

## ARTÍCULO ESPECIAL

# El radiólogo de urgencias ante el dolor torácico agudo: ¿cómo y para qué debo utilizar los equipos TC multicorte?

G. Bastarrika <sup>a,\*</sup> y U.J. Schoepf <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Unidad de Imagen Cardiaca, Servicio de Radiología, Clínica Universidad de Navarra, Pamplona, Navarra, España

<sup>b</sup> Department of Radiology and Radiological Science, Division of Cardiology, Department of Medicine, Medical University of South Carolina, Charleston, SC, Estados Unidos

Recibido el 4 de diciembre de 2010; aceptado el 26 de febrero de 2011

Disponible en Internet el 30 de julio de 2011

### PALABRAS CLAVE

Tomografía computarizada;  
Angiografía;  
Dolor torácico;  
Enfermedad coronaria;  
Embolismo pulmonar;  
Enfermedades aórticas

**Resumen** El dolor torácico en urgencias supone un reto asistencial. A pesar de los avances en el diagnóstico clínico, todavía existen muchos pacientes con dolor torácico atípico que son hospitalizados de manera innecesaria y pacientes dados de alta erróneamente. Ante la situación clínica concreta de pacientes con dolor torácico, electrocardiograma (ECG) inicial normal o no diagnóstico y biomarcadores cardíacos normales, la tomografía computarizada multicorte (TCMC), ha demostrado ser una técnica que puede ayudar a descartar las patologías de mayor morbilidad y establecer la causa del dolor. En este trabajo se revisa el estado actual de la utilidad de la TCMC en el diagnóstico del paciente que acude al Servicio de Urgencias por dolor torácico, se repasa el desarrollo de la técnica, se define la población de estudio más apropiada, se describen los protocolos de adquisición y se discuten las ventajas e inconvenientes de cada protocolo de estudio.

© 2010 SERAM. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

### KEYWORDS

Computed tomography;  
Angiography;  
Chest pain;  
Coronary heart disease;  
Pulmonary embolism;  
Aortic disease

**Radiologists in the emergency department: when and how to use multislice CT**

**Abstract** Chest pain is a challenging clinical problem in the emergency department. Despite advances in clinical diagnosis, many patients with atypical chest pain are needlessly hospitalized and others are mistakenly discharged. Faced with the specific clinical situation in which a patient has chest pain, an initially normal or inconclusive electrocardiogram, and normal cardiac biomarkers, multislice CT has proven useful for ruling out the conditions that involve the greatest morbidity and mortality and for establishing the cause of pain. This article reviews the current usefulness of multislice CT in the diagnostic workup of patients presenting at the emergency department with chest pain. We review the technique, define the most appropriate population, describe the acquisition protocols, and discuss the advantages and disadvantages of each study protocol.

© 2010 SERAM. Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

\* Autor para correspondencia.

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

## Introducción

La valoración del paciente con dolor torácico representa un desafío para la asistencia sanitaria y economía actual. Se estima que el 5-20% de los motivos de consulta en los Servicios de Urgencias en España se debe a dolor torácico no traumático<sup>1</sup>. Las causas potencialmente más letales de dolor torácico son el tromboembolismo pulmonar, la disección aórtica y la enfermedad coronaria. A pesar de que el 50% de estos pacientes presenta un cuadro clínico sugestivo de síndrome coronario agudo (SCA), únicamente en la mitad de los casos se llega al diagnóstico<sup>2,3</sup>. Aproximadamente un 15% es diagnosticado de SCA demostrable por la clínica y el ECG al inicio, incrementándose esta cifra en un 35% adicional si se consideran los SCA con ECG inicial normal<sup>4</sup>. Si bien la mayoría de los pacientes con dolor torácico no presenta una causa potencialmente letal, un gran número de estos pacientes permanece en observación o es hospitalizado de manera innecesaria<sup>5,6</sup>. Con objeto de optimizar los recursos<sup>7</sup>, optimizar la asistencia y manejar apropiadamente este grupo de pacientes se han creado las unidades de dolor torácico (UDT)<sup>8</sup>. No obstante, a pesar de los avances en el diagnóstico clínico, la sensibilidad y especificidad de las exploraciones que se realizan como primera aproximación al dolor torácico (historia clínica, niveles de enzimas cardíacas, ECG y radiografía de tórax) pueden resultar insuficientes para establecer la causa del dolor<sup>9,10</sup>. De hecho, existe un número de pacientes con SCA no correctamente diagnosticados que son dados de alta de manera errónea<sup>11-13</sup>, con la consiguiente problemática legal que esto conlleva<sup>14-17</sup>.

La tomografía computarizada multicorte (TCMC) es la técnica de primera elección para el despistaje del tromboembolismo pulmonar (TEP)<sup>18-20</sup> y la patología aórtica<sup>21,22</sup>. Estudios recientes señalan, además, que la TCMC-64 es útil para descartar la enfermedad coronaria<sup>23</sup>. Por tanto, al permitir valorar la aorta, la arteria pulmonar y sus ramas y las arterias coronarias, una única exploración mediante TCMC podría ser útil para estudiar los pacientes que acuden por dolor torácico al Servicio de Urgencias<sup>24,25</sup> y descartar así las causas de mayor morbilidad.

## Desarrollo tecnológico: ¿cómo ha evolucionado la TC?

La TC cardiotorácica está sufriendo una evolución constante. En la década de los 80 se diseñó el primer equipo específico para estudiar el corazón (TC de haz de electrones, *electron beam CT*)<sup>26</sup>. Más adelante, a finales de la década de los 90, la imagen cardíaca sufrió un avance significativo al comercializarse los equipos multicorte de cuatro coronas de detectores que, además de suponer un gran progreso en la adquisición de estudios de cualquier órgano del cuerpo, permitieron estudiar el corazón con sincronización con el ECG y elevada resolución espacial y temporal<sup>27</sup>. Con esta técnica de imagen se demostró que era posible cuantificar la calcificación coronaria y evaluar las arterias coronarias con suficiente calidad de imagen<sup>28</sup>. Más adelante, fue con la introducción de los equipos de TC-16 y, sobre todo, TC-64 cuando se generalizó la imagen cardíaca no invasiva. Estos últimos equipos permiten estudiar el corazón con un tiempo de rotación de *gantry* de 330 ms

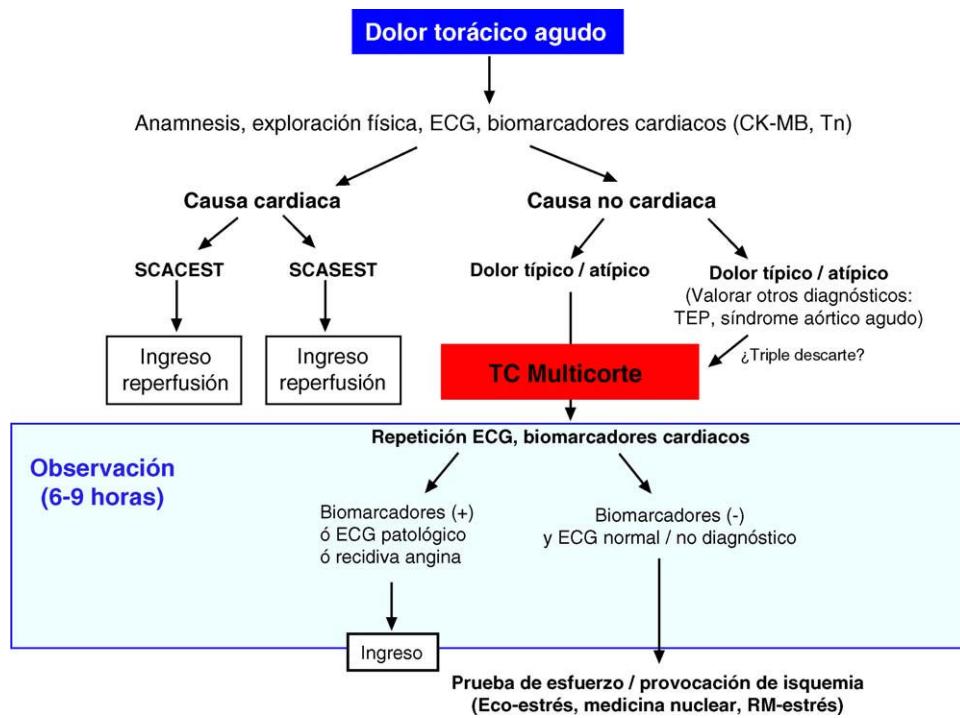
(resolución temporal de 165 ms) y resolución espacial de 0,4 mm en una apnea corta<sup>29</sup>. Hoy en día, según las recomendaciones clínicas más actuales, se considera que el estándar de referencia en equipos TC-64 utilizados para imagen cardíaca deben ser sistemas de al menos 64 cortes<sup>30</sup>.

En los dos últimos años, con objeto de superar las limitaciones de estos equipos, que se deben fundamentalmente a su resolución temporal y espacial, se han desarrollado dos tipos de sistemas de TC. Los equipos de TC dual o de doble fuente permiten obtener estudios con una resolución temporal de 83 o 75 ms, dado que utilizan los dos tubos de rayos X disponibles para adquirir las imágenes. Este avance tecnológico ha facilitado la obtención de estudios coronarios de calidad diagnóstica en pacientes con frecuencia cardíaca elevada y/o ritmo cardíaco irregular<sup>31-33</sup>, sin necesidad administrar fármacos que controlen la frecuencia cardíaca (habitualmente fármacos betabloqueantes). Además, con este tipo de equipos se ha reintroducido el concepto de «técnica de doble energía» que mejora la caracterización tisular, con resultados prometedores<sup>34</sup>. Entre las potenciales limitaciones de estos equipos destaca la dosis de radiación administrada a los pacientes con frecuencia cardíaca lenta, que podría resultar ligeramente superior a la aplicada con equipos de TC multicorte convencionales en el mismo grupo de sujetos, según un trabajo experimental<sup>35</sup>. No obstante, estudios recientes demuestran que la diferencia en la dosis de radiación administrada con estos equipos no es estadísticamente significativa; más aún, en pacientes con frecuencia cardíaca elevada, las dosis de radiación es menor con los equipos de TC dual<sup>35,36</sup>. Por otra parte, con la idea de incrementar la resolución espacial en el eje-Z (eje longitudinal), se han diseñado equipos de TC volumétricos (hasta 320 detectores), que permiten obtener imágenes del corazón completamente isofásicas<sup>37</sup> en un único latido, con un tiempo de rotación mínimo de 350 ms<sup>38</sup> reduciendo, por tanto, los artefactos. En este sentido, la nueva técnica de adquisición de «pitch-alto» implementada en los equipos de TC-dual más recientes también permite adquirir el estudio cardíaco en un único latido, reduciendo a menos de 1 mSv la dosis de radiación si se utilizan protocolos específicos<sup>39</sup> o estudiar todo el tórax en menos de 1 segundo<sup>40</sup>.

Entre los avances en protocolos de adquisición de TC cardíaco destaca la adquisición de estudios con sincronización con el ECG prospectiva (*prospective ECG-triggering*)<sup>41</sup>, la cual permite disminuir de manera significativa la cantidad de radiación que se administra a los pacientes (2,8-4,2 mSv), muy por debajo de la que supone la sincronización con el ECG retrospectiva convencional (8-18 mSv)<sup>42-46</sup>. La mayor limitación de esta técnica de adquisición es que impide cuantificar los parámetros de función ventricular, excepto si se utilizan los protocolos de adquisición desarrollados más recientemente (*flex padding*).

## Población de estudio: ¿qué paciente con dolor torácico debemos estudiar mediante TC?

Entre el grupo de pacientes que acuden al Servicio de Urgencias por dolor torácico atípico, todavía no se conoce cuál es la población concreta que más se puede beneficiar de un estudio de TC-64. En la práctica clínica habitual,



**Figura 1** Protocolo de actuación clínica ante el paciente que acude al Servicio de Urgencias por dolor torácico. Los estudios más recientes sugieren realizar un estudio de TCMC a pacientes de riesgo bajo o intermedio con resultado de ECG inicial normal o indeterminado y biomarcadores cardíacos negativos.

Fuente: modificado de Bayón Fernández J et al<sup>1</sup>.

además de la anamnesis, la primera medida que se toma en los pacientes que se presentan en urgencias por dolor torácico es monitorizar su ECG y analizar los biomarcadores cardíacos (troponina [Tn], creatinfosfocinasa [CPK] y creatincinasa MB [CK-MB]). Según sus resultados y de acuerdo con otros parámetros clínicos, se pueden utilizar diferentes algoritmos de estratificación del SCA, entre los que se incluye la escala TIMI (*Thrombosis in Myocardial Infarction*)<sup>47</sup>. Según esta escala de riesgo, los pacientes se pueden estratificar en pacientes de alto riesgo (TIMI 5-7), quienes habitualmente son dirigidos al laboratorio de hemodinámica para cateterismo urgente, pacientes de riesgo intermedio (TIMI 3-4) y pacientes de riesgo bajo (TIMI 0-2). En estos dos últimos grupos de pacientes el resultado del ECG y de los biomarcadores suele ser negativo o indeterminado, de manera que estos individuos suelen permanecer en observación durante un periodo de unas 6-9 horas, momento en el que se obtiene un nuevo ECG y se analizan nuevamente los biomarcadores cardíacos para establecer si el dolor torácico se debe o no a una causa cardíaca<sup>1</sup>. De acuerdo con lo publicado hasta la fecha, es durante ese periodo de observación cuando se propugna la realización del estudio de TCMC (fig. 1), con objeto de reducir o acortar al máximo el tiempo de «incertidumbre diagnóstica». Según los trabajos llevados a cabo en este sentido, realizar un estudio TCMC en el periodo comprendido entre las dos actuaciones permite reducir el coste derivado del periodo de observación y disminuir el número de ingresos innecesarios. Por supuesto, el éxito del procedimiento depende de la elección apropiada de los pacientes<sup>30,48,49</sup> y la adecuada realización de los protocolos de estudio, adaptados a la

sospecha clínica y características propias de cada individuo. En la tabla 1 se especifican las contraindicaciones para realizar un estudio cardíaco o de triple descarte por TCMC en pacientes que acuden al Servicio de Urgencias por dolor torácico.

**Tabla 1** Contraindicaciones para realizar un estudio cardíaco o de triple descarte con TCMC en pacientes que acuden al Servicio de Urgencias por dolor torácico

**Clínicas:**

- Elevación de biomarcadores cardíacos (troponina, creatincinasa MB) en la muestra de sangre inicial
- Cambios en el ECG sugestivos de síndrome coronario agudo

**Técnicas:**

- Antecedentes de reacción alérgica o hipersensibilidad a los agentes yodados
- Contraindicaciones relativas:
  - Embarazo
  - Edad < 40 años
  - Insuficiencia renal (creatinina sérica > 1,5 mg/dl)
  - Fibrilación auricular o extrasistolia frecuente
  - Inestabilidad hemodinámica
  - Contraindicaciones para la administración de beta-bloqueantes (metoprolol)
  - Contraindicación para la administración de nitroglicerina sublingual
  - Incapacidad de apnea > 15 segundos

## Protocolo de estudio: ¿cómo debemos realizar el estudio de TC?

Desde el punto de vista de la valoración del paciente con dolor torácico utilizando la TCMC como técnica de imagen, se ha analizado tres abordajes distintos: la cuantificación de la calcificación coronaria, la coronariografía por TCMC y el estudio de triple descarte o «*triple-rule-out*». La obtención de estudios cardíacos específicos implica acotar el rango de la exploración al corazón, de manera que si bien es posible estudiar los vasos pulmonares centrales y parte de la aorta ascendente y descendente, un protocolo de estas características no es capaz de detectar émbolos periféricos en los ápices y bases pulmonares. Por el contrario, realizar un estudio torácico completo con sincronización con el ECG implica incrementar de manera significativa la dosis de radiación, administrar más contraste yodado y aumentar la presencia y número de artefactos, sobre todo en pacientes hemodinámicamente inestables o poco colaboradores<sup>50</sup>.

Por tanto, siguiendo las recomendaciones establecidas, es aconsejable establecer la sospecha clínica con la mayor concreción posible, de manera que se optimice el protocolo de estudio en cada paciente a «su medida». Así, en los pacientes en los que claramente se sospecha una etiología coronaria, es recomendable realizar un estudio cardíaco dirigido, dado que el protocolo de adquisición de este tipo de estudios se encuentra bien establecido y el número de exploraciones no diagnósticas por mala calidad técnica es reducido. Sin embargo, en aquellos pacientes en los que el dolor no sugiera una etiología concreta y se quiera descartar además de la enfermedad coronaria, tromboembolismo pulmonar, patología aórtica u otras posibles causas torácicas, es más recomendable realizar un protocolo que incluya toda la caja torácica. En las [tablas 2 y 3](#) se proponen protocolos de TCMC-64 para cada tipo de estudio. Se trata de protocolos generales, que deberán ser adaptados a cada máquina, a la experiencia de cada centro y a la situación clínica del paciente. Los protocolos para TC-dual se pueden consultar en Bastarrika G et al<sup>51</sup> y Arraiza M et al<sup>52</sup>. Los protocolos de inyección de contraste que se describen son orientativos y deben ajustarse a las características de cada paciente, teniendo en cuenta que la atenuación mínima para el diagnóstico en las arterias coronarias debe ser de 250 UH<sup>53</sup>.

Por supuesto, asumiendo que la dosis de radiación administrada en los estudios de TC es la gran limitación de este tipo de exploraciones, se deben tomar todas las medidas disponibles para mantener la dosis de radiación en el mínimo razonable que permita obtener estudios de calidad diagnóstica. En este sentido, se deben aplicar todas las estrategias disponibles para reducir la dosis de radiación. El requisito más importante es seleccionar apropiadamente el paciente que se va a beneficiar de dicho tipo de estudio<sup>30</sup>. El protocolo de adquisición, sobre todo en cuanto a los parámetros de exploración, se debe adaptar a las características propias de cada paciente, ajustando el kilovoltaje (kV) y el miliamperaje (mA) en función de su hábito corporal. Como norma general se suelen emplear 120kV, aunque en sujetos con índice de masa corporal menor de 25 kg/m<sup>2</sup> se obtienen estudios de buena calidad diagnóstica utilizando protocolos con 100kV, consiguiendo una reducción de la dosis de radiación de aproximadamente

un 40-50%. Además, los sistemas de TCMC vienen equipados con técnicas de adquisición específicas que permiten reducir la dosis de radiación. La técnica más ampliamente difundida es la modulación de la corriente del tubo. Con esta técnica se administra la máxima dosis de radiación en la fase del ciclo cardíaco donde es esperable obtener la mejor calidad de imagen de los vasos a estudio, en este caso las arterias coronarias, y se reduce (generalmente al 25% de la corriente nominal del tubo) la dosis de radiación administrada en el resto de las fases del ciclo cardíaco. En general, aunque los rangos pueden variar en función del equipo de TC disponible, se recomienda aplicar máxima dosis de radiación durante el 60-70% del ciclo cardíaco en pacientes con frecuencia cardíaca menor de 60 latidos por minuto (lpm), durante el 50-80% del ciclo cardíaco en pacientes con frecuencia cardíaca comprendida entre 60 y 70 lpm y durante el 35-80% del ciclo cardíaco en pacientes con frecuencia cardíaca superior a 70 lpm. Con esta técnica, se puede obtener estudios cardíacos con unos 9 mSv utilizando equipos de TCMC-64<sup>49</sup>. La dosis de radiación en estudios cardiotorácicos de triple descarte es significativamente superior (16-17 mSv)<sup>54</sup>, aunque se sitúa en el rango de la dosis de radiación administrada en otras aplicaciones de TC. De modo comparativo, la dosis de radiación aplicada en una angio-TC convencional (sin sincronización con el ECG), es de aproximadamente 5-7 mSv<sup>45</sup>. Por tanto, es imprescindible establecer el beneficio/riesgo de este tipo de exploraciones, particularmente en el caso de los estudios de triple descarte. Por último, trabajos recientes subrayan la posibilidad de adquirir los estudios con sincronización con el ECG prospectiva<sup>55</sup> o en un único latido<sup>40</sup>, reduciendo de manera drástica la dosis de radiación administrada.

## TC en el paciente con dolor torácico: ¿qué aportan los distintos protocolos de estudio?

### Cuantificación del calcio coronario

La calcificación coronaria es un marcador de arteriosclerosis. Se ha demostrado que su cantidad refleja la carga total de placa de ateroma<sup>56</sup> pero no posee correlación con la gravedad de la estenosis coronaria<sup>57</sup>. De acuerdo con los trabajos realizados en la década de los 90, la cuantificación de la calcificación coronaria, medida en la escala de Agatston («*Agatston Score*»)<sup>58</sup>, ha sido propuesta como técnica de estratificación del riesgo cardiovascular<sup>59,60</sup>, habiéndose demostrado que posee valor pronóstico tanto en pacientes sintomáticos como en sujetos asintomáticos<sup>61-69</sup>. Se conoce que en individuos sintomáticos, una puntuación de calcio coronario de cero posee un elevado valor predictivo negativo para descartar estenosis coronaria hemodinámicamente significativa<sup>70</sup>. En el contexto clínico concreto de los pacientes con dolor torácico que acuden al Servicio de Urgencias, los estudios realizados con TC de haz de electrones demostraron que la cuantificación de la calcificación coronaria puede ser un método útil de cribado de enfermedad coronaria. En diversos estudios se ha llegado a conclusiones similares: los pacientes con dolor torácico, ECG normal o no diagnóstico y ausencia de calcio coronario (*Agatston Score* = 0) pueden ser dados de alta del Servicio de Urgencias con gran fiabilidad<sup>71</sup>. Laudon et al<sup>72</sup> llevaron a cabo un

**Tabla 2** Protocolo de estudio de coronariografía mediante TCMC-64. Parámetros de adquisición

<b>Estudio</b>	
Rango	Carina-diafragma
Dirección	Cráneo-caudal
Tiempo	~9-12 s
<b>Radiación</b>	
Voltaggio	120 kVp
Corriente	500-800 mAs
Modulación de la dosis	Modulación de la corriente del tubo
<b>Adquisición</b>	
Colimación	32 × 0,6 mm
Grosor de corte	64 × 0,6 mm
Tiempo de rotación	330 ms
Pitch	0,2
Modo	Secuencial (sincr. ECG-prospectiva) Helicoidal (sincr. ECG-retrospectiva)
<b>Medicación</b>	
Betabloquantes	Si FC > 65 lpm
Nitroglicerina	0,4 mg sublingual (comprimido/spray)
<b>Contraste<sup>a</sup></b>	
Vía	Vena antecubital derecha
Tamaño de la aguja	18-20 G
Técnica	Bolus tracking
Región de interés	Aorta ascendente
Umbraal	100 UH
Retardo	6 s
Concentración de contraste	400 mg l/ml
Cantidad	80 ml
Bolo de suero	50 ml
Flujo	4-5 ml/s
<b>Reconstrucción</b>	
Arterias coronarias (GC/IR)	0,75 mm/0,4 mm
Ventana de reconstrucción	Si FC < 80 lpm, 70% del ciclo cardiaco
Parénquima pulmonar (GC/IR)	Si FC > 80 lpm, 40% del ciclo cardiaco 3 mm/3 mm
<b>Postproceso</b>	
Imágenes axiales	
MIP	
MPR (curvo)	
VR	

FC: frecuencia cardiaca; G: gauge; GC/IR: grosor de corte/incremento de reconstrucción; kVp: pico de voltaje; lpm: latidos por minuto; mAs: miliamperio segundo; mg: miligramo; mgl: miligramos de yodo; mGy: miliGray; MIP: proyección de máxima intensidad; ml: mililitro; mm: milímetro; MPR: reconstrucción multiplanar; ms: milisegundo; s: segundos; sincr.: sincronización; UH: unidades Hounsfield; VR: reconstrucción volumétrica.

<sup>a</sup> Una variación de este protocolo de administración de contraste, si se quiere administrar menor cantidad, es utilizar un protocolo trifásico con 80 ml de contraste (400 mg l/ml) + 50 ml mezcla (30% contraste/70% suero salino) + 50 ml de suero salino con el ROI en la arteria pulmonar, umbral de 100 UH y retardo de 10 segundos en adquisición cráneo-caudal.

estudio observacional prospectivo en 105 pacientes consecutivos con dolor torácico a los que se les cuantificó la calcificación coronaria y se les realizó una prueba de esfuerzo según criterio clínico. Estos autores concluyeron que no es necesario realizar exploraciones complementarias a pacientes con enzimas cardíacas iniciales normales, hallazgos de ECG normales o indeterminados y una puntuación de calcio nula. En un estudio prospectivo realizado en 192 pacientes con dolor torácico, Georgiou et al<sup>62</sup> demostraron un incremento en la tasa de eventos anuales en sujetos con puntuaciones elevadas de calcio coronario respecto a

pacientes sin calcificación coronaria, concluyendo que en esta población la ausencia de calcio coronario implica un riesgo bajo de eventos cardíacos futuros (< 1% anual).

Actualmente, el estudio para cuantificar la calcificación coronaria forma parte de la mayoría de los protocolos de cardio-TC. Por una parte, permite afinar en la estratificación del riesgo cardiovascular de los pacientes y, por otra, aporta información para planificar la coronariografía por TCMC. La decisión acerca de realizar o no el estudio con contraste en función de la cantidad de calcio coronario que se encuentre en el paciente, es controvertida<sup>73</sup>. Por una parte, en

**Tabla 3** Protocolo de estudio de triple descarte («Triple-rule-out»). Parámetros de adquisición

<i>Estudio</i>	
Rango	Ápices pulmonares-diafragma
Dirección	Cráneo-caudal
Tiempo	~20-26 s
<i>Radiación</i>	
Voltaje	120 kVp
Corriente	300 mAs
Modulación de la dosis	Modulación de la corriente del tubo
<i>Adquisición</i>	
Colimación	32 × 0,6 mm
Grosor de corte	64 × 0,6 mm
Tiempo de rotación	330 ms
Pitch	0,3
<i>Medicación</i>	
Betabloquantes	Si FC > 65 lpm
Nitroglicerina	0,4 mg sublingual (comprimido/spray)
<i>Contraste<sup>a</sup></i>	
Vía	Vena antecubital derecha
Tamaño de la aguja	18-20 G
Técnica	Bolus tracking
Región de interés	Aorta ascendente
Umbral	100 UH
Retardo	6 s
Concentración de contraste	400 mg I/ml
Cantidad	120 ml
Bolo de suero	40 ml
Flujo	4 ml/s
<i>Reconstrucción</i>	
Mediastino (GC/IR)	1 mm/0,7 mm
Parénquima pulmonar (GC/IR)	3 mm/3 mm
Arterias coronarias (GC/IR)	0,75 mm/0,4 mm
Ventana de reconstrucción	Si FC < 80 lpm, 70% del ciclo cardiaco Si FC > 80 lpm, 40% del ciclo cardiaco
<i>Postproceso</i>	
Imágenes axiales	
MIP	
MPR (curvo)	
VR	

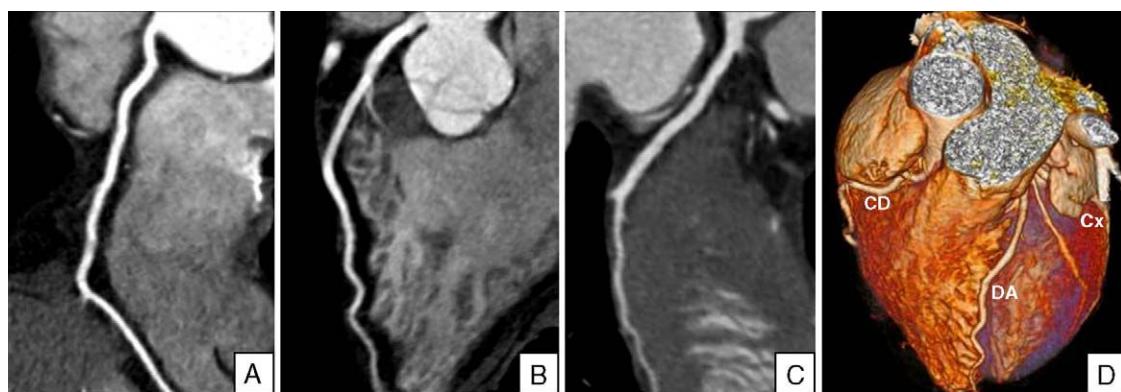
FC: frecuencia cardiaca; G: gauge; GC/IR: grosor de corte/incremento de reconstrucción; kVp: pico de voltaje; lpm: latidos por minuto; mAs: miliamperio segundo; mg: miligramo; mgl: miligramos de yodo; mGy: miliGray; MIP: proyección de máxima intensidad; ml: mililitro; mm: milímetro; MPR: reconstrucción multiplanar; ms: milisegundo; s: segundos; sincr.: sincronización; UH: Unidades Hounsfield; VR: reconstrucción volumétrica.

<sup>a</sup> Una variación de este protocolo de administración de contraste, si se quiere administrar menor cantidad, es utilizar un protocolo trifásico con 80 ml de contraste (400 mg I/ml) + 50 ml mezcla (30% contraste/70% suero salino) + 50 ml de suero salino con el ROI en la arteria pulmonar, umbral de 100 UH y retardo de 10 segundos en adquisición cráneo-caudal.

pacientes con elevada cantidad de calcio, la coronariografía por TCMC puede diagnosticar lesiones significativas en segmentos coronarios no calcificados; sin embargo, la calcificación extensa supone una gran limitación para visualizar la luz vascular. En general, se considera como mayor determinante la localización y extensión de las placas calcificadas en el árbol coronario, más que la propia puntuación de Agatston. Como recomendación, ante cada paciente individual, si se presupone que la calcificación detectada va a impedir una valoración adecuada de los segmentos arteriales más importantes o de mayor calibre, se debe plantear el beneficio/riesgo de realizar el estudio cardiaco con contraste (coronariografía por TCMC).

## Estudio cardiaco por TC

En el año 2005, Sato et al<sup>74</sup> publicaron uno de los primeros estudios de evaluación de la eficacia de la TCMC-4 y TCMC-16 para diagnosticar un SCA en el Servicio de Urgencias, definido como estenosis coronaria  $\geq 75\%$  asociada a placas de ateroma de baja atenuación y/o defectos de perfusión miocárdicos, concluyendo que la TCMC posee una sensibilidad del 95,5% y una especificidad del 88,9% para diagnosticar esta entidad. En su estudio preliminar, Hoffmann et al<sup>75</sup> incluyeron 40 pacientes con dolor torácico, enzimas cardíacas normales y ECG sin cambios sugestivos de isquemia a los que se realizó una coronariografía por TCMC durante el periodo de observación, previo al ingreso. Los autores concluyeron que el empleo de la TCMC en este contexto puede disminuir el número de pacientes que son ingresados de forma innecesaria. Posteriormente, el mismo grupo de trabajo realizó un estudio prospectivo en 103 pacientes, observando que la ausencia de estenosis coronaria significativa predice la ausencia de SCA durante la hospitalización y durante un periodo de seguimiento de 5 años<sup>76</sup> (fig. 2). En un estudio aleatorio realizado en sujetos con dolor torácico y bajo riesgo, Goldstein et al<sup>77</sup> compararon el rendimiento de la TCMC (99 pacientes) frente al estándar clínico habitual (98 pacientes) (ECG seriado, biomarcadores cardíacos y estudio de perfusión miocárdica el mismo día) demostrando que en pacientes con dolor torácico y bajo riesgo, la TCMC posee una exactitud similar al estándar clínico habitual para diagnosticar un SCA, con el valor añadido de que acorta el tiempo de observación y reduce costes. Rubinstein et al<sup>78</sup> evaluaron la utilidad de la TCMC para el despistaje inicial de 58 pacientes con sospecha de SCA y estudiaron su evolución durante 15 meses. El hallazgo principal de este trabajo fue que no ocurrió ningún fallecimiento en sujetos que fueron dados de alta en base a un estudio cardiaco por TCMC normal. En un trabajo más reciente realizado en 568 pacientes con dolor torácico y bajo riesgo de SCA los autores observaron que del 84% de los pacientes dados de alta de acuerdo con un resultado negativo en la TCMC, ninguno experimentó un evento cardiaco en los siguientes 30 días<sup>79</sup>. Recientemente, se ha llevado a cabo el estudio observacional ROMICAT (Rule Out Myocardial Infarction using Computer Assisted Tomography) en 368 pacientes con troponinas iniciales normales y ECG no sugestivo de isquemia con objeto de detectar estenosis coronaria  $> 50\%$  y placas de ateroma<sup>80</sup>. En este estudio, la sensibilidad y el valor predictivo de la prueba para SCA fue del 100% en ausencia de enfermedad



**Figura 2** Coronariografía por TCMC en mujer de 56 años que acudió al Servicio de Urgencias por dolor torácico. A, B, C) Reconstrucciones multiplanares curvas. D) Reconstrucción volumétrica. La arteria coronaria derecha (A), descendente anterior (B) y circunfleja (C) fueron normales, descartándose enfermedad coronaria.

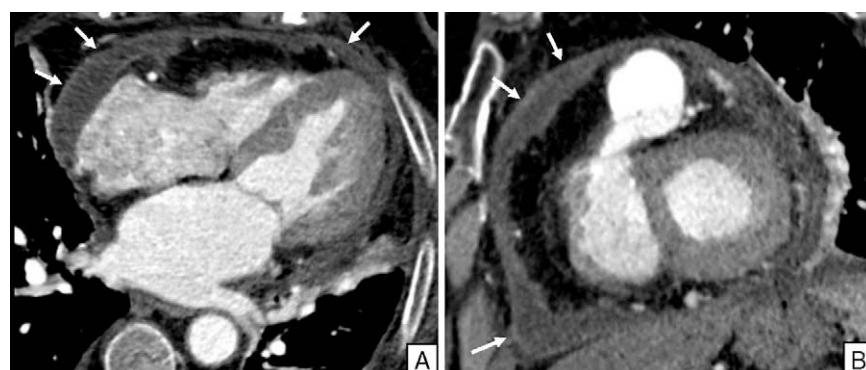
CD: arteria coronaria derecha; Cx: arteria coronaria circunfleja; DA: arteria coronaria descendente anterior.

coronaria y del 77 y 98% en caso de que existiera estenosis coronaria significativa. De acuerdo con sus resultados, los autores concluyeron que tanto la cantidad de placas de ateroma como la presencia de estenosis coronaria por TCMC predicen el SCA de manera independiente y añadida a la escala de riesgo TIMI (áreas bajo la curva de 0,88; 0,82; frente a 0,63, respectivamente)<sup>80</sup>.

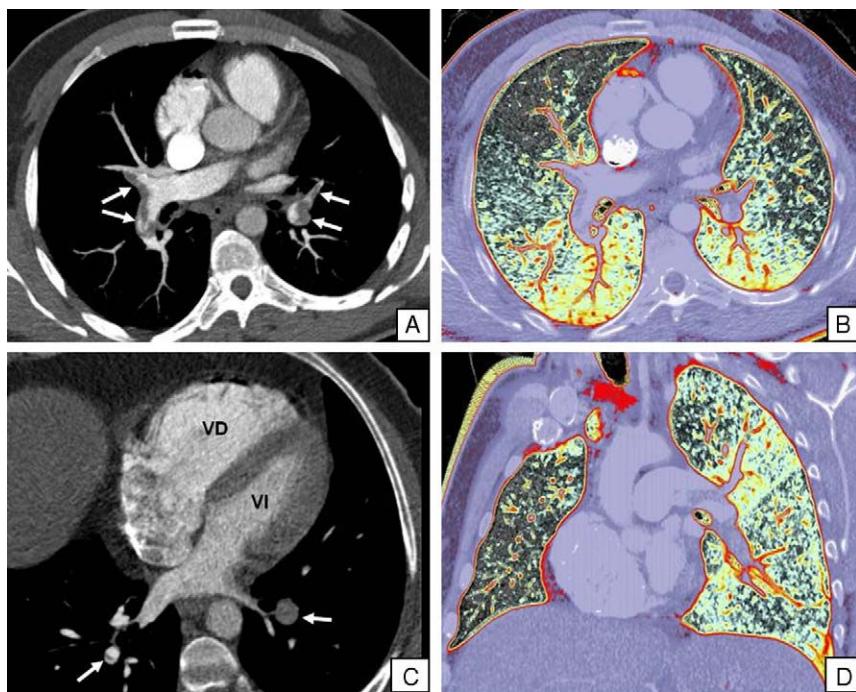
Las conclusiones más importantes que se pueden extraer de los trabajos descritos son: 1) si bien los resultados observados en los estudios dependen en gran medida de la prevalencia de enfermedad coronaria en los pacientes incluidos, la coronariografía por TCMC es capaz de confirmar o descartar lesiones coronarias hemodinámicamente significativas en la mayoría de los sujetos con riesgo bajo o intermedio; 2) una minoría de los pacientes estudiados mediante TCMC requiere un test de provocación de isquemia debido a que en la TCMC se han detectado lesiones indeterminadas o los estudios de TCMC no han sido concluyentes; 3) la TCMC posee un elevado valor predictivo negativo para el despistaje del dolor torácico, y 4) el desenlace final de los pacientes en los que se realizó una TCMC fue similar al que se hubiera obtenido de acuerdo con el estándar clínico habitual empleado para evaluar el SCA en el Servicio de Urgencias. Entre los estudios que actualmente

se están llevando a cabo o han sido diseñados para analizar la utilidad de la TCMC en los pacientes con dolor torácico destacan el CT-STAT, ROMICAT-II (<http://www.romicat.org>) y el promocionado por la Red de Imagen del Colegio Americano de Radiología (*American College of Radiology Imaging Network-ACRIN*, <http://www.acrin.org>), ACRIN PA 4005. Por supuesto, además de patología coronaria, este tipo de estudio también permite diagnosticar otras causas cardíacas de dolor torácico como miocarditis, pericarditis (**fig. 3**), etc.

No obstante, a pesar del gran potencial que posee la coronariografía por TCMC, subrayado en numerosas publicaciones, se deben señalar algunos aspectos que limitan la generalización del empleo de la TCMC en pacientes con dolor torácico. Por una parte, como se ha descrito, un número de pacientes precisarán exploraciones complementarias, habitualmente técnicas de perfusión miocárdica, debido a que los resultados de la TCMC son indeterminados o no concluyentes. Así, una lesión significativa puede tratarse de un hallazgo incidental y no ser necesariamente la causa del dolor torácico referido por el paciente. Por otra parte, considerando que la estenosis coronaria es un hallazgo morfológico, en las lesiones intermedias es preciso realizar pruebas de provocación de isquemia para determinar su repercusión fisiológica o funcional. Además, existen



**Figura 3** Coronariografía por TCMC en mujer de 64 años que acudió al Servicio de Urgencias por dolor torácico, malestar y fiebre de dos días de evolución. A) Plano de cuatro cámaras. B) Plano eje corto. El estudio cardiaco mostró derrame pericárdico circunferencial con captación de contraste por parte del pericardio (flechas), sugestivo de pericarditis aguda.



**Figura 4** Estudio de TCMC de triple descarte en paciente de 48 años con dolor torácico y disnea de cinco horas de evolución. A) Imagen axial. B) Reconstrucción volumétrica axial. C) Reconstrucción multiplanar en el plano cuatro cámaras. D) Reconstrucción volumétrica coronal oblicua. El estudio mostró tromboembolismo pulmonar bilateral central y periférico (flechas), con signos de sobrecarga de presión y disfunción ventricular derecha (nótese en C, el aumento comparativo del diámetro del ventrículo derecho –VD, respecto al diámetro del ventrículo izquierdo –VI) y defectos de perfusión pulmonar, más evidentes en las reconstrucciones volumétricas (B, D).

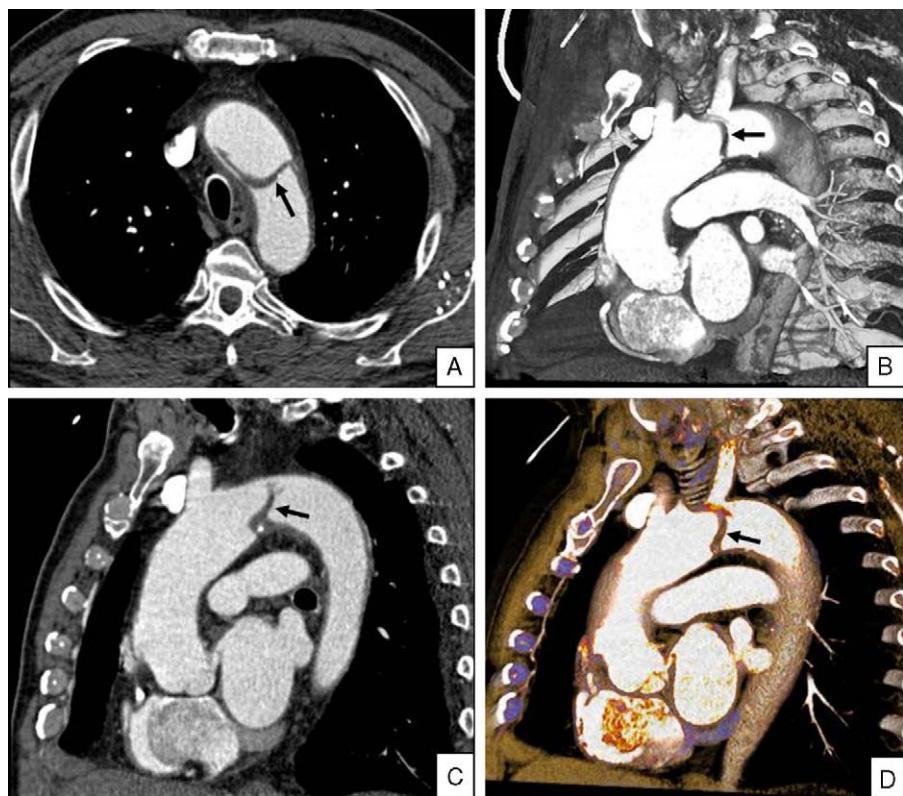
limitaciones inherentes a la propia técnica de TCMC como son por ejemplo las arritmias, las frecuencias cardiacas elevadas, la calcificación coronaria extensa o los stents coronarios de pequeño tamaño ( $< 3$  mm), situaciones que impiden obtener estudios de calidad diagnóstica o realizar una valoración óptima en todos los pacientes. Más aún, como se ha comentado, la dosis de radiación de este tipo de estudios no se debe ignorar, aunque cabe señalar que la dosis administrada se encuentra en el rango de las dosis empleadas en las pruebas de detección de isquemia basadas en técnicas de Medicina Nuclear<sup>81</sup>. Por tanto, la coronariografía por TCMC parece que va a ser una herramienta de gran utilidad en el cribado del dolor torácico en los Servicios de Urgencias pero el rendimiento diagnóstico de la técnica dependerá en gran medida del adecuado uso de la misma.

#### Estudio cardiotorácico (Triple descarte o «Triple-rule-out»)

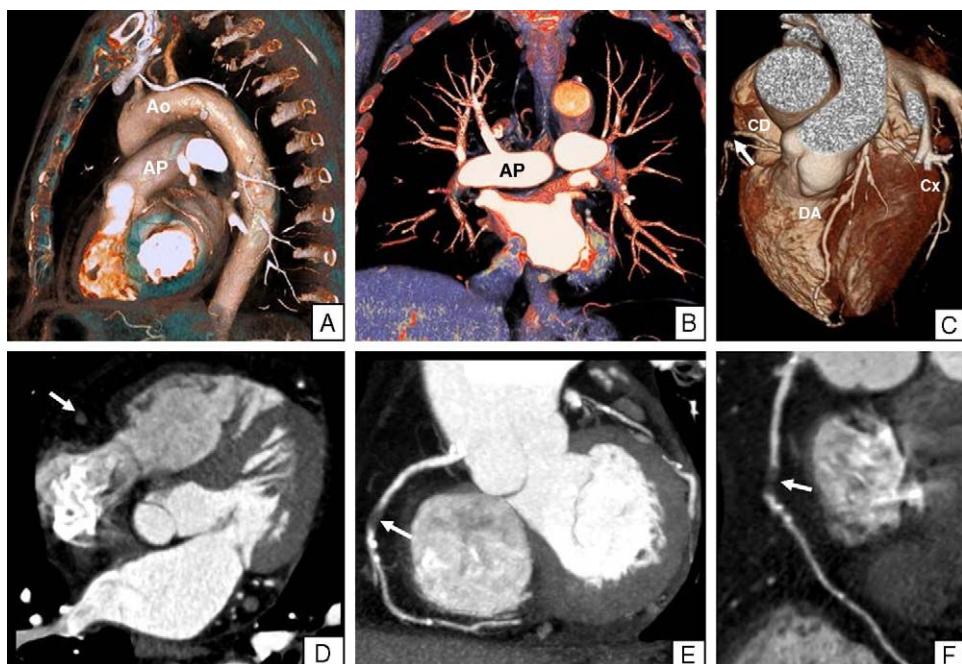
Si bien con generaciones anteriores de equipos de TC se requería realizar protocolos complejos para estudiar el tórax, los nuevos TCMC permiten estudiar toda la cavidad torácica en una apnea de duración corta, optimizando aún más la utilización del material de contraste<sup>82,83</sup>, de manera que es posible evaluar todos los vasos de interés con calidad diagnóstica. La gran ventaja de utilizar un protocolo que incluya todo el tórax y no únicamente el corazón en el

paciente con dolor torácico atípico viene dada por la posibilidad de detectar hallazgos no vasculares como etiología de dicho dolor<sup>84</sup>.

Desde hace años, la TCMC se ha consolidado como técnica de primera elección para diagnosticar el tromboembolismo pulmonar<sup>18-20</sup> y el síndrome aórtico agudo<sup>21,22</sup>. La sincronización con el ECG ha aportado el valor añadido de permitir diagnosticar enfermedad coronaria en pacientes con dolor torácico. Así, en el caso de la embolia pulmonar, además de detectar el trombo, la TCMC también puede mostrar dilatación comparativa del ventrículo derecho (diámetro VD/VI  $> 1,5$ ), signo que aporta valor pronóstico (fig. 4); la sincronización con el ECG es especialmente útil en este entorno, dado que de esta manera se puede cuantificar con exactitud la función ventricular derecha<sup>85</sup>, más allá de la mera medición de diámetros. En el caso de la disección aórtica (fig. 5), la sincronización con el ECG permitirá establecer la extensión de la disección en casos de disecciones tipo A, que afectan a la aorta ascendente, al demostrar si el «flap» intimal se extiende o no al plano valvular aórtico o al ostium de las arterias coronarias. Por tanto, la TCMC con sincronización con el ECG es una herramienta diagnóstica potencialmente capaz de descartar las causas de dolor torácico de mayor morbimortalidad. Este abordaje, conocido como «Triple estudio», «estudio de triple descarte» o «Triple-rule-out» constituye, por tanto, una aproximación diagnóstica única para diferenciar la etiología cardiovascular de la no cardiovascular en los pacientes que acuden a urgencias por dolor torácico. Por tanto, a diferencia de los



**Figura 5** Estudio de TCMC de triple descarte en paciente hipertenso de 68 años con dolor centrotorácico súbito. A) Imagen axial. B) Reconstrucción volumétrica sagital oblicua. C) Reconstrucción multiplanar sagital oblicua. D) Reconstrucción volumétrica sagital oblicua. Disección aórtica con «flap» intimal localizado en el cayado aórtico (flechas), extendiéndose al origen de la arteria subclavia izquierda.



**Figura 6** Estudio de TCMC de triple descarte en paciente fumador de 57 años con antecedentes familiares de cardiopatía isquémica. A, B, C) Reconstrucciones volumétricas de la aorta (A), arterias pulmonares (B) y corazón (C). D) Imagen axial. E) Reconstrucción multiplanar MIP. F) Reconstrucción multiplanar curva. La aorta (Ao) y las arterias pulmonares (AP) no mostraron alteraciones significativas. El estudio cardiaco puso de manifiesto una estenosis significativa, con práctica oclusión (flechas) de la arteria coronaria derecha en su tercio medio.

CD: arteria coronaria derecha; Cx: arteria coronaria circunfleja; DA: arteria coronaria descendente anterior.

protocolos arriba descritos, es decir, los basados únicamente en realizar un estudio cardíaco dirigido (coronariografía por TC), este tipo de estudio posee la ventaja de poder excluir la patología aórtica aguda, el tromboembolismo pulmonar y la enfermedad coronaria en una única exploración (fig. 6), así como otras posibles causas de dolor torácico que aunque no suponen un riesgo vital para el paciente, sí pueden justificar la sintomatología clínica referida. Entre las mismas destacan las causas musculoesqueléticas (fracturas, hernias discales, etc.), lesiones pleurales o pulmonares, hernia de hiato y procesos que afectan al tracto digestivo superior como coleistitis, pancreatitis, pielonefritis, etc.

Los primeros trabajos que demostraron el potencial de este tipo de protocolos de adquisición se realizaron con equipos TCMC-16<sup>84</sup>. Posteriormente, debido a la mayor resolución espacial y temporal de los equipos de TCMC-64, el número de estudios llevados a cabo con el fin de demostrar la utilidad de esta técnica diagnóstica se incrementó de manera significativa<sup>86</sup>. Como ejemplo, Savino et al<sup>82</sup> demostraron que en pacientes con dolor torácico, la TCMC cardioráctica permitía disminuir los costes asistenciales en los Servicios de Urgencias y acortar los días de hospitalización. Los mayores inconvenientes de este tipo de exploraciones son, sin embargo, que los protocolos de adquisición no se encuentran totalmente establecidos y varían entre los distintos centros en función de la experiencia adquirida, que es necesario administrar mayor cantidad de contraste y radiación que al realizar un estudio cardíaco específico<sup>87</sup> y que la resolución temporal de los equipos de TCMC-64 puede resultar insuficiente, particularmente para estudiar las arterias coronarias<sup>88</sup>. En este sentido, los trabajos realizados con TC-dual han demostrado que esta técnica puede superar en parte las limitaciones descritas, sobre todo al reducir el número de segmentos coronarios no evaluables<sup>89-91</sup>.

## Conclusiones

La TCMC, particularmente los equipos de TCMC-64 o superiores, se vislumbra como una herramienta de gran utilidad clínica para el diagnóstico del paciente con dolor torácico atípico. El estudio de este grupo de pacientes se puede realizar desde distintas perspectivas, utilizando protocolos sencillos que únicamente se basan en la cuantificación de la calcificación coronaria, o protocolos que tras administrar contraste intravenoso permiten estudiar el corazón y los vasos coronarios o realizar un estudio exhaustivo de la patología cardioráctica y pulmonar. La elección de cada protocolo dependerá de las características propias de cada paciente y de la sospecha clínica inicial, manteniendo siempre en el mínimo posible los posibles efectos adversos de esta tecnología, particularmente en cuanto a la dosis de radiación y cantidad de contraste se refiere. El beneficio potencial de la angiografía por TCMC con sincronización con el ECG realizada en el paciente apropiado parece superar sus riesgos y la introducción de esta tecnología en los Servicios de Urgencias se perfila como una herramienta coste-efectiva al permitir realizar el diagnóstico de manera rápida y exacta, disminuyendo el número de ingresos inapropiados y por tanto, reduciendo los costes derivados.

## Autoría

Concepción del estudio: Bastarrika, Schoepf.

Redacción y revisión crítica del trabajo: Bastarrika.

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

## Conflictos de intereses

El Dr. D. G. Bastarrika declara percibir financiación de Bayer-Schering, General Electric, Medrad y Siemens. El Dr. U.J. Schoepf es consultor médico de Bayer-Schering, Bracco, General Electric, Medrad y Siemens.

## Bibliografía

1. Bayon Fernández J, Alegria Ezquerra E, Bosch Genover X, Cabades O'Callaghan A, Iglesias Garriz I, Jiménez Nacher JJ, et al. Unidades de dolor torácico. Organización y protocolo para el diagnóstico de los síndromes coronarios agudos. Rev Esp Cardiol. 2002;55:143-54.
2. Aros F, Loma-Osorio A. Diagnóstico de la angina inestable en el servicio de urgencias. Valor y limitaciones de la clínica, electrocardiograma y las pruebas complementarias. Rev Esp Cardiol. 1999;52:39-45.
3. Farkouh ME, Smars PA, Reeder GS, Zinsmeister AR, Evans RW, Meloy TD, et al. A clinical trial of a chest-pain observation unit for patients with unstable angina. Chest Pain Evaluation in the Emergency Room (CHEER) Investigators. N Engl J Med. 1998;339:1882-8.
4. Bragulat E, López B, Miro O, Coll-Vinent B, Jiménez S, Aparicio MJ, et al. Análisis de la actividad de una unidad estructural de dolor torácico en un servicio de urgencias hospitalario. Rev Esp Cardiol. 2007;60:276-84.
5. Hoffmann U, Pena AJ, Cury RC, Abbara S, Ferencik M, Moselewski F, et al. Cardiac CT in emergency department patients with acute chest pain. Radiographics. 2006;26:963-78.
6. Fineberg HV, Scadden D, Goldman L. Care of patients with a low probability of acute myocardial infarction. Cost effectiveness of alternatives to coronary-care-unit admission. N Engl J Med. 1984;310:1301-7.
7. Lee TH, Goldman L. Evaluation of the patient with acute chest pain. N Engl J Med. 2000;342:1187-95.
8. Martínez-Sellés M, Bueno H, Sacristán A, Estévez A, Ortiz J, Gallego L, et al. Dolor torácico en urgencias: frecuencia, perfil clínico y estratificación de riesgo. Rev Esp Cardiol. 2008;61:953-9.
9. Swap CJ, Nagurney JT. Value and limitations of chest pain history in the evaluation of patients with suspected acute coronary syndromes. JAMA. 2005;294:2623-9.
10. Zimmerman J, Fromm R, Meyer D, Boudreux A, Wun CC, Smalling R, et al. Diagnostic marker cooperative study for the diagnosis of myocardial infarction. Circulation. 1999;99:1671-7.
11. Schull MJ, Vermeulen MJ, Stukel TA. The risk of missed diagnosis of acute myocardial infarction associated with emergency department volume. Ann Emerg Med. 2006;48:647-55.
12. Chan WK, Leung KF, Lee YF, Hung CS, Kung NS, Lau FL. Undiagnosed acute myocardial infarction in the accident and emergency department: reasons and implications. Eur J Emerg Med. 1998;5:219-24.
13. McCarthy BD, Beshansky JR, D'Agostino RB, Selker HP. Missed diagnoses of acute myocardial infarction in the emergency

- department: results from a multicenter study. *Ann Emerg Med*. 1993;22:579–82.
14. Collinson PO, Premachandram S, Hashemi K. Prospective audit of incidence of prognostically important myocardial damage in patients discharged from emergency department. *BMJ*. 2000;320:1702–5.
  15. White AA, Wright SW, Blanco R, Lemonds B, Sisco J, Bledsoe S, et al. Cause-and-effect analysis of risk management files to assess patient care in the emergency department. *Acad Emerg Med*. 2004;11:1035–41.
  16. Freas GC. Medicolegal aspects of acute myocardial infarction. *Emerg Med Clin North Am*. 2001;19:511–21.
  17. Rusnak RA, Stair TO, Hansen K, Fastow JS. Litigation against the emergency physician: common features in cases of missed myocardial infarction. *Ann Emerg Med*. 1989;18:1029–34.
  18. Stein PD, Fowler SE, Goodman LR, Gottschalk A, Hales CA, Hull RD, et al. Multidetector computed tomography for acute pulmonary embolism. *N Engl J Med*. 2006;354:2317–27.
  19. Perrier A, Roy PM, Sánchez O, Le Gal G, Meyer G, Gourdier AL, et al. Multidetector-row computed tomography in suspected pulmonary embolism. *N Engl J Med*. 2005;352:1760–8.
  20. Righini M, Le Gal G, Aujesky D, Roy PM, Sánchez O, Verschuren F, et al. Diagnosis of pulmonary embolism by multidetector CT alone or combined with venous ultrasonography of the leg: a randomised non-inferiority trial. *Lancet*. 2008;371:1343–52.
  21. Nienaber CA, Eagle KA. Aortic dissection: new frontiers in diagnosis and management: Part I: from etiology to diagnostic strategies. *Circulation*. 2003;108:628–35.
  22. Erbel R, Alfonso F, Boileau C, Dirsch O, Eber B, Haverich A, et al. Diagnosis and management of aortic dissection. *Eur Heart J*. 2001;22:1642–81.
  23. García MJ, Lessick J, Hoffmann MH. Accuracy of 16-row multidetector computed tomography for the assessment of coronary artery stenosis. *JAMA*. 2006;296:403–11.
  24. Johnson TR, Nikolaou K, Wintersperger BJ, Knez A, Boekstegers P, Reiser MF, et al. ECG-gated 64-MDCT angiography in the differential diagnosis of acute chest pain. *AJR Am J Roentgenol*. 2007;188:76–82.
  25. White C, Read K, Kuo D. Assessment of chest pain in the emergency room: what is the role of multidetector CT? *Eur J Radiol*. 2006;57:368–72.
  26. Boyd DP, Lipton MJ. Cardiac computed tomography. *Proceedings of IEEE*. 1983;71:298–307.
  27. Ohnesorge B, Flohr T, Becker C, Kopp AF, Schoepf UJ, Baum U, et al. Cardiac imaging by means of electrocardiographically gated multislice spiral CT: initial experience. *Radiology*. 2000;217:564–71.
  28. 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;102:2823–8.
  29. Flohr T, Stierstorfer K, Raupach R, Ulzheimer S, Bruder H. Performance evaluation of a 64-slice CT system with z-flying focal spot. *Rofo*. 2004;176:1803–10.
  30. Taylor AJ, Cerqueira M, Hodgson JM, Mark D, Min J, O'Gara P, et al. ACCF/SCCT/ACR/AHA/ASE/ASNC/NASCI/SCAI/SCMR 2010 Appropriate Use Criteria for Cardiac Computed Tomography: A Report of the American College of Cardiology Foundation Appropriate Use Criteria Task Force, the Society of Cardiovascular Computed Tomography, the American College of Radiology, the American Heart Association, the American Society of Echocardiography, the American Society of Nuclear Cardiology, the North American Society for Cardiovascular Imaging, the Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, and the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance. *Circulation*. 2010;122:e525–555.
  31. Ropers U, Ropers D, Pflederer T, Anders K, Kuettner A, Stilianakis NI, et al. Influence of heart rate on the diagnostic accuracy of dual-source computed tomography coronary angiography. *J Am Coll Cardiol*. 2007;50:2393–8.
  32. Flohr TG, McCollough CH, Bruder H, Petersilka M, Gruber K, Suss C, et al. First performance evaluation of a dual-source CT (DSCT) system. *Eur Radiol*. 2006;16:256–68.
  33. Bastarrika G, De Cecco CN, Arraiza M, Mastrobuoni S, Pueyo JC, Ubilla M, et al. Dual-source CT for visualization of the coronary arteries in heart transplant patients with high heart rates. *AJR Am J Roentgenol*. 2008;191:448–54.
  34. Ruzsics B, Lee H, Zwerner PL, Gebregziabher M, Costello P, Schoepf UJ. Dual-energy CT of the heart for diagnosing coronary artery stenosis and myocardial ischemia-initial experience. *Eur Radiol*. 2008;18:2414–24.
  35. Dikkers R, Greuter MJ, Kristanto W, van Ooijen PM, Sijens PE, Willems TP, et al. Assessment of image quality of 64-row Dual Source versus Single Source CT coronary angiography on heart rate: a phantom study. *Eur J Radiol*. 2009;70:61–8.
  36. Baumüller S, Leschka S, Desbiolles L, Stolzmann P, Scheffel H, Seifert B, et al. Dual-source versus 64-section CT coronary angiography at lower heart rates: comparison of accuracy and radiation dose. *Radiology*. 2009;253:56–64.
  37. Kido T, Kurata A, Higashino H, Sugawara Y, Okayama H, Higaki J, et al. Cardiac imaging using 256-detector row four-dimensional CT: preliminary clinical report. *Radiat Med*. 2007;25:38–44.
  38. Rybicki FJ, Otero HJ, Steigner ML, Vorobiof G, Nallamshetty L, Mitsouras D, et al. Initial evaluation of coronary images from 320-detector row computed tomography. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2008;24:535–46.
  39. Achenbach S, Marwan M, Ropers D, Schepis T, Pflederer T, Anders K, et al. Coronary computed tomography angiography with a consistent dose below 1 mSv using prospectively electrocardiogram-triggered high-pitch spiral acquisition. *Eur Heart J*. 2010;31:340–6.
  40. Sommer WH, Schenzle JC, Becker CR, Nikolaou K, Graser A, Michalski G, et al. Saving dose in triple-rule-out computed tomography examination using a high-pitch dual spiral technique. *Invest Radiol*. 2010;45:64–71.
  41. Scheffel H, Alkadhi H, Leschka S, Plass A, Desbiolles L, Guberl I, et al. Low-dose CT coronary angiography in the step-and-shoot mode: diagnostic performance. *Heart*. 2008;94:1132–7.
  42. Earls JP, Berman EL, Urban BA, Curry CA, Lane JL, Jennings RS, et al. Prospectively gated transverse coronary CT angiography versus retrospectively gated helical technique: improved image quality and reduced radiation dose. *Radiology*. 2008;246:742–53.
  43. Shuman WP, Branch KR, May JM, Mitsumori LM, Lockhart DW, Dubinsky TJ, et al. Prospective versus retrospective ECG gating for 64-detector CT of the coronary arteries: comparison of image quality and patient radiation dose. *Radiology*. 2008;248:431–7.
  44. Alkadhi H. Radiation dose of cardiac CT-what is the evidence? *Eur Radiol*. 2009;19:1311–5.
  45. 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.
  46. Hausleiter J, Meyer T, Hermann F, Hadamitzky M, Krebs M, Gerber TC, et al. Estimated radiation dose associated with cardiac CT angiography. *JAMA*. 2009;301:500–7.
  47. Antman EM, Cohen M, Bernink PJ, McCabe CH, Horacek T, Papuchis G, et al. The TIMI risk score for unstable angina/non-ST elevation MI: A method for prognostication and therapeutic decision making. *JAMA*. 2000;284:835–42.

48. Stillman AE, Oudkerk M, Ackerman M, Becker CR, Buszman PE, de Feyter PJ, et al. Use of multidetector computed tomography for the assessment of acute chest pain: a consensus statement of the North American Society of Cardiac Imaging and the European Society of Cardiac Radiology. *Eur Radiol*. 2007;17:2196–207.
49. Mark DB, Berman DS, Budoff MJ, Carr JJ, Gerber TC, Hecht HS, et al. ACCF/ACR/AHA/NASCI/SAIP/SCAI/SCCT 2010 expert consensus document on coronary computed tomographic angiography: a report of the American College of Cardiology Foundation Task Force on Expert Consensus Documents. *J Am Coll Cardiol*. 2010;55:2663–99.
50. Lee HY, Yoo SM, White CS. Coronary CT angiography in emergency department patients with acute chest pain: triple rule-out protocol versus dedicated coronary CT angiography. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2009;25:319–26.
51. Bastarrika G, Thilo C, Headden GF, Zwerner PL, Costello P, Schoepf UJ. Cardiac CT in the assessment of acute chest pain in the emergency department. *AJR Am J Roentgenol*. 2009;193:397–409.
52. Arraiza M, Arias J, Broncano J, Pueyo JC, Villanueva A, Bastarrika G. Tomografía computarizada de doble fuente en pacientes hospitalizados con dolor torácico de etiología incierta. *Radiología*. 2009;51:568–76.
53. Becker CR, Hong C, Knez A, Leber A, Bruening R, Schoepf UJ, et al. Optimal contrast application for cardiac 4-detector-row computed tomography. *Invest Radiol*. 2003;38:690–4.
54. Frauenfelder T, Appenzeller P, Karlo C, Scheffel H, Desbiolles L, Stolzmann P, et al. Triple rule-out CT in the emergency department: protocols and spectrum of imaging findings. *Eur Radiol*. 2009;19:789–99.
55. Shuman WP, Branch KR, May JM, Mitsumori LM, Strote JN, Warren BH, et al. Whole-chest 64-MDCT of emergency department patients with nonspecific chest pain: Radiation dose and coronary artery image quality with prospective ECG triggering versus retrospective ECG gating. *AJR Am J Roentgenol*. 2009;192:1662–7.
56. Budoff MJ, Achenbach S, Blumenthal RS, Carr JJ, Goldin JG, Greenland P, et al. Assessment of coronary artery disease by cardiac computed tomography: a scientific statement from the American Heart Association Committee on Cardiovascular Imaging and Intervention, Council on Cardiovascular Radiology and Intervention, and Committee on Cardiac Imaging, Council on Clinical Cardiology. *Circulation*. 2006;114:1761–91.
57. O'Rourke RA, Brundage BH, Froelicher VF, Greenland P, Grundy SM, Hachamovitch R, et al. American College of Cardiology/American Heart Association Expert Consensus document on electron-beam computed tomography for the diagnosis and prognosis of coronary artery disease. *Circulation*. 2000;102:126–40.
58. Agatston AS, Janowitz WR, Hildner FJ, Zusmer NR, Viamonte Jr M, Detrano R. Quantification of coronary artery calcium using ultrafast computed tomography. *J Am Coll Cardiol*. 1990;15:827–32.
59. Rumberger JA, Brundage BH, Rader DJ, Kondos G. Electron beam computed tomographic coronary calcium scanning: a review and guidelines for use in asymptomatic persons. *Mayo Clin Proc*. 1999;74:243–52.
60. Budoff MJ, Georgiou D, Brody A, Agatston AS, Kennedy J, Wolfkiel C, et al. Ultrafast computed tomography as a diagnostic modality in the detection of coronary artery disease: a multicenter study. *Circulation*. 1996;93:898–904.
61. Detrano R, Hsiai T, Wang S, Puentes G, Fallavollita J, Shields P, et al. Prognostic value of coronary calcification and angiographic stenoses in patients undergoing coronary angiography. *J Am Coll Cardiol*. 1996;27:285–90.
62. Georgiou D, Budoff MJ, Kaufer E, Kennedy JM, Lu B, Brundage BH. Screening patients with chest pain in the emergency department using electron beam tomography: a follow-up study. *J Am Coll Cardiol*. 2001;38:105–10.
63. Kennedy J, Shavelle R, Wang S, Budoff M, Detrano RC. Coronary calcium and standard risk factors in symptomatic patients referred for coronary angiography. *Am Heart J*. 1998;135:696–702.
64. Arad Y, Goodman KJ, Roth M, Newstein D, Guerci AD. Coronary calcification, coronary disease risk factors, C-reactive protein, and atherosclerotic cardiovascular disease events: the St. Francis Heart Study. *J Am Coll Cardiol*. 2005;46:158–65.
65. Arad Y, Spadaro LA, Goodman K, Newstein D, Guerci AD. Prediction of coronary events with electron beam computed tomography. *J Am Coll Cardiol*. 2000;36:1253–60.
66. Kondos GT, Hoff JA, Sevrukov A, Daviglus ML, Garside DB, Devries SS, et al. Electron-beam tomography coronary artery calcium and cardiac events: a 37-month follow-up of 5635 initially asymptomatic low- to intermediate-risk adults. *Circulation*. 2003;107:2571–6.
67. Raggi P, Callister TQ, Cool B, He ZX, Lippolis NJ, Russo DJ, et al. Identification of patients at increased risk of first unheralded acute myocardial infarction by electron-beam computed tomography. *Circulation*. 2000;101:850–5.
68. Shaw LJ, Raggi P, Schisterman E, Berman DS, Callister TQ. Prognostic value of cardiac risk factors and coronary artery calcium screening for all-cause mortality. *Radiology*. 2003;228:826–33.
69. McClelland RL, Chung H, Detrano R, Post W, Kronmal RA. Distribution of coronary artery calcium by race, gender, and age: results from the Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis (MESA). *Circulation*. 2006;113:30–7.
70. Berman DS, Wong ND, Gransar H, Miranda-Peats R, Dahlbeck J, Hayes SW, et al. Relationship between stress-induced myocardial ischemia and atherosclerosis measured by coronary calcium tomography. *J Am Coll Cardiol*. 2004;44:923–30.
71. McLaughlin VV, Balogh T, Rich S. Utility of electron beam computed tomography to stratify patients presenting to the emergency room with chest pain. *Am J Cardiol*. 1999;84:327–8, A8.
72. Laudon DA, Vukov LF, Breen JF, Rumberger JA, Wollan PC, Sheedy 2nd PF. Use of electron-beam computed tomography in the evaluation of chest pain patients in the emergency department. *Ann Emerg Med*. 1999;33:15–21.
73. White CS. Chest pain in the emergency department: potential role of multidetector CT. *J Thorac Imaging*. 2007;22:49–55.
74. Sato Y, Matsumoto N, Ichikawa M, Kunimasa T, Iida K, Yoda S, et al. Efficacy of multislice computed tomography for the detection of acute coronary syndrome in the emergency department. *Circ J*. 2005;69:1047–51.
75. Hoffmann U, Pena AJ, Moselewski F, Ferencik M, Abbara S, Cury RC, et al. MDCT in early triage of patients with acute chest pain. *AJR Am J Roentgenol*. 2006;187:1240–7.
76. Hoffmann U, Nagurney JT, Moselewski F, Pena A, Ferencik M, Chae CU, et al. Coronary multidetector computed tomography in the assessment of patients with acute chest pain. *Circulation*. 2006;114:2251–60.
77. 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.
78. Rubinstein R, Halon DA, Gaspar T, Jaffe R, Karkabi B, Flugelman MY, et al. Usefulness of 64-slice cardiac computed tomographic angiography for diagnosing acute coronary syndromes and predicting clinical outcome in emergency department patients with chest pain of uncertain origin. *Circulation*. 2007;115:1762–8.
79. Hollander JE, Chang AM, Shofer FS, McCusker CM, Baxt WG, Litt HI. Coronary computed tomographic angiography for rapid

- discharge of low-risk patients with potential acute coronary syndromes. *Ann Emerg Med.* 2009;53:295–304.
80. Hoffmann U, Bamberg F, Chae CU, Nichols JH, Rogers IS, Seneviratne SK, et al. Coronary computed tomography angiography for early triage of patients with acute chest pain: the ROMICAT (Rule Out Myocardial Infarction using Computer Assisted Tomography) trial. *J Am Coll Cardiol.* 2009;53:1642–50.
81. Mettler Jr FA, Huda W, Yoshizumi TT, Mahesh M. Effective doses in radiology and diagnostic nuclear medicine: a catalog. *Radiology.* 2008;248:254–63.
82. Savino G, Herzog C, Costello P, Schoepf UJ. 64 slice cardiovascular CT in the emergency department: concepts and first experiences. *Radiol Med.* 2006;111:481–96.
83. Vrachliotis TG, Bis KG, Haidary A, Kosuri R, Balasubramaniam M, Gallagher M, et al. Atypical chest pain: coronary, aortic, and pulmonary vasculature enhancement at biphasic single-injection 64-section CT angiography. *Radiology.* 2007;243:368–76.
84. White CS, Kuo D, Kelemen M, Jain V, Musk A, Zaidi E, et al. Chest pain evaluation in the emergency department: can MDCT provide a comprehensive evaluation? *AJR Am J Roentgenol.* 2005;185:533–40.
85. Dogan H, Kroft LJ, Huisman MV, van der Geest RJ, de Roos A. Right ventricular function in patients with acute pulmonary embolism: analysis with electrocardiography-synchronized multi-detector row CT. *Radiology.* 2007;242:78–84.
86. Takakuwa KM, Halpern EJ. Evaluation of a “triple rule-out” coronary CT angiography protocol: use of 64-Section CT in low-to-moderate risk emergency department patients suspected of having acute coronary syndrome. *Radiology.* 2008;248:438–46.
87. Takakuwa KM, Halpern EJ, Gingold EL, Levin DC, Shofer FS. Radiation dose in a “triple rule-out” coronary CT angiography protocol of emergency department patients using 64-MDCT: the impact of ECG-based tube current modulation on age, sex, and body mass index. *AJR Am J Roentgenol.* 2009;192:866–72.
88. Goldberg A, Litt HI. Evaluation of the patient with acute chest pain. *Radiol Clin North Am.* 2010;48:745–55.
89. Schertler T, Scheffel H, Frauenfelder T, Desbiolles L, Leschka S, Stolzmann P, et al. Dual-source computed tomography in patients with acute chest pain: feasibility and image quality. *Eur Radiol.* 2007;17:3179–88.
90. Johnson TR, Nikolaou K, Becker A, Leber AW, Rist C, Wintersperger BJ, et al. Dual-source CT for chest pain assessment. *Eur Radiol.* 2008;18:773–80.
91. Hansen M, Giins J, Seneviratne S, Slaughter R, Premaranthe M, Samardhi H, et al. The value of dual-source 64-slice CT coronary angiography in the assessment of patients presenting to an acute chest pain service. *Heart Lung Circ.* 2010;19:213–8.