

Puesta al día: Imagen cardiaca (IV)

Evidencia científica reciente y avances técnicos en la tomografía computarizada cardiovascular

Roy Marcus^a, Christer Ruff^a, Christof Burgstahler^b, Mike Notohamiprodjo^a, Konstantin Nikolaou^a, Tobias Geisler^c, Stephen Schroeder^d y Fabian Bamberg^{a,*}^a Department of Diagnostic and Interventional Radiology, University of Tuebingen, Tuebingen, Alemania^b Department of Sports Medicine, University of Tuebingen, Tuebingen, Alemania^c Department of Cardiology, University of Tuebingen, Tuebingen, Alemania^d Department of Internal Medicine, Klinikum Göppingen, Göppingen, Alemania

Historia del artículo:

On-line el 23 de marzo de 2016

Palabras clave:

Angio-TC cardiaca

Síndrome coronario agudo

Dolor torácico agudo

RESUMEN

En los últimos años, la coronariografía (o angiografía coronaria) por tomografía computarizada se ha asentado cada vez más como una modalidad diagnóstica segura y no invasiva para la evaluación de la anatomía del árbol arterial coronario, que aporta ventajas diagnósticas, en especial para pacientes con probabilidad pretest baja o intermedia de la enfermedad. Actualmente hay cada vez más evidencia de grandes ensayos aleatorizados sobre la influencia diagnóstica de la angiotomografía computarizada en el manejo de los pacientes con síndromes de dolor torácico agudo y crónico. Al mismo tiempo, los avances técnicos han reducido sustancialmente los efectos adversos y los factores limitantes, como la exposición a la radiación, la cantidad de medio de contraste yodado que se aplica y el tiempo de exploración, lo cual la hace apropiada para aplicaciones clínicas más amplias. En este trabajo se revisan los avances más recientes en la tecnología de la tomografía computarizada y se describe la evidencia científica existente sobre el uso de la angiotomografía computarizada cardiaca en la evaluación de los pacientes con síndromes de dolor torácico agudo y crónico.

© 2016 Sociedad Española de Cardiología. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

Recent Scientific Evidence and Technical Developments in Cardiovascular Computed Tomography

ABSTRACT

In recent years, coronary computed tomography angiography has become an increasingly safe and noninvasive modality for the evaluation of the anatomical structure of the coronary artery tree with diagnostic benefits especially in patients with a low-to-intermediate pretest probability of disease. Currently, increasing evidence from large randomized diagnostic trials is accumulating on the diagnostic impact of computed tomography angiography for the management of patients with acute and stable chest pain syndrome. At the same time, technical advances have substantially reduced adverse effects and limiting factors, such as radiation exposure, the amount of iodinated contrast agent, and scanning time, rendering the technique appropriate for broader clinical applications. In this work, we review the latest developments in computed tomography technology and describe the scientific evidence on the use of cardiac computed tomography angiography to evaluate patients with acute and stable chest pain syndrome.

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

© 2016 Sociedad Española de Cardiología. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Keywords:

Cardiac CT angiography

Acute coronary syndrome

Acute chest pain

INTRODUCCIÓN

En 2010, 1 de cada 6 muertes que se produjeron en Estados Unidos estaba relacionada con enfermedad coronaria, y los costes directos e indirectos estimados fueron de ~204.400 millones de dólares¹. En 6,9 millones de pacientes de un total de 136,3 millones de visitas realizadas a los servicios de urgencias (SU) en 2011, el

dolor torácico fue uno de los primeros 20 grupos de diagnóstico primario². Sin embargo, solo un 17% de los pacientes atendidos en los SU cumplían criterios de síndrome coronario agudo (SCA), mientras que en el 55% de los casos se evidenciaron causas no cardíacas³. Cuando se sospecha un SCA, la evaluación debe incluir antecedentes patológicos, exploración física, electrocardiograma (ECG) y marcadores de lesión cardiaca como la troponina. A los pacientes cuya probabilidad de infarto de miocardio (IM) es muy baja (< 5%), se los puede identificar bien y, por consiguiente, pueden ingresar en una unidad de observación para nuevas pruebas de estratificación del riesgo más detallada, como la prueba

* Autor para correspondencia: Department of Diagnostic and Interventional Radiology, University of Tuebingen, Hoppe-Seyler Str. 3, 72076 Tuebingen, Alemania.
Correo electrónico: fabian.bamberg@uni-tuebingen.de (F. Bamberg).

Abreviaturas

AE: asistencia estándar
 Angio-TC coronaria: angiografía coronaria por tomografía
 computarizada
 EC: enfermedad coronaria
 RI: reconstrucción iterativa
 SU: servicio de urgencias

de esfuerzo en cinta sin fin, la tomografía computarizada por emisión monofotónica (SPECT) cardíaca, la resonancia magnética cardíaca o la ecocardiografía de estrés^{4,5}. Este enfoque puede conducir finalmente a un aumento de las tasas de ingreso y la realización de pruebas de seguimiento no invasivas o invasivas innecesarias, lo cual acaba conllevando un aumento drástico de los costes⁶.

En la última década, la angiografía coronaria por tomografía computarizada (angio-TC coronaria) se ha asentado como una modalidad diagnóstica alternativa segura para la evaluación de la enfermedad coronaria (EC), sobre todo para pacientes con probabilidad pretest de obstrucción coronaria baja o intermedia, lo cual han avalado debidamente el *American College of Cardiology* y la *American Heart Association*⁷. Recientemente se han llevado a cabo ensayos aleatorizados en los que se ha comparado el uso de angio-TC coronaria con la asistencia estándar (AE) actual, lo que ha aportado más evidencia de que la aplicación de la angio-TC coronaria en la práctica clínica habitual puede reducir de manera segura la duración de la estancia hospitalaria y los costes de hospitalización⁸.

AVANCES TÉCNICOS RECIENTES

Con la introducción de la tecnología de multidetectores en 1999, se hizo posible la visualización del árbol arterial coronario a frecuencias cardíacas bajas⁹. Posteriormente, la tecnología de la tomografía computarizada (TC) ha evolucionado rápidamente, con el empleo de un número creciente de detectores de hasta 392 hileras, la introducción de la tecnología de TC de doble fuente o la captación de imágenes con protocolos de *pitch* cada vez más alto (baja dosis), lo cual ha permitido captar datos de imagen en un único latido cardíaco¹⁰. El aumento de la resolución espacial hasta alcanzar aproximadamente 0,5 mm permite la evaluación de las arterias coronarias y la determinación de la presencia de placas y estenosis. Los importantes avances técnicos actualmente disponibles son las imágenes a bajo voltaje y la TC de *pitch* alto, así como la introducción de los algoritmos de reconstrucción iterativa (RI) (figura 1).

IMÁGENES A BAJO VOLTAJE

Se ha introducido la reducción del voltaje del tubo como forma de reducir la exposición a la radiación a los pacientes de complejión delgada¹¹. Sin embargo, al mismo tiempo, la reducción del voltaje del tubo se asocia a un aumento del ruido en la imagen, y ello puede afectar a la exactitud diagnóstica y podría requerir un aumento de la corriente del tubo, tal como puede hacerse con las generaciones de escáneres más modernas¹². Se sabe también que el valor de atenuación del contraste yodado aumenta cuando se usa menor voltaje del tubo, por lo que se puede reducir la administración de medios de contraste, lo cual resulta especialmente beneficioso en el caso de pacientes con deterioro de la función renal¹³. En los estudios multicéntricos iniciales y con dispositivos de múltiples proveedores, como el ensayo Protection I, se observó una reducción del 53% en las estimaciones de la dosis de radiación, sin que hubiera ningún deterioro significativo de la

calidad de imagen diagnóstica al reducir el voltaje del tubo de 120 a 100 kV¹⁴. Un estudio reciente en el que se compara la angio-TC coronaria con tres voltajes del tubo diferentes ha mostrado una reducción significativa de la dosis de radiación al comparar el empleo de 70 kV con los de 80 y 100 kV (0,44 frente a 0,78 y 0,92 mSv; $p < 0,0001$). La reducción del voltaje del tubo se asoció a un aumento significativo del ruido al utilizar el valor de kV más bajo ($p < 0,0497$), aunque sin un deterioro apreciable de la calidad de imagen subjetiva y cualitativa. El estudio más reciente, llevado a cabo en 43 pacientes a los que se practicó una angio-TC coronaria con un voltaje del tubo de 70 kV antes de una angiografía invasiva programada, puso de manifiesto una exactitud diagnóstica muy alta (sensibilidad del 92,2% y especificidad del 89,5%) junto con una reducción de la dosis estimada a 0,2 mSv¹⁵.

ADQUISICIÓN DE IMAGEN CON PITCH ALTO

Otra estrategia para reducir la estimación de dosis es aumentar el *pitch*¹⁶, que se define como el desplazamiento de la mesa por rotación dividido por el espesor del corte¹⁷. En un sistema de TC de una sola fuente, el *pitch* está limitado a 1,5, debido a la pérdida de datos con valores de *pitch* más altos. Con la introducción del sistema con tecnología de TC de doble fuente, se pudo aumentar el *pitch* a más de 3, ya que la segunda fuente/detector adquiere por separado los datos un cuarto de rotación más tarde sin que haya un vacío¹⁸. Así pues, la exposición a la radiación puede reducirse significativamente empleando esta tecnología, puesto que no es necesario ningún solapamiento de los cortes¹⁷. En un estudio realizado en modelos de simulación y en pacientes, Sommer et al¹⁹ compararon el protocolo de *pitch* alto fijado en 3,4 con la adquisición desencadenada prospectiva convencional y las adquisiciones sincronizadas con el ECG retrospectivas (*pitch*, 0,2). La estimación de la dosis de radiación basada en los modelos de simulación mostró el valor más bajo en el protocolo de *pitch* alto en comparación con la adquisición desencadenada por el ECG prospectivamente y con la sincronizada con el ECG retrospectiva (1,21 frente a 3,12 frente a 11,81 mSv). En el subestudio realizado en pacientes, la estimación de la dosis de radiación evidenció una tendencia similar (1,11 frente a 4,15 frente a 11 mSv; $p < 0,001$) y se observaron diferencias significativas en la visualización, sin movimiento, de las arterias coronarias (el 99 frente al 87 frente al 92%, respectivamente, con la adquisición de *pitch* alto, la desencadenada por el ECG prospectivamente y la sincronizada con el ECG de forma retrospectiva). En un estudio similar llevado a cabo con 50 pacientes, la aplicación del protocolo de *pitch* alto con un voltaje del tubo fijado en 100 kV dio lugar a una dosis de radiación estimada < 1 mSv en pacientes no obesos con frecuencia cardíaca baja y estable²⁰.

TÉCNICAS DE RECONSTRUCCIÓN ITERATIVA

La introducción de las técnicas de RI ha tenido una importante repercusión en cuanto a la reducción de la exposición a la radiación. Hasta hace poco, la reconstrucción convencional de la imagen de TC a partir de las medidas de atenuación con los datos brutos se basaba en la técnica de retroproyección filtrada (*filtered back projection* [FBP])²¹. Las imágenes basadas en FBP tienen en cuenta múltiples proyecciones obtenidas desde diferentes ángulos de exploración mediante la retroproyección de los datos brutos; sin embargo, esto no tiene en cuenta el ruido estadístico ni la geometría del haz de rayos X o la interacción del fotón con el objeto examinado y el detector²². Cuando se aplica una dosis de radiación estándar, la FBP se acepta bien; sin embargo, cuando se reduce la densidad fotónica y, por lo tanto, la dosis de radiación, se produce un aumento incremental del ruido en la imagen. Para superar este problema, puede aplicarse la RI para mejorar la calidad de la imagen, una

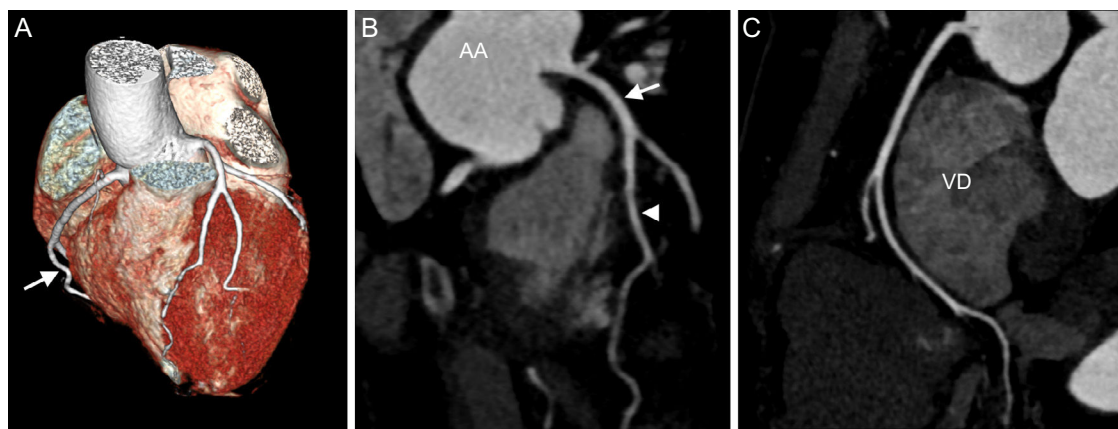


Figura 1. Angiografía mediante tomografía computarizada cardiaca de un varón de 47 años que presentaba síndrome de dolor torácico atípico e hiperlipemia conocida. La angiografía por tomografía computarizada, desencadenada prospectivamente mediante electrocardiograma (100 kV; 2,1 mSv) muestra un sistema arterial coronario derecho dominante en las imágenes basadas en volumen (A, flecha). B: la reconstrucción multiplanar curvada no muestra indicios de placa o estenosis coronaria en la arteria coronaria principal izquierda (flecha) ni la arteria coronaria descendente anterior izquierda (punta de flecha). C: tampoco se detecta placa o estenosis coronaria en la arteria coronaria derecha. AA: aorta ascendente; VD: ventrículo derecho.

técnica que se basa en un modelo matemático con el que se realiza una iteración de las reconstituciones de imagen varias veces, de modo que se generan imágenes con menos cantidad de ruido²²⁻²⁴. En un estudio, se remitió a 60 pacientes a angiografía invasiva y dos exploraciones de angio-TC coronaria: una adquisición de angio-TC coronaria con parámetros de adquisición convencionales y una técnica de reconstrucción con FBP y una segunda adquisición de angio-TC coronaria con reducción del producto corriente del tubo-tiempo en un 50% gracias al empleo de la técnica de RI. No se observaron diferencias significativas de exactitud diagnóstica o de calidad de la imagen entre las técnicas de FBP y RI²⁵. En un estudio que empleó una dosis muy baja (100 kV), las imágenes de angio-TC coronaria obtenidas con sincronización con el ECG prospectiva se reconstruyeron a partir de los datos brutos empleando técnicas de FBP y RI. La técnica de RI mejoró significativamente la calidad de la imagen y la exactitud diagnóstica (sensibilidad, el 81 frente al 69%; especificidad, el 97 frente al 97%)²⁶.

EVIDENCIA CIENTÍFICA EN EL CONTEXTO DEL DOLOR TORÁCICO AGUDO

El dolor torácico agudo es con frecuencia el síntoma que orienta a SCA, embolia pulmonar, disección aórtica o incluso enfermedad esofágica. A la mayoría de los pacientes ingresados en SU por dolor torácico agudo, se los examina sistemáticamente para identificar un posible SCA. El SCA se define como una disminución del flujo sanguíneo en las arterias coronarias como consecuencia de un estrechamiento de los vasos sanguíneos que, en el peor de los casos, se debe a una oclusión de la arteria coronaria, lo cual conduce a isquemia del músculo miocárdico²⁷. El espasmo, las placas calcificadas y no calcificadas y la trombosis pueden dar lugar a una disminución del diámetro de la luz de la arteria coronaria y un desequilibrio entre el aporte y la demanda de oxígeno²⁷. La angio-TC coronaria, con administración intravenosa de un medio de contraste yodado, está ampliamente aceptada como modalidad de exploración no invasiva para la visualización de las arterias coronarias, sobre todo por su excelente valor predictivo negativo a la hora de descartar EC.

La TC arterial coronaria sin contraste, como el examen del calcio arterial coronario, puede llevarse a cabo de manera rápida (en apenas de 3-5 s) con una exposición a la radiación de hasta 0,37 mSv, cuando se emplean los protocolos más recientes como el examen con *pitch* alto y la RI^{28,29}. La ventaja del examen del calcio arterial coronario radica en que su interpretación está muy estandarizada (puntuación de Agatston determinada mediante la suma de las puntuaciones ponderadas de todas las arterias coronarias

multiplicada por la densidad de lesión máxima)³⁰. A continuación se compara la puntuación del paciente con otros resultados similares obtenidos de individuos asintomáticos de iguales edad, sexo y origen étnico³¹. Una puntuación situada por encima del percentil 75 se considera de «alto riesgo»³². Con frecuencia, una puntuación de calcio negativa en pacientes sintomáticos resulta poco fiable para descartar una EC significativa, puesto que el examen del calcio arterial coronario no es capaz de visualizar las placas no calcificadas, que pueden alcanzar una notable intensidad obstructiva en un 1-3% de los pacientes^{33,34}. En consecuencia, para la mayoría de los clínicos, la angio-TC coronaria sigue siendo la modalidad diagnóstica de elección en la evaluación de un posible SCA (figura 2).

Hasta la fecha se han publicado cuatro ensayos controlados y aleatorizados (tabla)³⁵⁻³⁸. En un estudio de 197 pacientes, Goldstein et al³⁵ tenían como objetivo comparar la seguridad, la eficacia diagnóstica y la eficiencia de la angio-TC coronaria con las de la AE, la cual incluía el empleo de biomarcadores cardíacos y una SPECT de perfusión miocárdica en reposo-estrés el mismo día. Los resultados evaluados se definieron como ausencia de eventos adversos mayores en el plazo de 6 meses, la eficacia diagnóstica, el coste y la duración de la asistencia. El empleo de angio-TC coronaria permitió descartar o identificar la EC como origen del dolor torácico en un 75% de los pacientes, redujo el tiempo transcurrido hasta el diagnóstico (3,4 frente a 15 h; $p < 0,001$) y tuvo un coste inferior (1.586 frente a 1.872 dólares; $p < 0,001$).

Los pacientes para los que se utilizó el estudio diagnóstico con angio-TC coronaria necesitaron menos repeticiones de las evaluaciones realizadas por la reaparición del dolor torácico que los pacientes remitidos al grupo de AE (el 2 frente al 7%; $p = 0,10$).

En el ensayo multicéntrico y aleatorizado CT-STAT, llevado a cabo en 16 SU, se asignó a un total de 669 pacientes con sospecha de EC a angio-TC coronaria o SPECT³⁶. Los resultados evaluados se definieron como el tiempo hasta el diagnóstico, los eventos adversos mayores, los costes y la seguridad. En comparación con la SPECT, la angio-TC coronaria no mostró diferencias en cuanto a eventos adversos mayores, pero permitió reducir el tiempo hasta el diagnóstico en un 54% (mediana, 2,9 frente a 6,3 h; $p < 0,0001$) y los costes en un 38% (mediana, 2.900 frente a 4.297 dólares; $p < 0,0001$).

En el ensayo del *American College of Radiology Imaging Network of Pennsylvania* (ACRIN-PA)³⁷, se aleatorizó a 1.370 pacientes de riesgo bajo o intermedio de cinco centros a angio-TC coronaria o AE en proporción 2:1. El estudio tenía como objetivo determinar la frecuencia de IM y muerte cardíaca en el grupo con angio-TC coronaria negativa en los primeros 30 días tras la exploración. Entre los 640 pacientes con angio-TC coronaria negativa, no se produjeron



Figura 2. Tomografía computarizada cardíaca en una paciente de 72 años que acudió al servicio de urgencias por dolor torácico agudo. A: angiografía por tomografía computarizada, desencadenada prospectivamente mediante electrocardiograma (100 kV; 1,8 mSv). B: la reconstrucción multiplanar curvada muestra un estrechamiento significativo de la luz a causa de una placa calcificada en la arteria coronaria descendente anterior izquierda. C: no se observan placa o estenosis coronaria en la arteria circunfleja proximal (punta de flecha); tampoco en la arteria coronaria derecha. AA: aorta ascendente; AD: aurícula derecha; VD: ventrículo derecho; VI: ventrículo izquierdo.

Tabla

Cuadro general de ensayos controlados y aleatorizados en los que se compara la angiografía por tomografía computarizada coronaria y la asistencia estándar en la evaluación del dolor torácico agudo en el contexto de servicios de urgencias

Estudio	Pacientes, n	Diseño del estudio	Seguimiento (meses)	IM en el seguimiento	Tiempo (TC frente a AE)	Coste (TC frente a AE)
Goldstein et al ³⁵	197	Angio-TC coronaria frente a SPECT	6	0	3,4 frente a 15 h (p < 0,001)	1.586 frente a 1.872 dólares (p < 0,001)
CT-STAT ³⁶	669	Angio-TC coronaria frente a SPECT	6	0	2,9 frente a 6,3 h (p < 0,0001)	2.900 frente a 4.297 dólares (p < 0,0001)
AC RIN-PA ³⁷	1.370	Angio-TC coronaria frente a AE	1	0 en el grupo con angio-TC coronaria negativa	18 frente a 24,8 h (p < 0,001)	No indicado
ROMICAT II ³⁸	1.000	Angio-TC coronaria frente a AE	1	0	23,2 frente a 30,8 h (p < 0,001)	4.289 frente a 4.060 dólares (p = 0,65) [*]

AE: asistencia estándar; Angio-TC: angiografía por tomografía computarizada; IM: infarto de miocardio; SPECT: tomografía computarizada por emisión monofotónica; TC: tomografía computarizada.

* Los costes totales incluyen los de las pruebas posteriores en ambos grupos.

muertes cardíacas o IM. Los pacientes del grupo a angio-TC coronaria tuvieron mayor tasa de altas del SU y estancias hospitalarias más breves que los pacientes del grupo de AE (el 49,6 frente al 22,7%; 18 frente a 24,8 h; p < 0,001). Además, con la angio-TC coronaria hubo una tasa más alta de detección de EC (el 9,0 frente al 3,5%).

En el ensayo ROMICAT II³⁸, se asignó aleatoriamente a 1.000 pacientes con síntomas de SCA a angio-TC coronaria o AE en proporción 1:1. Los pacientes en los que se utilizó angio-TC coronaria mostraron una reducción de 7,6 h en la media de estancia hospitalaria y recibieron el alta directamente desde el SU con más frecuencia que los pacientes del grupo de AE (el 47 frente al 12%; p < 0,001). No hubo eventos adversos mayores significativos 28 días después de haber acudido al SU. Como consecuencia de la posterior realización de más pruebas, los costes medios acumulados de la asistencia en el grupo de angio-TC coronaria fueron similares a los observados con la estrategia de AE (4.289 frente a 4.060 dólares; p = 0,65). Además, la estrategia de angio-TC coronaria se asoció a mayor exposición a la radiación.

En un metanálisis de Hulthen et al⁸ que combinó los datos de los ensayos antes mencionados, no hubo ninguna muerte cardíaca tras el alta y no se observaron diferencias respecto a la incidencia de IM o repetición de evaluaciones entre los pacientes a angio-TC coronaria y los del grupo de AE. Aunque la angio-TC coronaria para evaluar el dolor torácico agudo en el SU se asoció a disminución de la estancia hospitalaria y ahorro de costes, los pacientes del grupo de angio-TC coronaria tuvieron mayor probabilidad de que se les practicara una

angiografía coronaria invasiva (el 7,5 frente al 5,6%; p = 0,03) o incluso una intervención de revascularización (el 4,2 frente al 2,2%; p = 0,004), aunque sin diferencia clara en los resultados clínicos.

En un reciente estudio prospectivo de Mas-Stachurska et al³⁹, se comparó el rendimiento diagnóstico de la angio-TC coronaria con el de la ecocardiografía de esfuerzo en pacientes con dolor torácico agudo, ECG normal, marcadores de troponina negativos y probabilidad de EC baja o intermedia. Se confirmó SCA en 17 de los 69 pacientes (24,6%) mediante angiografía coronaria invasiva. Tomando un umbral de reducción luminal $\geq 50\%$, la angio-TC coronaria mostró mayor sensibilidad y menor especificidad que la ecocardiografía de estrés (el 100 frente al 82,3% y el 76,9 frente al 88,4% respectivamente). Al elevar el umbral de la estenosis coronaria a $\geq 70\%$, la especificidad fue igual con una y otra modalidad diagnóstica (88,4%), mientras que la sensibilidad continuó siendo superior con la angio-TC coronaria que con la ecocardiografía (el 100 frente al 82,3%). La tecnología de TC relativamente inicial (con 64 cortes) se asociaba a unos parámetros de calibrado altos (120 kV y una corriente efectiva del tubo de 550-850 mA) y, por lo tanto, a mayor dosis de radiación^{40,41}.

EVIDENCIA CIENTÍFICA EN EL CONTEXTO DEL DOLOR TORÁCICO ESTABLE

El dolor torácico o angina estable se define como una opresión torácica que se agrava con el esfuerzo y mejora con el reposo, y se

debe a un desequilibrio entre el aporte y la demanda de oxígeno en el miocardio⁴². Se incluyó a pacientes con dolor torácico estable en el estudio multicéntrico CORE64, en el que se evaluó el rendimiento de la angio-TC coronaria más examen del calcio arterial coronario frente a la angiografía coronaria invasiva⁴³. En los 405 pacientes, la angio-TC coronaria mostró una elevada exactitud diagnóstica para detectar o descartar una estenosis $\geq 50\%$ en los 291 pacientes en los que se confirmó con una angiografía coronaria invasiva posterior. La prevalencia de EC fue del 56%. La angio-TC coronaria tuvo una sensibilidad del 85%, una especificidad del 90%, un valor predictivo positivo del 91% y un valor predictivo negativo del 83%. Los valores para la identificación de los pacientes a los que después se revascularizó fueron similares con la angio-TC coronaria (área bajo la curva = 0,84) y con la angiografía invasiva (área bajo la curva = 0,82). La gravedad de la enfermedad, definida por angio-TC coronaria, mostró una correlación muy buena con la evaluación mediante angiografía coronaria invasiva ($r = 0,81$). La exposición a la radiación fue de $13,8 \pm 1,2$ mSv para los varones y $15,2 \pm 2,4$ mSv para las mujeres.

En el estudio prospectivo, multicéntrico y con dispositivos de múltiples proveedores realizado por Meijboom et al⁴⁴, participaron 360 pacientes con síntomas de angina agudos y crónicos ($n = 233$), a los que se remitió a angio-TC coronaria o angiografía coronaria invasiva. La sensibilidad de la angio-TC coronaria para detectar EC significativa fue del 99%, pero su especificidad fue de solo un 64%, con un valor predictivo positivo del 86% y un valor predictivo negativo del 97%. Para el segmento, la sensibilidad se reducía al 88%, mientras que la especificidad aumentaba al 90%, lo cual respalda la notable capacidad de la angio-TC coronaria para descartar estenosis significativas, tal como se menciona en el apartado que resume la evidencia científica en el contexto del dolor torácico agudo. La exposición a la radiación fue de entre $15,5 \pm 2,2$ y $18,4 \pm 3,2$ mSv.

En el ensayo prospectivo y multicéntrico ACCURACY, se estudió a pacientes con angina estable remitidos a angiografía coronaria invasiva⁴⁵. En los 230 pacientes evaluados, esta técnica mostró una sensibilidad del 95%, una especificidad del 83%, un valor predictivo positivo del 64% y un valor predictivo negativo del 99% en la detección de estenosis $\geq 50\%$. Para los vasos, la sensibilidad se redujo al 84%, mientras que la especificidad aumentó al 90% y el valor predictivo negativo se mantuvo estable.

En el ensayo OMCAS se incluyó a pacientes con una probabilidad intermedia de EC significativa⁴⁶. La angio-TC coronaria tuvo sensibilidad del 81,3%, especificidad del 93,3%, valor predictivo positivo del 91,6% y valor predictivo negativo del 84,7%. A diferencia de los ensayos antes mencionados, el análisis por vaso sanguíneo no mostró una disminución estadísticamente significativa de la sensibilidad ($p = 0,56$), mientras que el valor predictivo negativo aumentó un 10,0-94,7%.

En el reciente ensayo PROMISE, se asignó a 100.003 pacientes con síntomas compatibles con EC a una evaluación anatómica con angio-TC coronaria o un estudio funcional como prueba de esfuerzo, electrocardiografía, gammagrafía de estrés o ecocardiografía de estrés⁴⁷. Los objetivos del estudio se definieron como muerte cardíaca, IM, hospitalización por angina inestable, complicaciones importantes de la intervención, exposición a la radiación y realización de una angiografía coronaria invasiva a pacientes sin EC obstructiva. La probabilidad de EC obstructiva fue del $53,3 \pm 21,4\%$. Tras un seguimiento de 2 años, se produjeron eventos de muerte cardíaca, IM, hospitalización por angina inestable o complicación importante de la intervención en el 3,3% de los pacientes del grupo de angio-TC coronaria y el 3,0% de los pacientes a los que se realizaron pruebas funcionales ($p = 0,75$). Por otra parte, la angio-TC coronaria se siguió de menor número de angiografías coronarias invasivas a los pacientes sin EC obstructiva que el observado con las pruebas funcionales (el 3,4 frente al 4,3%; $p = 0,02$), si bien hubo más pacientes a los que se practicó una

angiografía coronaria invasiva en el plazo de 90 días tras haber acudido al SU (el 12,2 frente al 8,1%). La conclusión de este estudio es que el empleo inicial de angio-TC coronaria para la evaluación de los pacientes con sospecha de EC no mejora los resultados clínicos.

El estudio retrospectivo de Shreibati et al⁴⁸, en el que se comparó la angio-TC coronaria con el uso de modalidades diagnósticas no invasivas de tipo funcional en un contexto no agudo, puso de manifiesto que el uso de aquella se asocia a un aumento de las intervenciones invasivas posteriores, como la angiografía coronaria invasiva, y el consecuente incremento de los gastos médicos. En comparación con las modalidades no ionizantes, la angio-TC coronaria se asoció a menor probabilidad de rehospitalización por infarto agudo de miocardio, mientras que la probabilidad de muerte por cualquier causa fue similar entre todas las modalidades diagnósticas en un lapso de 180 días.

En un estudio todavía no publicado, Mark et al (comunicación personal) han mostrado que, si bien la angio-TC coronaria tuvo inicialmente menor coste que las pruebas funcionales, su coste acumulado no es inferior al de las pruebas funcionales⁴⁹.

En el reciente ensayo prospectivo y multicéntrico SCOT-Heart, se aleatorizó a AE más angio-TC coronaria o AE sola a 4.146 pacientes de un total de 9.849 participantes con angina estable. Después de 6 semanas, la angio-TC coronaria reclasificó el diagnóstico de EC a un 27% de los pacientes. Al cabo de 1,7 años, los pacientes diagnosticados mediante angio-TC coronaria no mostraban una reducción estadísticamente significativa de los IM mortales y no mortales. La mediana de dosis de radiación en este ensayo fue de 4,1 mSv.

Hay pocos estudios de coste-efectividad de la angio-TC coronaria en la angina estable. Min et al⁵⁰, en su subestudio del ensayo ACCURACY, mostraron que una estrategia de angio-TC coronaria tiene una relación coste-efectividad más favorable a largo plazo, con un cociente de coste-efectividad incremental de 20.429 dólares por año de vida ajustado por calidad en comparación con la SPECT.

CONCLUSIONES

Gracias a los avances tecnológicos que se han producido en los últimos años, la TC cardiovascular se ha asentado como una sólida modalidad de diagnóstico por imagen cardiovascular. Los avances técnicos recientes incluyen el empleo de un voltaje bajo, la adquisición con *pitch* alto, con lo que se evita el sobremuestreo, y la aplicabilidad generalizada de los algoritmos de RI. En paralelo, ha surgido evidencia científica del valor clínico de las técnicas en el contexto del dolor torácico agudo para poblaciones de riesgo bajo o intermedio y el estudio diagnóstico de pacientes con síndrome de dolor torácico estable. Cabe prever que la creciente disponibilidad de la tecnología de TC avanzada ampliará aún más la difusión de la técnica en los estudios diagnósticos clínicos de pacientes cardiovasculares.

CONFLICTO DE INTERESES

Ninguno.

BIBLIOGRAFÍA

1. Go AS, Mozaffarian D, Roger VL, Benjamin EJ, Berry JD, Blaha MJ, et al. American Heart Association Statistics Committee and Stroke Statistics Subcommittee. Heart disease and stroke statistics—2014 update: a report from the American Heart Association. *Circulation*. 2014;129:e28–292.
2. National Center for Health Statistics. National Hospital Ambulatory Medical Care Survey: 2011 Emergency Department Summary Tables, 2011 [citado 15 Nov 2015]. Disponible en: http://www.cdc.gov/nchs/data/ahcd/nhamcs_emergency/2011_ed_web_tables.pdf
3. Pope JH, Aufderheide TP, Ruthazer R, Woolard RH, Feldman JA, Beshansky JR, et al. Missed diagnoses of acute cardiac ischemia in the emergency department. *N Engl J Med*. 2000;342:1163–70.

4. Farkouh ME, Aneja A, Reeder GS, Smars PA, Bansilal S, Lennon RJ, et al. Clinical risk stratification in the emergency department predicts long-term cardiovascular outcomes in a population-based cohort presenting with acute chest pain: primary results of the Olmsted county chest pain study. *Medicine (Baltimore)*. 2009;88:307-13.
5. Amsterdam EA, Kirk JD, Bluemke DA, Diercks D, Farkouh ME, Garvey JL, et al. American Heart Association Exercise, Cardiac Rehabilitation, and Prevention Committee of the Council on Clinical Cardiology, Council on Cardiovascular Nursing, and Interdisciplinary Council on Quality of Care and Outcomes Research. Testing of low-risk patients presenting to the emergency department with chest pain: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*. 2010;122:1756-76.
6. Hollander JE, Robey JL, Chase MR, Brown AM, Zogby KE, Shofer FS. Relationship between a clear-cut alternative noncardiac diagnosis and 30-day outcome in emergency department patients with chest pain. *Acad Emerg Med*. 2007;14:210-5.
7. Taylor AJ, Cerqueira M, Hodgson JM, Mark D, Min J, O'Gara P, et al. American College of Cardiology Foundation Appropriate Use Criteria Task Force; Society of Cardiovascular Computed Tomography; American College of Radiology; American Heart Association; American Society of Echocardiography; American Society of Nuclear Cardiology; North American Society for Cardiovascular Imaging; Society for Cardiovascular Angiography and Interventions; Society for Cardiovascular Magnetic Resonance. 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. *J Cardiovasc Comput Tomogr*. 2010;4:407.e1-33.
8. Hulten E, Pickett C, Bittencourt MS, Villines TC, Petrillo S, Di Carli MF, et al. Outcomes after coronary computed tomography angiography in the emergency department: a systematic review and meta-analysis of randomized, controlled trials. *J Am Coll Cardiol*. 2013;61:880-92.
9. Kalender WA, Seissler W, Klotz E, Vock P. Spiral volumetric CT with single-breath-hold technique, continuous transport, and continuous scanner rotation. *Radiology*. 1990;176:181-3.
10. Johnson TR, Nikolaou K, Wintersperger BJ, Leber AW, Von Ziegler F, Rist C, et al. Dual-source CT cardiac imaging: initial experience. *Eur Radiol*. 2006;16:1409-15.
11. McCollough CH, Primak AN, Braun N, Kofler J, Yu L, Christner J. Strategies for reducing radiation dose in CT. *Radiol Clin North Am*. 2009;47:27-40.
12. Tang K, Wang L, Li R, Lin J, Zheng X, Cao G. Effect of low tube voltage on image quality, radiation dose, and low-contrast detectability at abdominal multidetector CT: phantom study. *J Biomed Biotechnol*. 2012;2012:130169.
13. Huda W, Scalzetti EM, Levin G. Technique factors and image quality as functions of patient weight at abdominal CT. *Radiology*. 2000;217:430-5.
14. Bischoff B, Hein F, Meyer T, Hadamitzky M, Martinoff S, Schömig A, et al. Impact of a reduced tube voltage on CT angiography and radiation dose: results of the PROTECTION I study. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2009;2:940-6.
15. Zhang LJ, Wang Y, Schoepf UJ, Meinel FG, Bayer 2nd RR, Qi L, et al. Image quality, radiation dose, and diagnostic accuracy of prospectively ECG-triggered high-pitch coronary CT angiography at 70 kVp in a clinical setting: comparison with invasive coronary angiography. *Eur Radiol*. 2015. <http://dx.doi.org/10.1007/s00330-015-3868-z> [Epub ahead of print].
16. McNitt-Gray MF. AAPM/RSNA physics tutorial for residents: topics in CT. Radiation dose in CT. *Radiographics*. 2002;22:1541-53.
17. Bolen MA, Popovic ZB, Tandon N, Flamm SD, Schoenhagen P, Halliburton SS. Image quality, contrast enhancement, and radiation dose of ECG-triggered high-pitch CT versus non-ECG-triggered standard-pitch CT of the thoracoabdominal aorta. *AJR Am J Roentgenol*. 2012;198:931-8.
18. Flohr TG, McCollough CH, Bruder H, Petersilka M, Gruber K, Süß C, et al. First performance evaluation of a dual-source CT (DSCT) system. *Eur Radiol*. 2006;16:256-68.
19. Sommer WH, Albrecht E, Bamberg F, Schenzle JC, Johnson TR, Neumaier K, et al. Feasibility and radiation dose of high-pitch acquisition protocols in patients undergoing dual-source cardiac CT. *AJR Am J Roentgenol*. 2010;195:1306-12.
20. 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.
21. Fleischmann D, Boas FE. Computed tomography—old ideas and new technology. *Eur Radiol*. 2011;21:510-7.
22. Patino M, Fuentes JM, Singh S, Hahn PF, Sahani DV. Iterative reconstruction techniques in abdominopelvic CT: technical concepts and clinical implementation. *AJR Am J Roentgenol*. 2015;205:W19-31.
23. Singh S, Kalra MK, Hsieh J, Licato PE, Do S, Pien HH, et al. Abdominal CT: comparison of adaptive statistical iterative and filtered back projection reconstruction techniques. *Radiology*. 2010;257:373-83.
24. Singh S, Kalra MK, Gilman MD, Hsieh J, Pien HH, Digumarthy SR, et al. Adaptive statistical iterative reconstruction technique for radiation dose reduction in chest CT: a pilot study. *Radiology*. 2011;259:565-73.
25. Yin WH, Lu B, Li N, Han L, Hou ZH, Wu RZ, et al. Iterative reconstruction to preserve image quality and diagnostic accuracy at reduced radiation dose in coronary CT angiography: an intraindividual comparison. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2013;6:1239-49.
26. Layritz C, Schmid J, Achenbach S, Ulzheimer S, Wuest W, May M, et al. Accuracy of prospectively ECG-triggered very low-dose coronary dual-source CT angiography using iterative reconstruction for the detection of coronary artery stenosis: comparison with invasive catheterization. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2014;15:1238-45.
27. Grech ED, Ramsdale DR. Acute coronary syndrome: unstable angina and non-ST segment elevation myocardial infarction. *BMJ*. 2003;326:1259-61.
28. Hecht HS, De Siqueira ME, Cham M, Yip R, Narula J, Henschke C, et al. Low- vs standard-dose coronary artery calcium scanning. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2015;16:358-63.
29. Hecht HS. Coronary artery calcium scanning: past, present, and future. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2015;8:579-96.
30. 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.
31. Janowitz WR, Agatston AS, Kaplan G, Viamonte Jr M. Differences in prevalence and extent of coronary artery calcium detected by ultrafast computed tomography in asymptomatic men and women. *Am J Cardiol*. 1993;72:247-54.
32. Budoff MJ, Nasir K, McClelland RL, Detrano R, Wong N, Blumenthal RS, et al. Coronary calcium predicts events better with absolute calcium scores than age-sex-race/ethnicity percentiles: MESA (Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis). *J Am Coll Cardiol*. 2009;53:345-52.
33. Staniak HL, Bittencourt MS, Pickett C, Cahill M, Kassop D, Slim A, et al. Coronary CT angiography for acute chest pain in the emergency department. *J Cardiovasc Comput Tomogr*. 2014;8:359-67.
34. Bittencourt MS, Hulten E, Ghoshhajra B, O'Leary D, Christman MP, Montana P, et al. Prognostic value of nonobstructive and obstructive coronary artery disease detected by coronary computed tomography angiography to identify cardiovascular events. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2014;7:282-91.
35. 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.
36. Goldstein JA, Chinnaiyan KM, Abidov A, Achenbach S, Berman DS, Hayes SW, et al; CT-STAT Investigators. The CT-STAT (Coronary Computed Tomographic Angiography for Systematic Triage of Acute Chest Pain Patients to Treatment) trial. *J Am Coll Cardiol*. 2011;58:1414-22.
37. Litt HI, Gatsonis C, Snyder B, Singh H, Miller CD, Entriokin DW, et al. CT angiography for safe discharge of patients with possible acute coronary syndromes. *N Engl J Med*. 2012;366:1393-403.
38. Hoffmann U, Truong QA, Schoenfeld DA, Chou ET, Woodard PK, Nagurney JT, et al; ROMICAT-II Investigators. Coronary CT angiography versus standard evaluation in acute chest pain. *N Engl J Med*. 2012;367:299-308.
39. Mas-Stachurska A, Miro O, Sitges M, De Calart TM, Perea RJ, López B, et al. Evaluación del dolor torácico agudo mediante ecocardiografía de ejercicio y tomografía computarizada multidetector. *Rev Esp Cardiol*. 2015;68:17-24.
40. Catalan-Sanz P. La perspectiva del cardiólogo sobre la evaluación del dolor torácico agudo mediante ecocardiografía de ejercicio y tomografía computarizada multidetector. *Rev Esp Cardiol*. 2015;68:731.
41. Catalan-Sanz P. Comentarios a la evaluación del dolor torácico agudo mediante ecocardiografía de ejercicio y tomografía computarizada multidetector. *Rev Esp Cardiol*. 2015;68:164-5.
42. Schlett CL, Pursnani A, Marcus RP, Truong QA, Hoffmann U. The use of coronary CT angiography for the evaluation of chest pain. *Cardiol Rev*. 2014;22:117-27.
43. Miller JM, Rochitte CE, Dewey M, Arbab-Zadeh A, Niinuma H, Gottlieb I, et al. Diagnostic performance of coronary angiography by 64-row CT. *N Engl J Med*. 2008;359:2324-36.
44. Meijboom WB, Meijis MF, Schuijf JD, Cramer MJ, Mollet NR, Van Mieghem CA, et al. Diagnostic accuracy of 64-slice computed tomography coronary angiography: a prospective, multicenter, multivendor study. *J Am Coll Cardiol*. 2008;52:2135-44.
45. Budoff MJ, Dowe D, Jollis JG, Gitter M, Sutherland J, Halamert E, et al. Diagnostic performance of 64-multidetector row coronary computed tomographic angiography for evaluation of coronary artery stenosis in individuals without known coronary artery disease: results from the prospective multicenter ACCURACY (Assessment by Coronary Computed Tomographic Angiography of Individuals Undergoing Invasive Coronary Angiography) trial. *J Am Coll Cardiol*. 2008;52:1724-32.
46. Chow BJ, Freeman MR, Bowen JM, Levin L, Hopkins RB, Provost Y, et al. Ontario multidetector computed tomographic coronary angiography study: field evaluation of diagnostic accuracy. *Arch Intern Med*. 2011;171:1021-9.
47. Douglas PS, Hoffmann U, Patel MR, Mark DB, Al-Khalidi HR, Cavanaugh B, et al; PROMISE Investigators. Outcomes of anatomical versus functional testing for coronary artery disease. *N Engl J Med*. 2015;372:1291-300.
48. Shreibati JB, Baker LC, Hlatky MA. Association of coronary CT angiography or stress testing with subsequent utilization and spending among Medicare beneficiaries. *JAMA*. 2011;306:2128-36.
49. Budoff MJ. What does the PROMISE trial mean for cardiac CT? Outcome of coronary CT angiography vs functional testing in suspected coronary artery disease. *J Cardiovasc Comput Tomogr*. 2015;9:250-1.
50. Min JK, Gilmore A, Budoff MJ, Berman DS, O'Day K. Cost-effectiveness of coronary CT angiography versus myocardial perfusion SPECT for evaluation of patients with chest pain and no known coronary artery disease. *Radiology*. 2010;254:801-8.