acontecimientos de la cascada isquémica. La menor especificidad se debe a que la gammagrafía cardiaca permite detectar diferencias de perfusión que pueden deberse a disfunción endotelial segmentaria de la microvasculatura, sin que haya estenosis significativa de arterias epicárdicas. Estos datos no difieren con el tipo de estímulo utilizado: ejercicio físico, fármacos vasodilatadores o agentes inotropos/cronotropos.

En el estudio de viabilidad

Yoshinaga et al⁴ compararon en 2001 la exactitud diagnóstica de la gated-SPECT con dobutamina en dosis baja, la ecocardiografía con dobutamina y la SPECT de reposo en pacientes con infarto de miocardio previo y motilidad regional severamente deprimida, para lo cual utilizaron la PET-FDG como técnica de referencia. La sensibilidad de la ecocardiografía con dobutamina para detectar miocardio viable fue del 78% y la especificidad, del 94%. Para la gated-SPECT estas cifras fueron del 76 y el 100%, mientras que para la SPECT de reposo fueron del 85 y el 52%. La gated-SPECT permitió determinar alteraciones regionales en la motilidad en áreas difíciles de valorar con ecocardiografía, así como en pacientes obesos y ancianos. Además, con ella se obtuvieron los mejores valores predictivo positivo (100%) y negativo (72%), mientras que el SPECT de reposo habitualmente sobreestima la viabilidad. En otro estudio publicado en 2002⁵ se encuentran mejores resultados con gated-SPECT que con ecocardiografía, usando como patrón de referencia la mejoría de la contractilidad posrevascularización. Es posible que, con la utilización de contraste ecocardiográfico, en la actualidad se obtengan resultados similares con las 2 técnicas.

Ventajas e inconvenientes de la ecocardiografía

La ecocardiografía con sobrecarga tiene múltiples ventajas: amplia disponibilidad, bajo coste, brevedad del estudio, comodidad del paciente, ausencia de radiación y facilidad para repetirla durante la evolución. Además, al ser una técnica utilizada por cardiólogos, resulta más fácil conocer de inmediato el resultado. Permite realizar un estudio completo (anatómico y funcional) del corazón, ya que no sólo valora la contractilidad global y regional, sino también la presencia de una posible valvulopatía, hipertensión pulmonar o derrame pericárdico. Cuando, además de estudiar la viabilidad se quiere descartar isquemia residual en zonas de miocardio normocontráctiles, se puede seguir incrementando la dosis de dobutamina hasta llegar a provocar isquemia en zonas dependientes de arterias con estenosis significativas. Este dato ayuda a valorar no sólo la conveniencia de revascularizar la zona hibernada, sino también las zonas de miocardio irrigadas por arterias con estenosis dudosamente significativas. Con la gated-SPECT, sin embargo, se adquieren las imágenes después de administrar una dosis fija de dobutamina.

Se suele hacer hincapié en el importante componente de subjetividad de la ecocardiografía con sobrecarga, que hace necesario completar una curva de aprendizaje. Esto significa que, sin un mínimo de experiencia, los estudios no son fiables. Sin embargo, una vez adquirida esa experiencia, los resultados son mejores y la variabilidad entre distintos ecocardiografistas es pequeña. Has-

ta hace poco algunos pacientes eran rechazados para el estudio ecocardiográfico por presentar una ventana acústica inadecuada. Hoy día, con la mejoría de los equipos y la introducción del contraste, se puede hacer una ecocardiografía de buena calidad en la mayoría de los pacientes. El mayor inconveniente es la inexperiencia de quien la practica, que puede llevar a tomar decisiones erróneas.

Ventajas e inconvenientes de la gated-SPECT

La gated-SPECT tiene la ventaja de presentar un menor componente de subjetividad, aunque también requiere un mínimo de experiencia para su interpretación adecuada. Hay pacientes que, debido al dolor articular que experimentan, no son capaces de mantener una postura adecuada durante el tiempo de adquisición de las imágenes, lo que dificulta o imposibilita el estudio. Hay estudios difíciles de interpretar, como los defectos paradójicos o zonas de dudosa mejoría de la perfusión. No siempre se puede hacer una total corrección de atenuación, por lo que hay zonas de difícil interpretación, como ocurre en la cara diafragmática de varones obesos y en la cara anteroseptal de mujeres con una alta densidad mamaria. Debido a la radiación que produce y a su elevado coste, no se puede repetir el estudio con la frecuencia que a veces resultaría deseable. Además, se debe excluir a las mujeres con posible embarazo.

GATED-SPECT FRENTE A TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA

Para comparar estas dos técnicas conviene explicar algunos conceptos básicos sobre la TC. Comenzó a usarse para la detección de calcificaciones coronarias, y más recientemente se utiliza también como coronariografía incruenta. A diferencia de la gated-SPECT, la TC diagnostica lesiones coronarias anatómicas, pero no aporta información fisiológica sobre la repercusión de esas lesiones.

Detección de calcio coronario

Inicialmente se utilizó la TC de haz de electrones (EBTC), que mide la cantidad de calcio coronario en unidades Agatston. Hoy día se utiliza más la TC multicorte, de 4, 8, 16 o 64 cortes. Puesto que hay más experiencia y el período de seguimiento de enfermos es mayor con la medida de calcio en unidades Agatston, se siguen empleando estas unidades a la vez que las proporcionadas por los nuevos equipos. Para la detección de calcio no es necesario inyectar contraste radiológico ni que el paciente esté en ayunas. El estudio se hace en pocos minutos y la radiación es pequeña. Además, proporciona información sobre otras estructuras torácicas como el pulmón, el mediastino, el pericardio y la aorta.

La presencia de calcio en las coronarias indica que hay aterosclerosis avanzada, ya que el calcio se deposita en la placa de ateroma cuando ésta tiene cierto volumen y antigüedad⁶. Siempre que hay calcio coronario hay placa aterosclerótica, pero puede haber placa sin calcio. El calcio constituye la quinta parte de la carga aterosclerótica total, de modo que a mayor cantidad de calcio, mayor cantidad de placa. Sin embargo, no hay relación entre el calcio y el grado de obstrucción coronaria, ya que las placas pueden crecer excéntricamente, sin producir estenosis. Tampoco hay correlación entre la cantidad de calcio y la vulnerabilidad de la placa⁷. En caso de que hubiera alguna relación debería ser inversa, ya que las placas más vulnerables son generalmente las menos calcificadas. Lo que ocurre es que los pacientes con mucho calcio coronario, además de placas duras estables suelen tener otras muchas placas blandas vulnerables. De hecho, hay una correlación entre la cantidad de calcio y el pronóstico a largo plazo⁸.

Se ha hecho un estudio en 35.246 sujetos sanos entre 30 y 90 años, para medir la cantidad de calcio⁹ según la edad y sexo. Se concluye que el varón tiene mucho más calcio que la mujer de su misma edad, y se establece que el percentil 75 para cada edad y sexo establece un punto de corte para identificar a los sujetos de mayor riesgo. En general, se asume que por encima de una puntuación determinada (400 unidades Agatston), el riesgo de accidente cardiovascular es alto, sean cuales sean la edad y el sexo.

Indicaciones de detección de calcio coronario

Con fecha 20 de marzo de 2007 se publicó en la revista *Circulation* un artículo sobre el modo de medir el riesgo cardiovascular en la mujer¹⁰. Todo lo que se indica es aplicable al varón. Según el cálculo de riesgo del Score europeo y el Framingham americano, se sabe que el riesgo de la mujer equivale al de un varón 10 años menor¹¹; por lo tanto, a la hora de aplicar los cálculos de la mujer al varón hay que añadirle 10 años. En este estudio¹⁰ se considera la evidencia de enfermedad coronaria subclínica (p. ej., la presencia de calcio coronario) como un factor de riesgo, igual que el tabaquismo, la hipertensión o la dislipemia. En el estudio SHAPE¹², sin embargo, se considera que la enfermedad coronaria subclínica ya debe tratarse como una enfermedad coronaria. De hecho, el infarto de miocardio y la muerte súbita con frecuencia son la primera manifestación de una enfermedad coronaria que, sin duda, ya existía de forma subclínica.

En los primeros 15 años de EBCT o TC (aproximadamente de 1985 a 2000), la búsqueda de calcio coronario se hacía únicamente con el objeto de identificar a los sujetos con riesgo de enfermedad coronaria obstructiva por la cantidad de calcio. En los últimos 5-10 años se buscan también otros objetivos⁷, como son la predicción de riesgo en asintomáticos y el diagnóstico de enfermedad coronaria en sujetos con síntomas atípicos.

De todo esto se deduce que la gated-SPECT no es comparable con la TC: la primera técnica detecta isquemia, bien por enfermedad epicárdica obstructiva o por alteración microvascular, mientras la segunda mide la carga aterosclerótica total.

¿Cuándo y en qué orden se deben usar la tomografía computarizada para detectar calcio y la gated-SPECT?

En pacientes con sospecha de enfermedad coronaria, la probabilidad pretest de enfermedad (medida por parámetros clínicos) es la que determina la técnica inicial elegida. Si la probabilidad de enfermedad coronaria es muy baja, no es necesario realizar ningún estudio. Si la probabilidad es baja pero por algún motivo el paciente debe ser estudiado, la valoración de la aterosclerosis mediante la detección y la cuantificación de calcio coronario podría ser el test inicial más indicado. En pacientes asintomáticos con alto contenido de calcio coronario se debe hacer algún estudio fisiológico (gated-SPECT) antes del cateterismo cardiaco, que únicamente está indicado si se detecta isquemia moderada-severa. Distintos autores han establecido una concentración de calcio coronario > 400 para indicar la SPECT de perfusión^{2,3}. Este umbral puede ser inferior (> 100) en pacientes con síndrome metabólico o en diabéticos, ya que en ellos la frecuencia de estudios de perfusión anormales con gated-SPECT es intermedia/alta¹³.

Donde la gated-SPECT ha mostrado un mayor valor es en pacientes con probabilidad intermedia, igual que ocurre con otras pruebas de detección de isquemia. Esta aplicación diagnóstica tiene una indicación de clase I (usualmente apropiado y considerado útil) en las guías American College of Cardiology/American Heart Association/American Society of Nuclear Cardiology (ACC/AHA/ASNC)¹⁴. La gated-SPECT puede ser la técnica de estudio inicial cuando se usa para la estratificación del riesgo y como guía para el tratamiento de los pacientes con enfermedad conocida¹⁵, ya que en este caso no es necesario medir el calcio coronario.

En pacientes con una probabilidad inicial alta, la indicación de los estudios de perfusión para el diagnóstico es de clase IIb (utilidad probable pero sin evidencia suficiente) en las guías ACC/AHA^{14,16}. Sin embargo, pueden tener un importante valor en la decisión terapéutica, ya que cuanto más patológica sea la gated-SPECT, mayor probabilidad tiene el paciente de beneficiarse de la revascularización¹⁷.

Angiografía coronaria por tomografía computarizada

La TC multicorte sirve no sólo para detectar calcio, sino también para visualizar el interior y la pared de las arterias coronarias epicárdicas mediante inyección de 60-100 ml de contraste iodado (fig. 1). Inicialmente, los

equipos eran de 4, 8 y 16 cortes, y actualmente los hay de 64, lo cual no indica que se multiplique la calidad por 4 respecto al de 16, pero indudablemente es mejor¹⁸. El paciente debe permanecer inmóvil y en apnea durante un tiempo breve, y la actividad cardiaca debe ser rítmica y lo más bradicárdica posible (< 70 lat/min) para que se puedan estudiar las arterias coronarias durante la diástole¹⁹. En general se administra previamente un betabloqueante por vía endovenosa para bradicardizar al paciente, ya que con una frecuencia cardiaca baja se adquieren mejores imágenes en diástole. Con el equipo de doble fuente de 64 cortes, las imágenes son buenas aunque el paciente no esté bradicárdico, pero es esencial que no esté arritmico (como con equipos previos).

Aunque el estudio se adquiere en un tiempo que resulta breve para el paciente (10-12 minutos), la reconstrucción de imágenes tridimensionales por parte del médico, así como el estudio longitudinal y transversal de cada arteria coronaria, lleva un tiempo más prolongado, que depende del programa disponible. La radiación aproximada que recibe el paciente es de 6,9-11 mSv.

Limitaciones de la angiografía coronaria por tomografía computarizada

A pesar de que se la denomine «coronariografía no invasiva» y de que muchos pacientes pidan esta exploración en lugar de la angiografía percutánea, los resultados de ambas técnicas no son superponibles. La TC no permite ver los vasos distales ni el grado de obstrucción

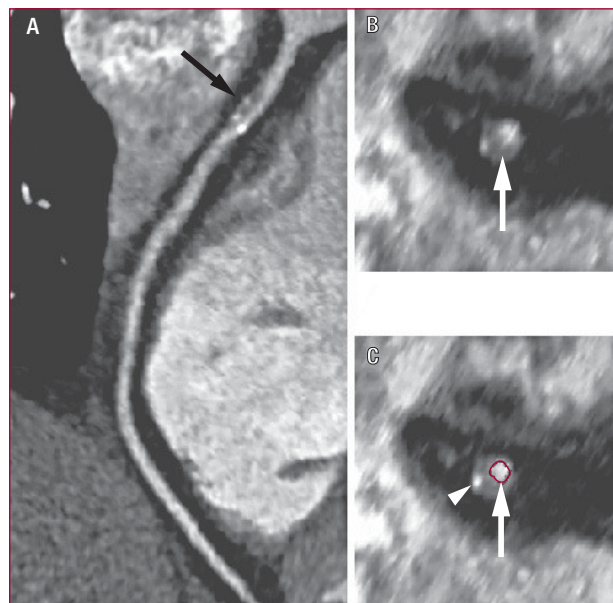


Fig. 1. Coronariografía por tomografía computarizada de doble fuente. A. Arteria descendente anterior con una placa de ateroma señalada por la flecha. B. La flecha muestra el corte horizontal de la placa con zonas claras y oscuras. C. La línea circular señala el contorno de la luz del vaso, que tiene contraste en su interior. La placa está formada por un componente fibroso (flecha) y calcio (punta de flecha). La estenosis que produce es significativa.

en segmentos con placas calcificadas, que en algunos pacientes son la mayoría, sobre todo en varones de edad avanzada. Por encima de 400 unidades Agatston el resultado es malo (fig. 2) y generalmente no se practica. Tampoco permite la evaluación de la reestenosis intrastent, sino sólo su permeabilidad. Además, en caso de demostrar lesiones, se limita a valorar si son superiores o inferiores al 50% del diámetro de la arteria, pero la cuantificación de la estenosis es mucho menos precisa que con la técnica invasiva. En caso de que esté indicado intervenir, hay que hacer una coronariografía invasiva, con lo que se vuelve a administrar contraste yodado con posible toxicidad renal y una nueva dosis no despreciable de radiación (unos 15 mSv en una coronariografía convencional). Si la primera exploración fue la gated-SPECT, hay que sumar la radiación de las 3 técnicas para calcular la dosis total que recibe el paciente. Por este motivo, lo habitual es no practicar las 3 técnicas, sino una no invasiva y, si es necesario, la angiografía invasiva.

¿En qué ocasiones está justificado el uso de angiografía por tomografía computarizada?

La mayor aplicación de la angiografía por TC es descartar enfermedad coronaria en sujetos con baja probabilidad, ya que un resultado negativo es altamente fiable. Esto puede aplicarse en urgencias²⁰ o solicitarlo desde la consulta. Algunos sujetos sanos con dolor torácico no se quedan tranquilos con el resultado normal de las pruebas e insisten en que desean «llegar hasta el final» y piden una coronariografía. En este caso está justificado ofrecerles la angiografía por TC.

También está indicada como complemento a la prueba de esfuerzo o sobrecarga farmacológica en pacientes con fuerte sospecha clínica de enfermedad coronaria

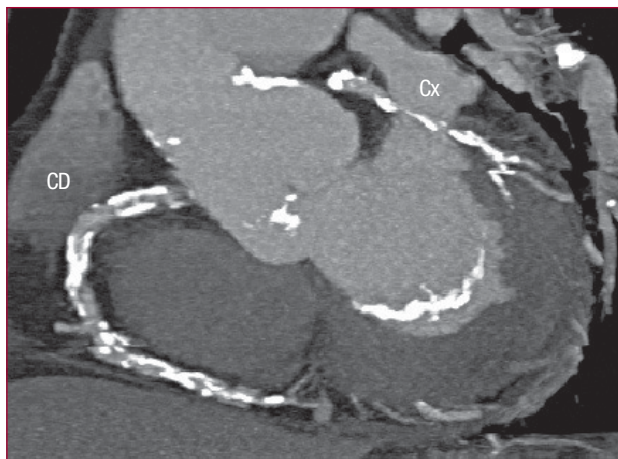


Fig. 2. Coronariografía por tomografía computarizada de doble fuente: las arterias coronarias están extensamente calcificadas. La calcificación compromete la visión de la luz vascular, dificultando determinar el grado de estenosis.
CD: coronaria derecha; Cx: circunfleja.

pero con una prueba normal o dudosa, o bien en los que tienen una marcada discordancia entre el resultado de la prueba (electrocardiográfica o de imagen) y la respuesta clínica al esfuerzo.

Comparación entre gated-SPECT y coronariografía por tomografía computarizada

Recientemente, Hacker et al²¹ han publicado los resultados de una comparación directa entre la TC de 64 cortes y la gated-SPECT en 38 pacientes con angina estable. En 26 de ellos (68%) había sospecha de enfermedad coronaria y los 12 restantes habían recibido una revascularización. Se valoró la presencia de estenosis significativa (> 50%) en la TC y los resultados se compararon con la gated-SPECT. En un subgrupo de 30 pacientes se realizó un coronariografía invasiva. Los autores concluyen que la TC tiene un alto valor predictivo negativo en la exclusión de estenosis relevantes, pero no proporciona información sobre la repercusión hemodinámica de estas lesiones, lo que hace necesario realizar estudios funcionales. Estos resultados son similares a los publicados previamente por los mismos autores en un estudio con TC de 16 cortes²².

Elección o combinación entre ambas técnicas

La gated-SPECT es la técnica de elección en pacientes de edad avanzada con probabilidad intermedia de enfermedad coronaria, ya que el abundante calcio coronario no permite valorar la presencia de estenosis mediante TC.

Para Schuijff et al²³, el uso combinado de imágenes anatómicas y funcionales permite la mejor caracterización de los pacientes. Proponen un algoritmo para aquellos en los que hay sospecha y probabilidad intermedia de enfermedad coronaria. Realizan como prueba inicial la angiografía coronaria por TC multicorte. Si no demuestra alteraciones coronarias significativas, no es necesario realizar más estudios, ya que la probabilidad de isquemia es baja, y únicamente hay que intensificar el tratamiento médico de los factores de riesgo. Si la TC demuestra lesiones obstructivas, es necesario hacer un estudio funcional para determinar la presencia y la extensión de la isquemia, que marcan la decisión terapéutica. Cabe esperar que en un futuro próximo, con el desarrollo de sistemas PET/TC y SPECT/TC dedicados a cardiología, se puedan detectar las lesiones coronarias y valorar su significación funcional en una única exploración²⁴.

Otras aplicaciones de la tomografía computarizada

Cuando se inyecta contraste yodado también se pueden hacer estudios de perfusión miocárdica, función y viabilidad, de modo parecido a los efectuados con RM. La interpretación de los defectos de perfusión depende de si

son precoces, tardíos o residuales. Las imágenes son de muy buena calidad, pero esta técnica todavía no está plenamente aceptada y de momento es objeto de controversia, debido a la dosis de radiación que precisa. Aunque el análisis se hace de forma retrospectiva, proporciona gran cantidad de información con una apnea de 10 segundos y, por tanto, permite estudiar a pacientes con infarto agudo de miocardio, portadores de marcapasos y con balón de contrapulsación, que no serían candidatos a un estudio de RM.

VALOR PRONÓSTICO DE LAS DISTINTAS TÉCNICAS

Las pruebas fisiológicas, como la ergometría simple o con imagen (ecocardiografía o gated-SPECT), son los métodos no invasivos más comúnmente utilizados y mejor documentados para la estratificación de riesgo coronario. Estas pruebas tienen la mejor relación coste-efectividad en los pacientes con un riesgo intermedio de presentar eventos cardíacos. La gated-SPECT es una indicación de clase I (usualmente apropiado y considerado útil) en las guías ACC/AHA/ASNC^{14,16}. Múltiples estudios han demostrado que la información funcional que aporta esta técnica ayuda a la detección de estenosis severas, enfermedad coronaria multivascular y viabilidad miocárdica²⁵, proporcionando información pronóstica independiente.

Hay numerosas referencias en la literatura científica acerca de la utilidad de los estudios de perfusión miocárdica en la estratificación de riesgo. Se acepta que un estudio de perfusión normal define a los pacientes con bajo riesgo de experimentar eventos cardíacos posteriores²⁶ a corto plazo, y que el riesgo aumenta exponencialmente con las alteraciones de la perfusión¹⁷, de tal forma que defectos de perfusión extensos y severos definen un alto riesgo y llevan a la realización de una angiografía coronaria precoz^{27,28}. En pacientes con alteraciones intermedias en la perfusión hay otros parámetros funcionales medibles con gated-SPECT que indican alto riesgo y pueden aconsejar la revascularización. Estos parámetros son: baja fracción de eyección²⁹, elevado volumen telesistólico³⁰, dilatación isquémica transitoria del ventrículo izquierdo³¹ y captación pulmonar incrementada²⁷. La ecocardiografía de ejercicio, al medir la cantidad de isquemia mediante alteraciones de la función ventricular global y segmentaria, ofrece un valor pronóstico parecido al de las pruebas de perfusión miocárdica³².

Además de identificar a los pacientes de riesgo, los estudios de perfusión son capaces de predecir si van a beneficiarse o no de la revascularización. Los pacientes con un estudio normal o una isquemia leve tratados médicamente tienen una mayor supervivencia que los revascularizados. Por otro lado, cuando la SPECT detecta isquemia moderada o severa, los pacientes revascularizados incrementan su supervivencia respecto a los tratados médicamente¹⁷.

La cuantificación de calcio coronario presenta su principal valor pronóstico en pacientes asintomáticos con probabilidad intermedia de enfermedad coronaria^{7,33}. Si la cuantificación es baja, pasan a ser pacientes de bajo riesgo, y si es alta, pasan a ser de alto riesgo. Sin embargo, no es útil para estratificar el riesgo en pacientes con enfermedad conocida⁷. El pronóstico en estos casos depende más de parámetros funcionales, como la isquemia o la función ventricular. Las alteraciones anatómicas indican el pronóstico a largo plazo, mientras las fisiológicas lo hacen a corto plazo³⁴. En pacientes de bajo riesgo basta con realizar una valoración anatómica de la cantidad de calcio, mientras que en los de alto riesgo o con enfermedad coronaria conocida es preferible efectuar una valoración fisiológica.

En cuanto a la angiografía coronaria con TC multicorte, todavía no hay datos sobre su utilidad en la estratificación de riesgo en pacientes con enfermedad coronaria conocida.

Las pruebas fisiológicas, tanto de medicina nuclear como la ecocardiografía con sobrecarga, han mostrado, además, ser efectivas en la valoración de la respuesta al tratamiento médico o a las terapias invasivas en pacientes con enfermedad crónica. Zellweger et al³⁵ demostraron, en una población de más de 1.500 pacientes con revascularización quirúrgica, que la SPECT de perfusión anormal es altamente predictiva de mortalidad.

GATED-SPECT FRENTE A RESONANCIA MAGNÉTICA

La RM cardiovascular presenta algunas ventajas sobre otras técnicas de imagen. Puede generar imágenes estáticas o dinámicas con una elevada resolución espacial y temporal en forma topográfica y en cualquier plano del espacio, sin exponer a radiaciones ionizantes. Puede realizarse el estudio sincronizado con el ECG en reposo y bajo sobrecarga, así como explorar la perfusión con medios de contraste. La técnica, sin embargo, no está ampliamente disponible, es relativamente costosa y necesita personal especializado en aplicaciones cardiovasculares.

En la actualidad, la valoración de viabilidad miocárdica es probablemente la mayor utilidad de la RM en el estudio de enfermedad coronaria. El realce tardío con gadolinio ofrece una elevada sensibilidad y especificidad para diferenciar entre miocardio necrótico y viable³⁶. Su fiabilidad para detectar áreas de necrosis miocárdica irreversible y delimitar su grado de extensión transmural se ha convertido, al combinarla con el estudio de función ventricular segmentaria obtenido en la misma sesión, en la técnica de referencia para viabilidad miocárdica³⁷. Tiene muy buena correlación con la PET³⁸ y es superior a la SPECT con talio³⁹.

La RM resulta muy efectiva para valorar los volúmenes de las cámaras cardíacas y la función ventricular, así como la presencia de masas miocárdicas. Persson et al⁴⁰

comparan la valoración de la función ventricular con gated-SPECT-tetrofosmina y RM en 55 pacientes con enfermedad conocida o sospechada (13 de ellos tenían infarto de miocardio reciente). La gated-SPECT infrestima ligeramente y de forma sistemática el volumen telediastólico, telesistólico y la fracción de eyección en comparación con la RM. Sin embargo, los valores obtenidos son suficientemente consistentes como guía de tratamiento clínico, excepto en corazones muy dilatados. Tadamura et al⁴¹ han comparado gated-SPECT y la RM en 20 pacientes con enfermedad coronaria, y han observado un alto grado de correlación entre ambas técnicas en la valoración de la motilidad regional, el engrosamiento y las cifras de fracción de eyección. Concluyen que los datos de perfusión y función de la gated-SPECT proporcionan una gran exactitud diagnóstica y pronóstica sin el incremento de coste que conlleva la RM. Bax et al⁴² también han observado una excelente correlación entre ambas técnicas en 22 pacientes con miocardiopatía isquémica. La limitación de estos trabajos es el escaso número de pacientes.

La RM puede valorar la perfusión y la contractilidad miocárdica, tanto en reposo como con sobrecarga farmacológica; por tanto, es una técnica alternativa a la ecocardiografía con sobrecarga y la gated-SPECT. Hartnell et al⁴³ comparan la capacidad de la RM y la SPECT para detectar segmentos miocárdicos dependientes de arterias coronarias con estenosis > 70% y demuestran que ambas técnicas tienen la misma sensibilidad (92%) y especificidad (100%). En general, los estudios de perfusión con RM han mostrado resultados óptimos en comparación con la coronariografía, la PET⁴⁴ y la SPECT⁴⁵.

Debido a su alta resolución, la RM permite discriminar flujo subendocárdico y subepicárdico. Esta cualidad la hace útil no sólo en estudios de viabilidad, sino también en el síndrome X, donde puede haber isquemia difusa subendocárdica⁴⁶.

GATED-SPECT FRENTE A PET

La PET se considera el patrón de referencia para detección de viabilidad en zonas de miocardio con déficit

de perfusión. Cuando esas zonas tienen un aumento de captación de FDG (discordancia) es porque hay miocardio viable, con posibilidades de recuperación funcional tras la revascularización. En un metaanálisis se demostró que la sensibilidad, la especificidad, el valor predictivo positivo y el valor predictivo negativo de la PET-FDG para predecir mejoría de la función ventricular son del 88, el 73, el 76 y el 86%, respectivamente⁴⁷. Sin embargo, se utiliza muy poco en clínica por la escasa disponibilidad de cámaras PET y ciclotrones, debido al elevado coste no sólo de los equipos, sino también de cada estudio. Puesto que el FDG tiene una semivida mucho más larga que la de otros emisores de positrones, es posible producirlo en un ciclotrón y enviarlo a otro lugar que disponga de cámara PET, situado dentro de un radio de una hora (su período de semidesintegración es de 110 minutos). También puede utilizarse con equipos SPECT, aunque las imágenes obtenidas son de peor calidad que con PET.

En un estudio⁴⁸ efectuado en 116 pacientes se ha comparado la precisión de la gated-SPECT, la RM y la PET para el estudio de la necrosis y la viabilidad. Los autores concluyen que el grado de realce tardío se correlaciona bien con los defectos de perfusión de la gated-SPECT. La RM detecta mejor los infartos pequeños, mientras la PET-FDG detecta mejor la viabilidad. La RM puede distinguir entre artefactos e infartos detectados en la SPECT, especialmente en pacientes con disfunción ventricular izquierda.

En la tabla 1 se muestran de forma esquemática las características principales de cada técnica para que puedan ser comparadas con las restantes.

CONCLUSIONES

Para la valoración de pacientes con sospecha o diagnóstico de cardiopatía isquémica disponemos, además de la ergometría simple, de un arsenal de técnicas no invasivas con imagen. De éstas, algunas son fundamentalmente fisiológicas, como la gated-SPECT y la PET. Otras son anatómicas, como la TC sin contraste para detectar calcio o con contraste para coronariografía no in-

TABLA 1. Datos comparativos de las diversas técnicas de imagen en cardiopatía isquémica

	SPECT	ECO-esfuerzo*	TC calcio	TC-CG	RM	PET
Disponibilidad	++	+++	++	++	+	-/+
Detección de isquemia	+++	+++	-	+	+++	+++
Detección de viabilidad	++	++	-	+	++	+++
Detección de infarto	++	++	+	++	+++	++
Detección de EC	-	-	++	+++	-	-
Calidad en cualquier paciente	+++	++	+++	+	+++	+++
Radiación (mSv)	7	0	2-4	7-11	0	9-14
Precio	Medio	Bajo	Medio	Alto	Alto	Muy alto

CG: coronariografía; EC: estenosis coronaria; ECO: ecocardiografía; mSv: milisievertes; PET: tomografía por emisión de positrones; RM: resonancia magnética; TC: tomografía computarizada.

*Si le ecocardiografía se hace con contraste, se puede obtener buena calidad en casi todos los pacientes.

vasiva. Existen también técnicas mixtas que proporcionan resultados anatómicos y fisiológicos, como la RM y la ecocardiografía. La TC puede también utilizarse para el estudio fisiológico y anatómico cardíaco, como la RM, aunque de momento no está plenamente aceptada por la radiación que precisa. La utilización de una u otra técnica depende de la disponibilidad de cada hospital, la experiencia y el riesgo del paciente de presentar enfermedad coronaria. La PET apenas se utiliza en la clínica por su baja disponibilidad y su alto coste.

AGRADECIMIENTO

Deseamos expresar nuestro agradecimiento al Dr. Gorka Bastarrika Alemán, del Servicio de Radiología de la Clínica Universitaria de Navarra, por haber proporcionado las imágenes de coronariografía por TC.

BIBLIOGRAFÍA

1. Fleischmann KE, Hunink MG, Kuntz KM, Douglas PS. Exercise echocardiography or SPECT imaging? A meta-analysis of diagnostic test performance. *JAMA*. 1998;280:913-20.
2. Lee DS, Jang MJ, Cheon GJ, Cheng JK, Lee MC. Comparison of the cost-effectiveness of stress myocardial SPECT and stress echocardiography in suspected coronary artery disease considering the prognostic value of false-negative results. *J Nucl Cardiol*. 2002;9:515-22.
3. Lima RS, Watson DD, Goode AR, Siadat MS, Ragosta M, Beller GA, et al. Incremental value of combined perfusion and function over perfusion alone by gated SPECT myocardial perfusion imaging for detection of severe three-vessel coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol*. 2003;42:64-70.
4. Yoshinaga K, Morita K, Yamada S, Komuro K, Katoh C, Ito Y, 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.
5. Leoncini M, Sciagra R, Bellandi F, Maioli M, Sestini S, Marcucci G, et al. Low-dose dobutamine nitrate-enhanced technetium 99m sestamibi gated SPECT versus low-dose dobutamine echocardiography for detecting reversible dysfunction in ischemic cardiomyopathy. *J Nucl Cardiol*. 2002;9:402-6.
6. Stary HC, Chandler AB, Dinsmore RE, Fuster V, Glagov S, Insull W Jr, et al. A definition of advanced types of atherosclerotic lesions and a histological classification of atherosclerosis. A report from the Committee on Vascular Lesions of the Council on Arteriosclerosis, American Heart Association. *Circulation*. 1995;92:1355-74.
7. Greenland P, Bonow RO, Brundage BH, Budoff MJ, Eisenberg MJ, Grundy SM, et al. ACCF/AHA 2007 Clinical expert consensus document on coronary artery calcium scoring by computed tomography in global cardiovascular risk assessment and in evaluation of patients with chest pain. *J Am Coll Cardiol*. 2007;49:378-402.
8. Greenland P, LaBree L, Azen SP, Doherty TM, Detrano RC. Coronary artery calcium score combined with Framingham score for risk prediction in asymptomatic individuals. *JAMA*. 2004;291:210-5.
9. Hoff JA, Chomka EV, Krainik AJ, Daviglus M, Rich S, Kondos GT. Age and gender distributions of coronary artery calcium detected by electron beam tomography in 35,246 adults. *Am J Cardiol*. 2001;87:1335-9.
10. Mosca L, Banka CL, Benjamin EJ, Berra K, Bushnell C, Dolor RJ, et al. Evidence-based guidelines for cardiovascular disease prevention in women: 2007 Update. *Circulation*. 2007;115:1481-501.
11. De Backer G, Ambrosioni E, Borch-Johnsen K, Brotons C, Cifkova R, Dallongeville J, et al. European guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice. *Eur J Cardiovasc Prev and Rehabil*. 2003;10:S1-78.
12. Naghavi M, Falk E, Hecht HS, Jamieson MJ, Kaul S, Berman D, et al. From vulnerable plaque to vulnerable patient. Part III: executive summary of the Screening for Heart Attack Prevention and Education (SHAPE) Task Force Report. *Am J Cardiol*. 2006;98:H2-15.
13. Wong ND, Rozanski A, Gransar H, Miranda-Peats R, Kang X, Hayes S, et al. Metabolic syndrome and diabetes are associated with an increased likelihood of inducible myocardial ischemia among patients with subclinical atherosclerosis. *Diabetes Care*. 2005;28:1445-50.
14. Klocke FJ, Baird MG, Lorell BH, Bateman TM, Messer JV, Berman DS, et al. ACC/AHA/ASNC guidelines for the clinical use of cardiac radionuclide imaging: executive summary-a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (ACC/AHC/ASNC Committee to Revise the 1995 Guidelines for the Clinical Use of Cardiac Radionuclide Imaging). *Circulation*. 2003;108:1404-18.
15. Berman DS, Hachamovitch R, Shaw L, Friedman JD, Hayes SW, Thomson EJ, et al. Roles of nuclear cardiology, cardiac computed tomography, and cardiac magnetic Resonance: Assessment of Patients with Suspected Coronary Artery Disease. *J Nucl Med*. 2006;47:74-82.
16. Gibbons RJ, Abrams J, Chatterjee K, Daley J, Douglas JS, Fihn SD, et al. ACC/AHA 2002 guideline update for the management of patient with chronic stable angina: summary article - a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee on the Management of Patients with Chronic Stable Angina). *Circulation*. 2003;107:149-58.
17. Hachamovitch R, Hayes SW, Friedman JD, Cohen I, Berman DS. Comparison of the short-term survival benefit associated with revascularization compared with medical therapy in patients with no prior coronary artery disease undergoing stress myocardial perfusion single photon emission computed tomography. *Circulation*. 2003;107:2900-7.
18. Hoffman MH, Shi H, Schmitz B, Schmid FT, Lieberknecht M, Schulze R. Noninvasive coronary angiography with multislice computed tomography. *JAMA*. 2005;293:2471-8.
19. Schlosser T, Mohrs OK, Magedanz A, Voigtlander T, Schmermund A, Barkhausen J. Assessment of left ventricular function and mass in patients undergoing computed tomography (CT) coronary angiography using 64-detector-row CT: comparison to magnetic resonance imaging. *Acta Radiol*. 2007;48:30-5.
20. Goldstein JA, Gallagher MJ, O'Neill WW, Ross MA, O'Neil BJ, Raff GL. A randomized controlled trial of multi-slice coronary computed tomography for evaluation of acute chest pain. *J Am Coll Cardiol*. 2007;49:863-71.
21. Hacker M, Jakobs N, Nikolaou K, Becker C, Von Ziegler F, Knez A, et al. Sixty-four slice spiral CT angiography does not predict the functional relevance of coronary artery stenoses in patients with stable angina. *Eur J Nucl Med Mol. Imaging*. 2007;34:4-10.
22. Hacker M, Jakobs T, Matthies F, Vollmar C, Nikolaou K, Becker C, et al. Comparison of spiral multidetector CT angiography and myocardial perfusion imaging in the noninvasive detection of functionally relevant coronary artery lesions: clinical experiences. *J Nucl Med*. 2005;46:1294-300.
23. Schuijff JD, Van der Wall EE, Bax JJ. Changing paradigm: atherosclerosis versus ischemia. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2007;34:1-3.
24. Shaw LJ, Berman DS, Bax JJ, Brown KA, Cohen MC, Hendel RC, et al. Computed Tomographic Imaging within Nuclear Cardiology. *J Nucl Cardiol*. 2005;12:131-42.

25. Go V, Bhatt MR, Hendel RC. The diagnostic and prognostic value of ECG-gated SPECT myocardial perfusion imaging. *J Nucl Med*. 2004;45:912-21.
26. Berman DS, Hachamovitch R, Kiat H, Cohen I, Cabico JA, Wang FP, et al. Incremental value of prognostic testing in patients with known or suspected ischemic heart disease: a basis for optimal utilization of exercise technetium-99m sestamibi myocardial perfusion single-photon emission computed tomography. *J Am Coll Cardiol*. 1995;26:639-47.
27. Bravo N, Giménez M, Mejía S, García-Velloso MJ, Coma-Canella I. Prognostic value of myocardial perfusion imaging with adenosine triphosphate. *J Nucl Cardiol*. 2002;9:395-401.
28. Coma-Canella I, Palazuelos J, Bravo N, García-Velloso MJ. Myocardial perfusion imaging with adenosine triphosphate predicts the rate of cardiovascular events. *J Nucl Cardiol*. 2006;13:16-23.
29. Sharir T, Germano G, Kang X, Lewin HC, Miranda R, Cohen I, et al. Prediction of myocardial infarction versus cardiac death by gated myocardial perfusion SPECT: risk stratification by the amount of stress-induced ischemia and the poststress ejection fraction. *J Nucl Med*. 2001;42:831-7.
30. Sharir T, Germano G, Kavanagh PB, Lai S, Cohen I, Lewi HC, et al. Incremental prognostic value of poststress left ventricular ejection fraction and volume by gated myocardial perfusion single photon emission computed tomography. *Circulation*. 1999;100:1035-42.
31. Abidov A, Bax JJ, Hayes SV, Hachamovitch R, Cohen I, Gerlach J, et al. Transient ischemic dilation ratio of the left ventricle is a significant predictor of future cardiac events in patients with otherwise normal myocardial perfusion SPECT. *J Am Coll Cardiol*. 2003;42:1818-25.
32. Sripal B, Siu-Sun Y, Randy C, Muhammad ZM, Saeed S, Soni A, et al. Incremental prognostic value of stress echocardiography over historical, clinical, and stress electrocardiographic variables across a wide spectrum of Bayesian pretest probability for coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol*. 2004;43:A8.
33. Taylor AJ, Bindeman J, Feuerstein I, Cao F, Brazaitis M, O'Malley PG. Coronary calcium independently predicts incident premature coronary heart disease over measured cardiovascular risk factors: mean 3-year outcomes in the prospective army coronary calcium project. *J Am Coll Cardiol*. 2005;46:807-14.
34. Berman DS, Hachamovitch R, Shaw LJ, Friedman JD, Hayes SW, Thomson LE, et al. Roles of nuclear cardiology, cardiac computed tomography, and cardiac magnetic resonance: noninvasive risk stratification and conceptual framework for the selection of noninvasive imaging tests in patients with known or suspected coronary artery disease. *J Nucl Med*. 2006;47:1107-18.
35. Zellweger MJ, Lewin HC, Lai S, Dubois E, Friedman JD, Germano G, et al. When to stress patients after coronary artery bypass surgery? Risk stratification in patients early and late post-CABG using stress myocardial perfusion SPECT: Implications of appropriate clinical strategies. *J Am Coll Cardiol*. 2001;37:144-52.
36. 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;100:1992-2002.
37. Shan K, Constantine G, Sivananthan M, Flamm SD. Role of cardiac magnetic resonance imaging in the assessment of myocardial viability. *Circulation*. 2004;109:1328-34.
38. Kuhl HP, Beek AM, Van der Weerd AP, Hofman MB, Visser CA, Lammertsma AA, et al. Myocardial viability in chronic ischemic heart disease: comparison of contrast-enhanced magnetic resonance imaging with (18)F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography. *J Am Coll Cardiol*. 2003;41:1341-8.
39. Kitagawa K, Sakuma H, Hirano T, Okamoto S, Makino K, Takeida K. Acute myocardial infarction: Myocardial viability assessment in patients early thereafter: comparison of contrast enhanced MR imaging with resting 201-Tl SPECT. *Radiology*. 2003;26:138-44.
40. Persson E, Carlsson M, Palmer J, Pahlm O, Arheden H. Evaluation of left ventricular volumen and ejection fraction by automated gated myocardial SPECT versus cardiovascular magnetic resonance. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2005;25:135-41.
41. Tadamura E, Kudoh T, Motooka M, Inubushi M, Shirakawa S, Hattori N, et al. Assessment of regional and global left ventricular function by reinjection Tl-201 and rest Tc-99m sestamibi ECG-gated SPECT: comparison with three-dimensional magnetic resonance imaging. *J Am Coll Cardiol*. 1999;33:991-7.
42. Bax JJ, Lamb H, Dibbets P, Pelikan H, Boersma E, Viergever EP, et al. Comparison of gated-SPECT single-photon emission computed tomography with magnetic resonance imaging for evaluation of left ventricular function in ischemic cardiomyopathy. *Am J Cardiol*. 2000;86:1299-305.
43. Hartnell G, Cerel A, Kamalesh M, Finn JP, Hill T, Cohen M, et al. Detection of myocardial ischemia: value of combined myocardial perfusion and cineangiographic MR imaging. *Am J Roentgenol*. 1994;163:1061-7.
44. Schwittler J, Nanz D, Kneifel S, Buchi M, Knusel PR, Marincek B, et al. Assessment of myocardial perfusion in coronary artery disease by magnetic resonance: a comparison with positron emission tomography and coronary angiography. *Circulation*. 2001;103:2230-5.
45. Panting JR, Gatehouse PD, Yang GZ, Jerosch-Herold M, Wilke N, Firmin DN, et al. Echo planar magnetic resonance myocardial perfusion imaging: Parametric map analysis and comparison with Thallium SPECT. *J Magn Reson Imaging*. 2001;13:192-200.
46. Panting JR, Gatehouse PD, Yang GZ, Grothues F, Firmin DN, Collins P, et al. Abnormal subendocardial perfusion in cardiac syndrome X detected by Cardiovascular Magnetic Resonance Imaging. *N Engl J Med*. 2002;346:1948-53.
47. Bax JJ, Wijns W, Cornel JH, Visser FC, Boersma E, Fioretti PM. Accuracy of currently available techniques for prediction of functional recovery after revascularization in patients with left ventricular dysfunction due to chronic coronary artery disease comparison of pooled data. *J Am Coll Cardiol*. 1997;30:1451-60.
48. Wu YW, Tadamura E, Kanao S, Yamamuro M, Marui A, Komeda M, et al. Myocardial viability by contrast-enhanced cardiovascular magnetic resonance in patients with coronary artery disease: comparison with gated single-photon emission tomography and FDG position emission tomography. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2007 Mar 16; [Epub ahead of print].