

COMUNICACIÓN BREVE

## Valoración integral de la enfermedad coronaria mediante TC-perfusión con estrés farmacológico

G. Bastarrika<sup>a,b,\*</sup>, D.K. Kang<sup>a,c</sup>, J.A. Abro<sup>a</sup> y U.J. Schoepf<sup>a,d</sup>

<sup>a</sup>Department of Radiology and Radiological Science, Medical University of South Carolina, Charleston, Carolina del Sur, EE.UU.

<sup>b</sup>Servicio de Radiología, Clínica Universidad de Navarra, Pamplona, España

<sup>c</sup>Department of Radiology, Ajou University Hospital, Suwon, Corea del Sur

<sup>d</sup>Department of Medicine, Division of Cardiology, Medical University of South Carolina, Charleston, Carolina del Sur, EE.UU.

Recibido el 23 de diciembre de 2009; aceptado el 25 de marzo de 2010

Disponible en Internet el 18 de mayo de 2010

### PALABRAS CLAVE

Tomografía  
computarizada;  
Arterias coronarias;  
Angiografía;  
Función cardíaca;  
Perfusión miocárdica

### KEYWORDS

Computed  
tomography;  
Coronary arteries;  
Angiography;  
Heart function;  
Myocardial perfusion

### Resumen

Los avances tecnológicos en tomografía computarizada multicorte (TCMC) han permitido que la valoración de pacientes con sospecha de enfermedad coronaria no solo incluya un estudio morfológico de las arterias coronarias. Actualmente, con los equipos TC de doble fuente de segunda generación es posible, además, estudiar la perfusión miocárdica, una aplicación hasta ahora restringida a otras modalidades de imagen. En esta comunicación breve se describe un protocolo de TC cardíaca que combina la coronariografía por TC con el análisis de la función ventricular, perfusión y viabilidad miocárdica, que permite realizar una valoración exhaustiva de la enfermedad coronaria.

© 2009 SERAM. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

### Comprehensive Assessment of Coronary Disease Using Perfusion CT with Pharmacologically Induced Stress

### Abstract

Technological advances in multidetector computed tomography (MDCT) like second-generation dual source scanners have made it possible to evaluate myocardial perfusion as well as the anatomy of the coronary arteries in patients with suspected coronary disease; until recently, this application was confined to other imaging modalities. In this brief communication, we report a cardiac CT imaging protocol that combines CT coronary angiography with the analysis of ventricular function, perfusion, and myocardial viability in a single examination, thereby enabling a comprehensive assessment of coronary disease.

© 2009 SERAM. Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

\*Autor para correspondencia.

Correo electrónico: bastarrika@unav.es (G. Bastarrika).

## Introducción

Además del conocido valor diagnóstico y pronóstico de la coronariografía por tomografía computarizada multicorte (TCMC)<sup>1</sup>, estudios recientes indican la posibilidad de utilizar esta técnica para realizar una evaluación integral de la enfermedad coronaria, bien utilizando la tecnología multicorte convencional<sup>2</sup> o empleando la recientemente introducida tecnología de doble energía<sup>3</sup>. No obstante, la valoración real de la perfusión miocárdica requiere analizar todas las fases de la cinética del paso de contraste a través del miocardio y no interpretar únicamente la información obtenida en un instante concreto del paso del mismo, como ocurre con la adquisición helicoidal convencional.

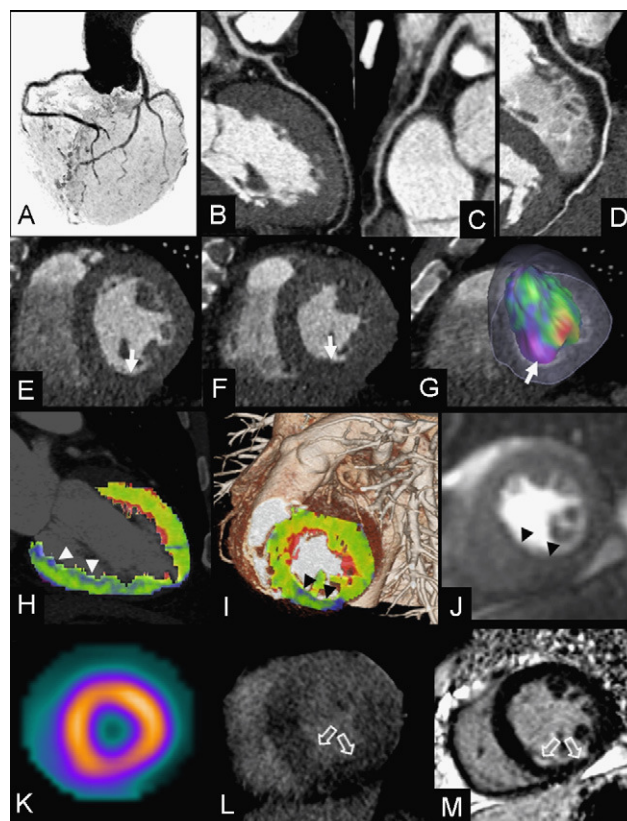
Recientemente se ha introducido el equipo TC de doble fuente de segunda generación compuesto por dos tubos de rayos X con sus correspondientes filas de detectores (128 cortes efectivos para cada fila de detectores), lo que aporta mayor cobertura en el eje z<sup>4</sup>. Este equipo presenta, además, la capacidad de realizar estudios volumétricos del paso dinámico de contraste para analizar la perfusión miocárdica. En esta comunicación breve se describe un protocolo de TC cardiaca que permite realizar una valoración exhaustiva de la enfermedad coronaria.

## Caso clínico

Varón de 56 años con tabaquismo, hipertensión y dislipidemia como factores de riesgo cardiovasculares y antecedentes de angioplastia de la arteria coronaria derecha e infarto de miocardio inferior antiguo que acude a consulta por dolor torácico atípico recurrente. En su centro de referencia se le realizó un estudio de perfusión miocárdica con TC por emisión de fotón único (SPECT) que no mostró hallazgos significativos. Fue referido a nuestro centro para completar su valoración mediante coronariografía por TC. El paciente accedió a participar voluntariamente en un estudio prospectivo que se está llevando a cabo para comparar la validez clínica de una exploración integral del corazón con esta técnica (cuantificación de calcio coronario, coronariografía por TC, función ventricular, estudio de perfusión miocárdica bajo estrés farmacológico y adquisición tardía para determinar viabilidad) con respecto a la resonancia magnética (RM) (función ventricular, perfusión miocárdica en estrés y reposo y viabilidad miocárdica) (fig. 1). Se obtuvo el consentimiento informado por escrito. El estudio fue aprobado por el comité de ética de nuestro centro.

## Protocolo de TC

El estudio se realizó en un equipo TC de doble fuente de segunda generación (SOMATOM Definition Flash, Siemens Healthcare, Forchheim, Alemania) con los protocolos de exploración que se describen en la tabla 1. Tras adquirir las imágenes necesarias para cuantificar la calcificación coronaria en un único latido se realizó una coronariografía por TC empleando un protocolo trifásico de inyección de contraste compuesto por una primera fase de 70 ml de contraste (Iopromide, Ultravist 370 mgI/ml, Bayer-Schering Pharma AG, Berlin, Germany) seguida de 50 ml de mezcla 30%: 70% de contraste/suero fisiológico y una fase final de



**Figura 1** Varón de 56 años con tabaquismo, hipertensión y dislipidemia. Antecedentes personales de angioplastia de la arteria coronaria derecha e infarto de miocardio inferior antiguo. Coronariografía por TC. El estudio volumétrico (A) y las reconstrucciones multiplanares curvas de las arterias coronarias descendente anterior (B), circunfleja (C) y coronaria derecha (D) mostraron irregularidades de la luz, sin estenosis significativas. Al comparar las imágenes diastólicas (E) y sistólicas (F), el análisis de la contractilidad regional puso de manifiesto hipocinesia inferior (flecha), más evidente en la reconstrucción volumétrica de la contractilidad (G). La TC perfusión con estrés inducido con adenosina mostró hipoperfusión subendocárdica de los segmentos inferiores e inferoseptales (puntas de flecha) tal y como se demuestra en el plano eje largo del ventrículo izquierdo (H) y en la reconstrucción volumétrica (I), confirmada posteriormente en el estudio de RM (J) y no detectada inicialmente en el SPECT (K) realizado en su centro de procedencia. Las imágenes tardías de TC (L) y RM (M) mostraron realce subendocárdico (flechas abiertas) correspondiente al territorio del antiguo infarto de miocardio, coincidiendo con la extensión del defecto de perfusión detectado en la TC perfusión con estrés inducido con adenosina. No se detectaron áreas de ischemia inducible en este paciente.

50 ml de suero inyectados a un flujo de 6 ml/s (Stellant D, Medrad, Indianola, PA, EE.UU.). Se utilizó un método de sincronización ECG prospectivo adaptativo, administrándose dosis máxima de radiación al 70% del intervalo R-R' y reduciendo la dosis nominal del tubo al 25% entre las fases 30% y 90% del ciclo cardiaco para poder obtener información anatómica y funcional. El estudio de perfusión miocárdica se llevó a cabo con un modo de adquisición dinámico bajo estrés farmacológico inducido tras la infusión i.v. de

Tabla 1 Protocolo de estudio

	Calcio coronario*	Coronariografía**	Perfusión	Estudio tardío (realce)**
<b>Tubo</b>				
Voltaje (kVp)	120	120	100	80
Corriente (mAs)	73	320	300	320
Modulación (int. R-R')	70% R-R'	Máx. 70%; mín. 30%–90% R-R'	250 ms post R	70% R-R'
<b>Adquisición</b>				
Colimación (mm)	2 × 64 × 0,6	2 × 64 × 0,6	2 × 64 × 1,2	2 × 64 × 0,6
Secciones	2 × 128 × 0,6 mm	2 × 128 × 0,6 mm	2 × 128 × 1,2 mm	2 × 128 × 0,6 mm
T. rotación (ms)	280	280	280	280
<b>Reconstrucción</b>				
Grosor/Incr. (mm)	3/1,5	0,75/0,3	3/2	0,75/0,3
Algoritmo	B35	B26f (B46f si calcificación o stent)	B23f	B26f
<b>Medicación</b>				
Adenosina	–	–	140 µg/kg/min	–
<b>Test</b>				
Región de interés	–	Aorta ascendente	–	–
Test bolus (C/S/F)	–	15/50 ml a 6 ml/s	–	–
<b>Retardo</b>				
Test bolus	–	Tiempo pico más 4s	Inicio pendiente menos 4s	–
<b>Contraste</b>				
Conc. (mg I/ml)	–	370	–	–
Protocolo (ml)	–	70 ml C+50 ml mezcla (30% C/70% S)+30 ml S a 6 ml/s	50 ml C+50 ml S a 6 ml/s	–
C: contraste; F: flujo; int. R-R': intervalo R-R'; kVp: kilovolt pico; máx: máximo; mAs: miliamperios por segundo; mm: milímetros; mg I/ml: miligramos de yodo por mililitro; mín: mínimo; ms: milisegundos; ml: mililitro; S: suero; s: segundos; µg/kg/min: microgramo por kilogramo por minuto.				
*Adquirida con pitch alto <sup>3,4</sup> .				
**Adquirida con sincronización ECG prospectiva.				

adenosina (140 µg/kg/min Adenoscan, Astellas Pharma Inc., Tokio, Japón) durante 3 minutos. Los datos se adquirieron durante la sístole ventricular utilizando movimientos alternos de la mesa entre 2 posiciones distintas (aceleración de la mesa: 300 mm/s<sup>2</sup>), con una cobertura anatómica de 73 mm (anchura del detector 38 mm, 10% solapamiento). El estudio de perfusión se realizó en inspiración, con un tiempo de adquisición fijo de 30 segundos, utilizando un protocolo de inyección bifásico (50 ml de contraste, 50 ml de suero fisiológico) a 6 ml/s. Las imágenes de perfusión miocárdica fueron procesadas con un software específico (Volume Perfusion, syngo VA31, Siemens). Por último se obtuvieron imágenes tardías 6 min después del estudio de estrés empleando sincronización ECG prospectiva con dosis máxima de radiación al 70% del ciclo cardíaco. A pesar de suponer un leve aumento en la dosis de radiación administrada, se decidió utilizar esta técnica de adquisición frente a la técnica de pitch alto debido al incremento de la frecuencia cardíaca resultante de la administración de adenosina. La dosis total de radiación

administrada fue 1177 mGy cm (dosis calcio coronario: 33 mGy cm, coronariografía por TC: 254 mGy cm, perfusión dinámica: 795 mGy cm, estudio tardío: 95 mGy cm).

Los estudios de TC, SPECT y RM se compararon de manera independiente. Las imágenes de perfusión de estrés fueron evaluadas junto a las tardías para una correcta caracterización de los defectos de perfusión. En particular, se evaluó la capacidad del estudio dinámico de primer paso por TC para detectar defectos de perfusión.

## Discusión

En este caso clínico se demuestra que el protocolo integral de TC que se propone permite realizar una valoración exhaustiva de la vascularización coronaria, función ventricular, perfusión miocárdica y viabilidad con una dosis de radiación que se encuentra en el límite superior del rango descrito para la coronariografía por TC convencional, realizada con sincronización ECG retrospectiva, y es similar

a la dosis administrada en los estudios de SPECT<sup>5</sup>. Con objeto de limitar la dosis de radiación y siguiendo las recomendaciones de los estudios más recientes en medicina nuclear<sup>6</sup> y RM<sup>7</sup> este protocolo únicamente incluye la perfusión miocárdica bajo estrés farmacológico, empleándose las imágenes de adquisición tardía para caracterizar los defectos de perfusión.

Las limitaciones inherentes a la tecnología<sup>8</sup> han impedido conocer la aplicabilidad clínica de la perfusión miocárdica mediante TC hasta que se han desarrollado los equipos volumétricos de última generación. El análisis de la perfusión miocárdica requiere una tecnología que permita valorar de manera dinámica el efecto del primer paso de contraste en todos los segmentos del corazón y presente elevada resolución espacial y temporal. Las 2 técnicas habitualmente utilizadas en la práctica clínica para estudiar la perfusión miocárdica son el SPECT y la RM. Este caso muestra que la mayor resolución espacial de la perfusión miocárdica mediante TC, al igual que la RM, permite visualizar defectos de perfusión subendocárdicos no detectados en el SPECT. Por su parte, respecto a la RM, la perfusión por TC posee como limitaciones la radiación, la necesidad de utilizar contraste yodado, su resolución temporal, que es significativamente menor, y la cobertura anatómica que puede no ser suficiente para todos los pacientes<sup>2</sup>. No obstante, al cuantificar la perfusión miocárdica, la TC posee una ventaja teórica sobre la RM dado que aunque la cinética del contraste administrado es similar, en TC existe una relación lineal entre la concentración de contraste y los valores de atenuación del miocardio<sup>9</sup>, lo que es probable que se vea reflejado en una cuantificación más exacta de los parámetros de perfusión miocárdica. Por otra parte, el valor clínico añadido de la TC respecto al resto de las técnicas de perfusión miocárdica es que permite establecer, además, el estado de las arterias coronarias.

La mayor limitación del protocolo de TC que se expone es la dosis de radiación administrada. Sin embargo, modificaciones en las técnicas de adquisición utilizadas en este protocolo de estudio como disminuir el kilovoltaje de 120 kV a 100 kV en sujetos de menos de 80 kg o emplear la técnica de pitch alto además de para cuantificar la calcificación coronaria para realizar la coronariografía por TC o la adquisición tardía permitiría reducir de manera significativa la dosis de radiación. La cantidad de contraste administrada (150 ml) es superior al volumen de contraste utilizado en los estudios cardiacos convencionales, aunque permanece dentro del rango de la cantidad de contraste suministrada en otras aplicaciones de TC. La cobertura anatómica de 73 mm puede resultar insuficiente para incluir todo el corazón en pacientes con marcada hipertrofia, dilatación o remodelado ventricular. Por último, tradicionalmente la diferenciación entre defectos de perfusión fijos y reversibles se ha realizado comparando los estudios de perfusión miocárdica adquiridos en estrés y reposo. Consideramos que la valoración conjunta de las adquisiciones TC perfusión con estrés inducido con adenosina y las imágenes tardías permite realizar esta diferenciación y por tanto obviar la perfusión de reposo. No obstante, es posible que con la tecnología disponible este abordaje resulte insuficiente en algunos casos y se requiera un mayor desarrollo en técnicas de adquisición y postprocesamiento de los estudios de TC.

Por tanto, un protocolo de TC cardiaca basado en la combinación de la coronariografía por TC, adquisición dinámica volumétrica bajo estrés y estudio tardío posee el potencial de responder a las cuestiones clínicas más importantes acerca de la gravedad de la enfermedad coronaria en una sola exploración y con una dosis de radiación razonable.

## Autoría

Concepción del estudio: Bastarrika, Kang, Abro, Schoepf.

Redacción y revisión crítica del trabajo: Bastarrika.

Aprobación final de la versión enviada para publicar: Bastarrika, Kang, Abro, Schoepf.

## Conflicto de intereses

GB declara percibir financiación de General Electric, Medrad y Siemens. UJS percibe financiación de Bayer-Schering, Bracco, General Electric, Medrad y Siemens. El resto de los autores no poseen conflictos de interés.

## Bibliografía

1. Bastarrika G, Schoepf UJ. Aplicaciones clínicas de la coronariografía por tomografía computarizada multicorte: ¿qué sabemos y qué más podemos saber? *Radiologia*. 2009;51:457-68.
2. George RT, Arbab-Zadeh A, Miller JM, Kitagawa K, Chang HJ, Bluemke DA, et al. Adenosine Stress 64- and 256-Row Detector Computed Tomography Angiography and Perfusion Imaging: A Pilot Study Evaluating the Transmural Extent of Perfusion Abnormalities to Predict Atherosclerosis Causing Myocardial Ischemia. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2009;2:174-82.
3. Ruzsics B, Schwarz F, Schoepf UJ, Lee YS, Bastarrika G, Chiamaramida SA, et al. Comparison of dual-energy computed tomography of the heart with single photon emission computed tomography for assessment of coronary artery stenosis and of the myocardial blood supply. *Am J Cardiol*. 2009;104:318-26.
4. Lell M, Marwan M, Schepis T, Pflederer T, Anders K, Flohr T, et al. Prospectively ECG-triggered high-pitch spiral acquisition for coronary CT angiography using dual source CT: technique and initial experience. *Eur Radiol*. 2009;19:2576-83.
5. Gerber TC, Carr JJ, Arai AE, Dixon RL, Ferrari VA, Gomes AS, et al. Ionizing radiation in cardiac imaging: a science advisory from the American Heart Association Committee on Cardiac Imaging of the Council on Clinical Cardiology and Committee on Cardiovascular Imaging and Intervention of the Council on Cardiovascular Radiology and Intervention. *Circulation*. 2009;119:1056-65.
6. Chang SM, Nabi F, Xu J, Raza U, Mahmarijan JJ. Normal Stress-Only Versus Standard Stress/Rest Myocardial Perfusion Imaging Similar Patient Mortality With Reduced Radiation Exposure. *J Am Coll Cardiol*. 2009.
7. Krittayaphong R, Boonyasirinant T, Saiviroonporn P, Nakyen S, Thanapiboonpol P, Yindeengam A, et al. Myocardial perfusion cardiac magnetic resonance for the diagnosis of coronary artery disease: do we need rest images? *Int J Cardiovasc Imaging*. 2009;25(Suppl 1):139-48.
8. George RT, Jerosch-Herold M, Silva C, Kitagawa K, Bluemke DA, Lima JA, et al. Quantification of myocardial perfusion using dynamic 64-detector computed tomography. *Invest Radiol*. 2007;42:815-22.
9. Gerber BL, Belge B, Legros GJ, Lim P, Poncelet A, Pasquet A, et al. Characterization of acute and chronic myocardial infarcts by multidetector computed tomography: comparison with contrast-enhanced magnetic resonance. *Circulation*. 2006;113:823-33.