

Coronariografía no invasiva mediante tomografía computarizada con 16 detectores: estudio comparativo con la angiografía coronaria invasiva

Rubén Leta^a, Francesc Carreras^a, Xavier Alomar^b, Joan Monell^a, Joan García-Picart^a, Josep M. Augé^a, Antonio Salvador^b y Guillem Pons-Lladó^a

^aSección de Imagen Cardíaca y Unidad de Hemodinámica. Hospital de la Santa Creu i Sant Pau. Barcelona.

^bServicio de Radiodiagnóstico. Clínica Creu Blanca. Barcelona. España.

Introducción y objetivos. La coronariografía no invasiva mediante tomografía computarizada con 16 detectores es una herramienta diagnóstica de reciente aparición cuya fiabilidad está por determinar. El objetivo del presente estudio es la comparación entre esta técnica y la coronariografía invasiva.

Pacientes y método. Se estudió a 31 pacientes por ambas técnicas. El estudio no invasivo se realizó con un equipo Toshiba Aquilion 16. Se realizó una toma helicoidal del volumen cardíaco durante una apnea, inyectándose contraste en una vena periférica y reconstruyendo posteriormente las imágenes con cortes de 0,5 o 1 mm. Ambas coronariografías fueron evaluadas según un modelo anatómico predefinido de segmentación del árbol coronario. Se analizaron la presencia y la magnitud de las lesiones coronarias, considerando significativas las estenosis > 50%.

Resultados. La coronariografía no invasiva permitió evaluar el 88,4% de los segmentos analizados por coronariografía convencional. Las causas de no evaluación de un segmento fueron: presencia extensa de calcio parietal coronario, apnea incorrecta, artefacto de movimiento y reducido calibre del segmento estudiado. La sensibilidad y la especificidad global de la coronariografía no invasiva para la detección de lesiones coronarias significativas fueron del 75 y del 91%, respectivamente. Los valores de sensibilidad y especificidad para los distintos segmentos coronarios considerados independientemente fueron: proximales, 89 y 93%; medios, 87 y 90%; distales, 50 y 90%, y ramas secundarias, 62 y 92%.

Conclusiones. La coronariografía no invasiva mediante tomografía computarizada con 16 detectores muestra un elevado poder diagnóstico, en especial en las lesiones proximales y medias de los principales troncos coronarios.

Palabras clave: Enfermedad coronaria. Coronariografía. Tomografía computarizada. Detectores múltiples.

VÉASE EDITORIAL EN PÁGS. 198-200

Este estudio ha sido financiado parcialmente con una beca de investigación de la Fundación Mapfre Medicina.

Correspondencia: Dr. R. Leta Petracca.
Servicio de Cardiología. Hospital de la Santa Creu i Sant Pau.
Avda. Sant Antoni M. Claret, 167. 08025 Barcelona. España.
Correo electrónico: rleta@hsp.santpau.es

Recibido el 30 de julio de 2003.

Aceptado para su publicación el 15 de enero de 2004.

Non-Invasive Coronary Angiography With 16 Multidetector-Row Spiral Computed Tomography: a Comparative Study With Invasive Coronary Angiography

Introduction and objectives. Non-invasive coronary artery angiography by 16 multidetector-row spiral computed tomography is a novel diagnostic tool whose reliability is still unclear. The aim of our study was to compare this technique with invasive coronary angiography.

Patients and method. A total of 31 selected patients were examined with both angiographic methods. Non-invasive studies were performed with a helical computer tomography system (Toshiba Aquilion 16-slices). A contrast agent was injected into a peripheral vein, and cross-sectional images were reconstructed with a slice thickness of 0.5 mm or 1.0 mm. Findings from both techniques were analyzed according to a predetermined segmented anatomical model of the coronary artery. The detection and relevance of coronary artery lesions were evaluated, and lesions with a reduction in diameter of more than 50% were considered significant.

Results. Non-invasive coronary angiography yielded an appropriate assessment in 88.4% of the coronary artery segments. The reasons that prevented correct segment evaluation were extensive coronary calcifications, inappropriate breath-hold, motion artefacts and small vessel size. Sensitivity and specificity for the detection of significant coronary lesions with the non-invasive method were 75% and 91%, respectively. Sensitivity and specificity for individual coronary artery segments were as follows: proximal, 89% and 93%; medial, 87% and 90%; distal, 50% and 90%; and secondary branches, 62% and 92%.

Conclusions. Non-invasive coronary artery angiography with 16 multidetector-row computed tomography is a powerful diagnostic tool, especially for the evaluation of the proximal and medial segments of the major coronary arteries.

Key words: Coronary disease. Coronary artery angiography. Computed tomography. Multidetector.

Full English text available at: www.revespcardiol.org

ABREVIATURAS

TCDM: tomografía computarizada con detectores múltiples.

INTRODUCCIÓN

La tomografía computarizada con detectores múltiples (TCDM) aplicada al estudio del árbol arterial coronario es una novedosa herramienta de diagnóstico cuyo potencial no es ampliamente conocido en nuestro entorno cardiológico.

Se trata de una tecnología basada en la tomografía computarizada helicoidal. De forma esquemática, el sistema consta de una serie de detectores de rayos X, instalados en un sistema rotacional axial, que permiten, mediante un avance continuo de la camilla de exploración, la obtención simultánea de múltiples cortes axiales de una región anatómica. Dichos cortes forman en su conjunto un volumen anatómico que puede ser reconstruido, tratado y analizado en cualquier eje mediante su posprocesado en una estación de trabajo digital^{1,2}.

Actualmente, la TCDM posee 2 aplicaciones relevantes para el ámbito cardiológico: la determinación y cuantificación del depósito de calcio en las arterias coronarias (estudio que se realiza sin contraste radiológico), que ha demostrado ser una potente herramienta de estratificación de riesgo cardiovascular³⁻⁵, y la coronariografía no invasiva⁶, realizada mediante inyección venosa periférica de contraste yodado.

La TCMD ha experimentado un rápido desarrollo tecnológico y en un intervalo de pocos años se han introducido sistemas de 2, 4 y, recientemente, 16 detectores. Ha sido, no obstante, con este último sistema con el que se ha podido obtener un grado de resolución de las imágenes apropiado para el análisis del sistema arterial coronario⁷. El objetivo del presente estudio ha sido determinar la utilidad diagnóstica de la TCDM con un sistema de 16 detectores para la detección y cuantificación de lesiones arteriales coronarias, por comparación con la angiografía coronaria invasiva convencional.

PACIENTES Y MÉTODO

Se estudió mediante TCDM a 31 pacientes (28 varones) con una edad media de 66 años (rango, 37-79 años) que con anterioridad habían sido sometidos a una coronariografía invasiva indicada clínicamente. Los pacientes fueron seleccionados de manera consecutiva para el estudio no invasivo, sin conocimiento previo de los hallazgos de la coronariografía. El intervalo entre ambos estudios fue breve para la mayoría de los pacientes, con una mediana de $16 \pm 52,6$ días (rango, 2-193 días).

Todos los pacientes fueron estudiados de forma am-

bulatoria. Se habían considerado como causas de exclusión, *a priori*, las siguientes: fibrilación auricular, insuficiencia renal, alergia a contrastes yodados, claustrofobia e incapacidad de realizar una apnea inspiratoria de al menos 15 s. Los pacientes del grupo de estudio presentaban una prevalencia de hipertensión arterial del 58%, de dislipemia del 35%, de tabaquismo del 56% y de diabetes del 23%. Existía el antecedente de infarto de miocardio en el 45% de ellos, el 13% había sido intervenido quirúrgicamente de revascularización coronaria y el 38% había sido sometido a angioplastia con implantación de *stent*. El estudio fue aprobado por el Comité de Ética del Hospital de la Santa Creu i Sant Pau.

Protocolo de estudio

El equipo empleado fue un Toshiba® Aquilion 16, (Toshiba Corporation, Medical Systems Company), dotado de 16 detectores que realizan una rotación de 360° en 0,5 s, capaz de captar hasta 32 cortes axiales de 0,5 mm de grosor en 1 s, lo que permite cubrir todo el volumen cardíaco en una apnea inferior a 30 s.

El protocolo de estudio comenzaba realizando un topograma (una imagen similar a una radiografía de tórax simple) para determinar los límites del volumen cardíaco a adquirir, generalmente limitado entre la carina traqueal y las cúpulas diafragmáticas. Los parámetros de irradiación a administrar se ajustaron de forma convencional con respecto a las características morfológicas de cada paciente: rayos X de 120 kV, con corriente del tubo entre 250-350 mA. El grosor de corte anatómico a adquirir se adecuó a la duración de la apnea inspiratoria que era capaz de mantener cada paciente, según un test previo, y fue de 0,5 mm en apneas superiores a 20 s y de 1 mm en apneas inferiores a 20 s.

La frecuencia cardíaca de los pacientes se situaba entre 47 y 105 lat/min, con una mediana de 60 lat/min. No se administró previamente ningún fármaco cardiovascular para la realización del estudio considerando el sistema de segmentación del equipo utilizado, que optimiza la reconstrucción de las imágenes en función de la frecuencia cardíaca espontánea.

Los estudios se realizaron con la administración de contraste yodado mediante bomba de infusión, a través de una vena antecubital, con la finalidad de realzar el árbol vascular arterial coronario. El volumen de contraste administrado fue de 120-150 ml de Iobitridol (Xenetix®) a una concentración de 300 mg/ml y con una velocidad de infusión de 4-5 ml/s. El ajuste entre la administración del contraste y la toma de las imágenes era efectuada automáticamente por el equipo, al detectar la llegada del contraste en una región de interés situada en la aurícula izquierda.

La toma de las imágenes del volumen cardíaco se realizaba de forma continua (helicoidal) en todas las fases del ciclo cardíaco, con registro simultáneo del electrocardiograma (ECG). Finalizada la toma, y ya con el pa-

ciente fuera del equipo, se procedía a la reconstrucción de las imágenes del volumen cardíaco. Se seleccionaba para la reconstrucción el momento de la fase diastólica del ciclo cardíaco en que menos artefacto de movimiento existía y mejor se visualizaban las arterias coronarias. Mediante reconstrucción segmentada retrospectiva, cada 0,3 mm en los estudios con corte de 0,5 mm, y con una resolución temporal de aproximadamente 80 ms, se obtenía un volumen cardíaco formado por 350-400 cortes anatómicos.

En la estación de trabajo, con un *software* especializado (Vitrea2®, Vital images, Plymouth, MN), se procedía al análisis de las imágenes con la ayuda de las herramientas disponibles: imágenes axiales (fig. 1A), reconstrucciones multiplanares oblicuas y curvas (MPR, del inglés *multiplane reformat*; fig. 1B), proyecciones de máxima intensidad (MIP, del inglés *maximal intensity projection*) y reconstrucciones tridimensionales «renderizadas» (fig. 1C).

Cada estudio fue analizado por 4 observadores, 3 cardiólogos de la Sección de Imagen Cardíaca con experiencia en la interpretación de la anatomía coronaria por cardiorrsonancia magnética (RL, FC y GPL), y un radiólogo con experiencia en angiografía no invasiva y tomografía axial computarizada (XA). El estudio de las arterias coronarias se realizó sistemáticamente con arreglo a un modelo de 15 segmentos que incluía los grandes troncos arteriales coronarios y sus ramas principales, y se analizaron por separado los injertos coronarios, cada uno de los cuales fue considerado como un segmento independiente. Mediante consenso de todos los observadores, se determinaron: a) la visualización adecuada o no de cada segmento coronario, así como la causa de una eventual visualización inadecuada, y b) la presencia y magnitud de las lesiones estenóticas coronarias, considerando como significativas aquellas que se estimaban visualmente como superiores al 50% utilizando como referencia el área contrastada de la luz del vaso en los segmentos vecinos a la estenosis. No se realizaron estimaciones cuantitativas, en ausencia de métodos contrastados para ello, en el caso de la TCDM. La duración media de la interpretación de cada estudio fue de 45 min.

Independientemente de este análisis, la interpretación de la coronariografía fue realizada por 2 hemodinamistas expertos (JGP, JMA) que desconocían los hallazgos de la TCDM. Todas las coronariografías invasivas se realizaron con un equipo Philips Integris HM 3000® (Philips Medical Systems, Países Bajos) y mediante el procedimiento habitual de punción arterial femoral con inyección de aproximadamente 60 ml de contraste yodado en los ostios coronarios cateterizados. Se realizaron proyecciones angiográficas estándares anteroposterior, oblicuas y laterales, y se determinó la presencia de lesiones coronarias, cuantificándolas por QCA (*quantitative coronary angiography*) y considerando como significativas las lesiones superiores al 50%.

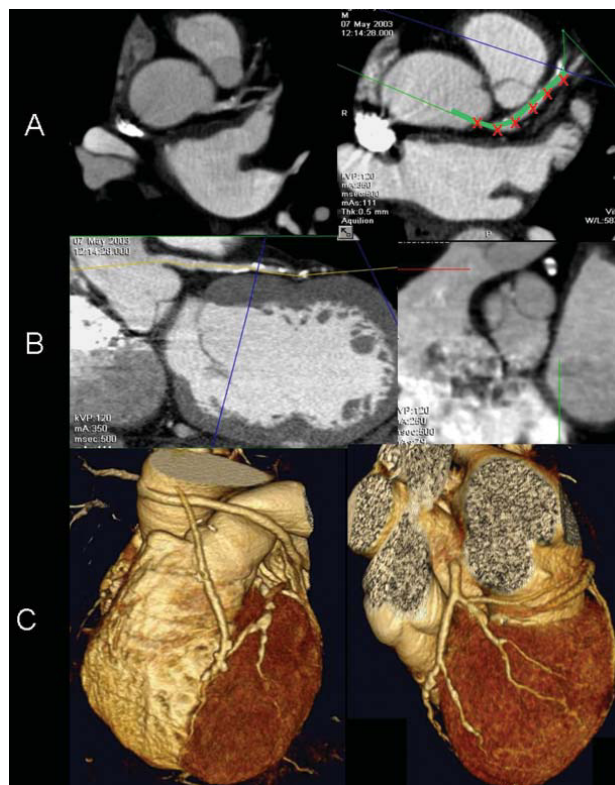


Fig. 1. Métodos de análisis de las imágenes de tomografía computarizada con detectores múltiples. Las imágenes axiales (A) ofrecen la información básica sobre la que se pueden reconstruir proyecciones multiplanares (MPR) curvas (B, izda.) y oblicuas (B, dcha.) que ayudan a discernir la significación de las lesiones arteriales coronarias excéntricas. Las reconstrucciones tridimensionales «renderizadas» (C) ofrecen una excelente información de la distribución anatómica de las arterias coronarias y de la localización de las lesiones.

Análisis estadístico

El análisis estadístico se basó en la determinación de la sensibilidad, especificidad y valores predictivos positivo y negativo para la detección de lesiones estenóticas significativas. La sensibilidad global se calculó a partir de la suma de todos los segmentos con lesiones significativas en la TCDM (de los 15 territorios considerados) en relación con la suma de todos los segmentos con lesiones significativas en la coronariografía invasiva. Asimismo, la especificidad global se calculó a partir de la suma de todos los segmentos sin lesiones significativas en la TCDM en relación con la suma de todos los segmentos sin lesiones significativas en la coronariografía invasiva. De los parámetros mencionados se determinaron la media, la desviación estándar, el error estándar de la media y el intervalo de confianza (IC) del 95%.

RESULTADOS

Ninguno de los pacientes estudiados, ya sea por el método invasivo o por TCDM, presentó complicaciones atribuibles a la exploración.

TABLA 1. Prevalencia de las diferentes causas que motivan la no evaluación de un segmento por tomografía computarizada con detectores múltiples

	Porcentaje	Segmentos coronarios implicados
Extensa calcificación parietal	3,8 (18/474)	DAP (1), DAm (2), DAd (3), D1 (2), Cxp (1), Cxm (2), OM1 (1), OM2 (1), CDp (1), CDd (1), DP (2), TPL (1)
Artefactos de movimiento (respiratorio, cardíaco)	2,3 (11/474)	CDm (3), CDd (1), DP (1), TPL (2), Cxm (1), Cxd (1), OM1 (2)
Reducido tamaño del vaso	2,9 (14/474)	DAd (2), CDd (1), DP (1), TPL (2), Cxd (4), OM1 (1), OM2 (2), D1 (1)
Artefacto debido a presencia de <i>stent</i>	2,5 (12/474)	TC (1), DAP (2), DAm (2), Cxp (2), Cxd (1), OM1 (1), CDp (2), CDm (1)
Total de segmentos no evaluables	11,6 (55/474)	

CD: coronaria derecha; Cx: circunfleja; DA: descendente anterior; D1: primera diagonal; DP: descendente posterior; OM1: primera obtusa marginal; OM2: segunda obtusa marginal; TC: tronco común; TPL: tronco posterolateral; p: segmento proximal; m: segmento medio; d: segmento distal.

Angiografía invasiva

Todos los segmentos fueron evaluables por angiografía coronaria invasiva y se analizaron en total 474 segmentos coronarios, incluyendo vasos nativos e injertos coronarios. La angiografía mostró lesiones estenóticas significativas en 83 de estos segmentos (17,5%), que fueron oclusivas en 28 (5,9%); 7 segmentos (1,5%), correspondientes a un mismo paciente, estaban afectados por una anomalía coronaria (fístula congénita). En 12 segmentos se había implantado un *stent* (2,5%). En cuanto a los injertos coronarios, 4 eran de arteria mamaria interna a arteria descendente anterior, todos ellos sin lesiones en la coronariografía invasiva, y 5, de vena safena interna: 4 de ellos ocluidos (3 a arteria primera obtusa marginal y 1 a arteria coronaria derecha) y 1 sin lesiones (a arteria primera obtusa marginal).

Angiografía no invasiva por tomografía computarizada con detectores múltiples

El tiempo de apnea y toma de las imágenes en el estudio por TCDM fue, en promedio, de 23 s (rango, 15-34 s). La dosis de irradiación recibida por el paciente en el estudio por TCDM fue, en promedio, de 24,2 mSv. De los 31 estudios por TCDM, 23 (74%) pudieron realizarse con cortes de 0,5 mm y el resto, con cortes de 1 mm, de acuerdo con la capacidad del paciente para mantener una apnea.

Mediante TCDM pudieron evaluarse 419 segmentos coronarios (88,4%). Las causas que condujeron a clasificar un segmento como no evaluable se detallan en la tabla 1. En los 55 segmentos no evaluables por TCDM, la coronariografía invasiva había detectado lesiones significativas en tan sólo 7 (12,7%).

Para valorar la capacidad diagnóstica de la TCDM en el estudio de las lesiones coronarias significativas (definidas previamente como aquellas con estenosis > 50%), se consideraron en el análisis comparativo 458 segmentos de los 474 evaluados por coronariografía invasiva. De esta manera, se excluyó a 16 segmentos, 7 que correspondían a un paciente con fístula coronaria y 9 que

correspondían a injertos coronarios, que se evaluaron separadamente. Por otra parte, se consideraron válidos para el análisis por TCDM un total de 403 segmentos de los 474 iniciales. Se excluyó a 55 segmentos de evaluación limitada (tabla 1) y, de igual forma que en la coronariografía invasiva, los 7 segmentos correspondientes a anomalías coronarias y los 9 segmentos correspondientes a injertos coronarios.

La sensibilidad y especificidad global para la detección de lesiones estenóticas significativas de las arterias coronarias fue de un 75% (69,33 ± 28,87; IC del 95%, 54,21-84,46) y de un 91% (90,73 ± 3,84; IC del 95%, 88,72-92,75), respectivamente. Asimismo, el valor predictivo positivo y el valor predictivo negativo fue del 65% (57,07 ± 22,94; IC del 95%, 45,04-69,09) y del 94% (94,13 ± 3,87; IC del 95%, 92,10-96,16), respectivamente. En la tabla 2 se detalla el análisis de sensibilidad y especificidad por cada arteria coronaria y segmento coronario, y se evalúan también estos parámetros en el conjunto de segmentos proximales, medios, distales y troncos secundarios. En el grupo de lesiones estenóticas significativas, se analizó el subgrupo de las lesiones oclusivas (estenosis del 100%). La TCDM mostró una sensibilidad y especificidad global para la detección de lesiones oclusivas de las arterias coronarias de un 64% (18/28 segmentos ocluidos; 46,4 ± 43,98; IC del 95%, 24,14-68,65) y de un 80% (44/55 segmentos no ocluidos; 65,2 ± 38,48; IC del 95%, 45,72-84,67), respectivamente. En este subgrupo, la TCDM mostró un valor predictivo positivo y un valor predictivo negativo del 62 y del 81%, respectivamente.

Por último, en los injertos coronarios con escaso número de segmentos analizados (9 segmentos valorables por coronariografía, al igual que también 9 segmentos por TCDM), la sensibilidad y especificidad fueron ambas del 100% (fig. 2 A-D).

DISCUSIÓN

La coronariografía invasiva es el método de referencia para la evaluación de la anatomía coronaria. Aun siendo un procedimiento seguro cuando lo practica per-

TABLA 2. Capacidad diagnóstica de la tomografía computarizada con detectores múltiples para la detección de lesiones estenóticas arteriales coronarias > 50%

	TC	Descendente anterior				Circunfleja					Coronaria derecha				
		p	m	d	D1	p	m	d	OM1	OM2	p	m	d	DP	TPL
Sensibilidad (%)	4/4 (100)	9/10 (90)	5/6 (83)	2/2 (100)	2/3 (67)	6/7 (86)	5/6 (83)	3/6 (50)	6/8 (75)	0/2 (0)	5/6 (83)	10/11 (91)	2/3 (67)	2/5 (40)	1/4 (25)
Especificidad (%)	25/26 (96)	19/21 (90)	22/24 (92)	24/29 (83)	26/28 (93)	21/23 (91)	22/24 (92)	21/24 (87)	19/22 (86)	27/28 (96)	23/25 (92)	17/20 (85)	26/28 (93)	24/26 (92)	25/27 (93)
Sensibilidad global del 75% (62/83)									VPP del 65%						
Especificidad global del 91% (341/375)									VPN del 94%						
		Segmentos proximales (TC, DAp, Cxp y CDp)				Segmentos medios (DAm, Cxm y CDm)				Segmentos distales (DAd, Cxd, CDd, DP y TPL)				Troncos secundarios (D1, OM1 y OM2)	
Sensibilidad (%)		89 (24/27)				87 (20/23)				50 (10/20)				62 (8/13)	
Especificidad (%)		93 (88/95)				90 (61/68)				90 (120/134)				92 (72/78)	

Cx: circunfleja; DA: descendente anterior; D1: primera diagonal; DP: descendente posterior; OM1 primera obtusa marginal; OM2: segunda obtusa marginal; TC: tronco común; TPL: tronco posterolateral; VPP: valor predictivo positivo; VPN: valor predictivo negativo; p: segmento proximal; m: segmento medio; d: segmento distal.

Los resultados se expresan por arteria coronaria y segmento evaluado.

sonal experto, su carácter invasivo conlleva que no esté exenta de riesgo, lo cual, junto al elevado coste económico que supone, obliga a delimitar sus indicaciones con un carácter restrictivo⁸. Por ello, la búsqueda de herramientas alternativas, no invasivas, para el estudio de la anatomía arterial coronaria ha sido una constante en los últimos tiempos^{9,10}, particularmente por el interés de dicho estudio en el ámbito preventivo, donde la coronariografía invasiva no es aplicable.

La TCDM parece reunir las características adecuadas para cumplir esta función. Por una parte, esta técnica ha demostrado, en una primera fase, su capacidad para la detección y cuantificación del depósito cálcico en las arterias coronarias, cuyas connotaciones pronósticas superan a la simple estratificación clínica mediante los factores de riesgo convencionales^{11,12}. Por otra parte, y gracias a los recientes avances tecnológicos en este campo, ha sido posible la obtención de imágenes que constituyen una aproximación realista a la angiografía coronaria⁷.

La experiencia con esta técnica es muy reciente¹³, por lo que los estudios comparativos con la angiografía invasiva son por el momento escasos^{7,14}. Al igual que el estudio de Ropers et al⁷, nuestra experiencia con TCDM de 16 detectores demuestra que es un método con un elevado poder diagnóstico cuando se lo compara con la coronariografía convencional, mostrando una sensibilidad del 75% y una especificidad del 91% en la detección de las lesiones coronarias con una estenosis mayor del 50%. A diferencia de otros estudios¹⁵, en nuestro análisis no se excluyen de la evaluación los segmentos coronarios distales de reducido tamaño, aquellos con un diámetro luminal inferior a 1,5 mm y, a pesar de ello, la TCDM muestra un aceptable valor predictivo positivo,

del 65%, y un elevado valor predictivo negativo, del 94%, en la detección de lesiones coronarias significativas. El análisis detallado de los resultados de nuestra experiencia demuestra que la TCDM posee una elevada capacidad diagnóstica en los segmentos proximales y medios, aquellos que son potencialmente abordables por procedimientos coronarios intervencionistas, y en los que la técnica muestra una sensibilidad superior al 87%, con una especificidad superior al 90% en la detección de lesiones coronarias con estenosis mayor del 50%.

Por otra parte, a diferencia de la coronariografía invasiva, la información proporcionada por la TCDM no se limita a un luminograma. La capacidad de la TCDM para diferenciar elementos con un elevado componente cálcico de aquellos con mayor contenido lipídico o fibroso¹⁶ permite un análisis de la pared arterial y de sus lesiones superior al método invasivo. Estos datos, unidos al carácter no invasivo de la técnica, la convierten en un método muy atractivo cuando se pretende el estudio anatómico de las lesiones coronarias.

A causa de su reciente introducción, aún no está definido el papel de la coronariografía no invasiva en los algoritmos diagnósticos de la práctica cardiológica actual¹⁷. No obstante, los resultados favorables del presente estudio, así como de otros previos^{7,14}, permiten trazar las posibles líneas de aplicación clínica de la técnica en un futuro próximo. Para ello es importante, en primer lugar, considerar precisamente las limitaciones del estudio arterial coronario por TCDM.

Dichas limitaciones se encuentran impuestas básicamente por una disminución en la calidad de la imagen a analizar, que puede reconocer las siguientes causas: artefactos de movimiento en relación con una apnea incorrecta, o debido a la reconstrucción en una fase del ciclo

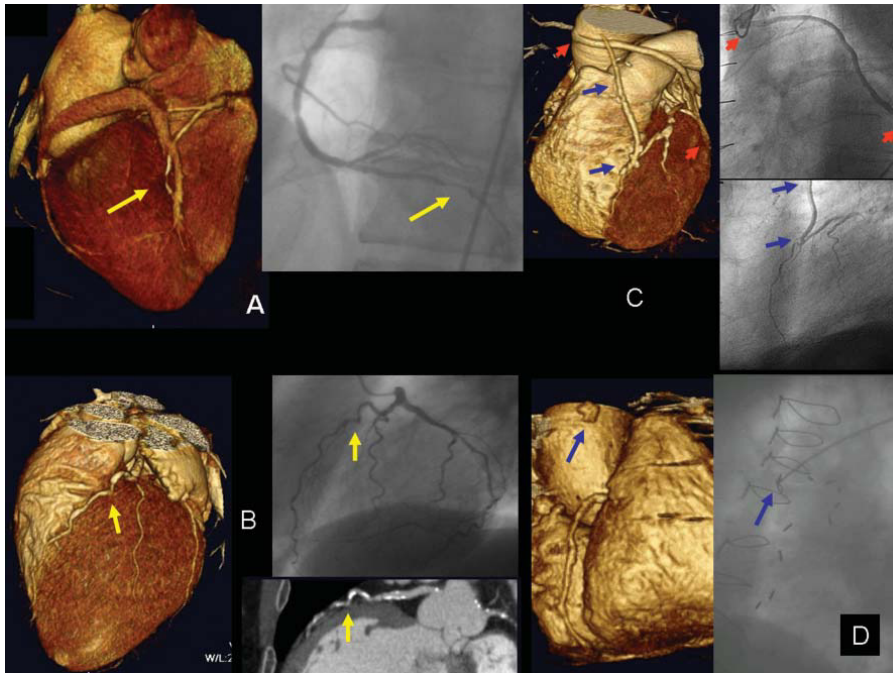


Fig. 2. Lesiones arteriales coronarias visualizadas por tomografía computarizada con detectores múltiples (TCDM) y coronariografía invasiva. A: lesión estenótica significativa en el tercio distal de la arteria descendente posterior (flecha amarilla); aun siendo un vaso de mediano tamaño, la lesión se detecta correctamente por TCDM en la reconstrucción 3D «renderizada» (izqda.), que se corresponde con la coronariografía invasiva (dcha.). B: lesión no significativa en el segmento proximal, tortuoso de la arteria descendente anterior (flecha amarilla); en la izquierda, TCDM con reconstrucción 3D «renderizada» en la que se visualiza la localización exacta de la lesión con una excelente correspondencia en la coronariografía invasiva (dcha. sup.). La TCDM añade información, no siempre evidente en la angiografía invasiva, del contenido cálcico de la arteria en esta localización (dcha. inf.). C: injertos coronarios permeables con su correspondencia en la coronariografía invasiva; injerto de arteria mamaria interna a arteria descendente anterior (flechas azules) e injerto

aortocoronario de vena safena interna a arteria obtusa marginal de circunfleja (flechas rojas). D: injerto aortocoronario de vena safena interna a arteria obtusa marginal de circunfleja, ocluido en su origen. En la imagen 3D «renderizada» de TCDM (izquierda) puede apreciarse la presencia de un muñón en la pared de la aorta ascendente (flecha azul) correspondiente a la oclusión del injerto, que no deja progresar el contraste.

cardíaco inadecuada, o por extrasistolia frecuente; artefactos de imagen derivados de la presencia de lesiones intensamente calcificadas o de dispositivos vasculares implantados; calibre muy reducido del vaso en estudio (fig. 3 A-D).

Otro aspecto que debe destacarse a partir de nuestra experiencia hace referencia a la capacidad diagnóstica limitada de la TCDM en las lesiones coronarias oclusivas. La TCDM, a diferencia de la coronariografía invasiva, es una exploración cuyo análisis no se realiza de forma dinámica, es decir, no se visualiza el relleno progresivo de contraste del árbol coronario mientras se toma las imágenes. La TCDM ofrece una «imagen final» que muestra cómo se ha distribuido el contraste en el árbol coronario. Este hecho explica la menor sensibilidad de la TCDM en las lesiones oclusivas, ya que en presencia de una lesión oclusiva con un vaso distal que se rellene retrógradamente por circulación colateral, la TCDM puede subestimar la severidad de la lesión. En nuestra experiencia, los 10 casos de lesiones oclusivas que no fueron diagnosticados como tales sí lo habían sido como de lesiones significativas. Este aspecto es una limitación si se plantea un procedimiento coronario percutáneo, ya que la infravaloración de una lesión oclusiva puede motivar el planteamiento de una angioplastia coronaria que técnicamente es dificultosa o inabordable, sobre todo en el caso de oclusiones crónicas. Por el contrario, desde el punto de vista de la revascularización coronaria quirúrgica, la capacidad de la TCDM para visua-

lizar el vaso distal a una oclusión es una ventaja, al ser la permeabilidad de dicho vaso distal uno de los condicionantes relevantes en la decisión de revascularizar un territorio coronario ocluido.

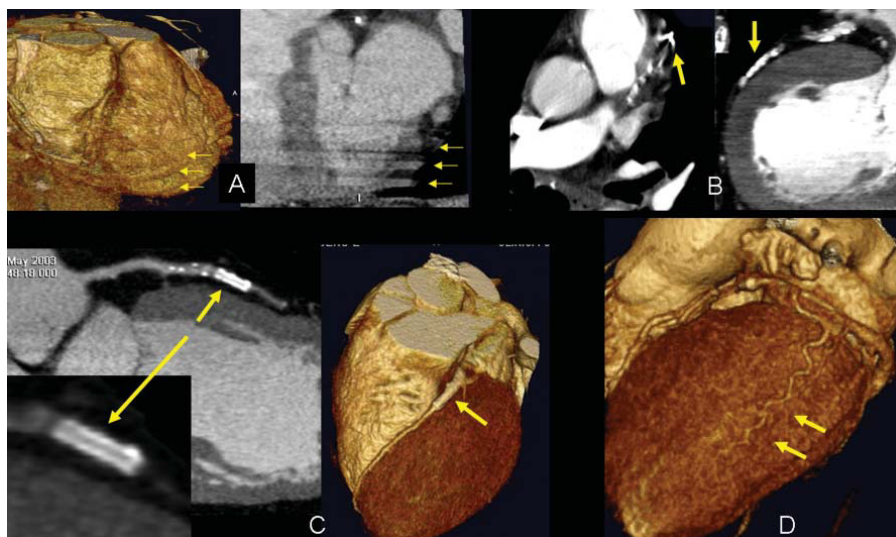
El estudio mediante TCDM se halla, por otra parte, limitado en pacientes en situación crítica, por la dificultad para practicar una apnea correcta y por el tiempo relativamente elevado que se requiere para el análisis completo del estudio, lo que puede ser inadecuado para la toma de decisiones en estos pacientes.

En el caso particular de los *stents*, si bien puede definirse su permeabilidad según se visualice o no la opacificación por contraste en el vaso distal a él (fig. 3-C), no puede determinarse todavía de forma fiable la presencia o no de estenosis intra-*stent*, al existir escasos trabajos que clarifiquen este aspecto¹⁸. Por ello, en el presente estudio se consideró como segmento no evaluable aquel con un *stent* implantado (tabla 1).

Finalmente, hay que considerar la dosis de irradiación, que en esta exploración es elevada, superior a la de una angiografía coronaria convencional¹⁹, aunque existen estrategias para optimizar el grado de irradiación en función de las necesidades del estudio²⁰.

Considerando las limitaciones descritas con anterioridad, la capacidad diagnóstica de la coronariografía no invasiva por TCDM, aunque globalmente buena, sigue siendo inferior al método invasivo de referencia, a la luz de nuestra experiencia y de la de otros grupos^{7,14}. Por ello, en el momento actual, este método de diagnóstico

Fig. 3. Limitaciones de los estudios por tomografía computarizada con detectores múltiples. A: artefacto de movimiento en una apnea incorrecta. En la reconstrucción 3D «renderizada» (izqda.) y en la proyección oblicua (dcha.) puede apreciarse el aspecto en «pila de monedas» (flechas amarillas) de los cortes inferiores debido al movimiento del diafragma. B: artefactos por clip vascular en un injerto coronario (izqda.) y marcada calcificación parietal de la arteria (dcha.) que limitan la visualización de la luz vascular. C: *stent* coronario. En la reconstrucción 3D «renderizadas» (dcha.) puede apreciarse claramente la presencia de un *stent* en el segmento proximal de la arteria descendente anterior (flecha amarilla); en la reconstrucción multiplanar (MPR) curva (izqda.) puede afirmarse la permeabilidad del *stent* al visualizarse la opacificación del vaso distal a éste, aunque no puede definirse la presencia de estenosis intra-*stent* debido a que el material del que está compuesto produce artefacto en la luz vascular, limitando su correcta visualización. D: vaso distal de pequeño tamaño. Reconstrucción 3D «renderizada» en la que puede apreciarse un arteria obtusa marginal de la circunfleja, de trayectoria tortuosa, con vaso distal de escaso tamaño sobre el que resulta difícil determinar la presencia de lesiones.



aún no puede remplazar a la coronariografía diagnóstica invasiva en los casos en los que esté clínicamente justificada. Del análisis detallado de nuestros resultados puede evidenciarse que dicha limitación diagnóstica es más patente en la evaluación de los segmentos coronarios distales (tabla 2), si bien el número de lesiones angiográficas en estos segmentos era escaso en nuestra serie. No obstante, se puede admitir que un potencial error diagnóstico en el caso de estos segmentos coronarios distales podría tener menor repercusión clínica y terapéutica.

Nuestra experiencia parece indicar que la TCDM tiene un papel destacado en el estudio de los injertos coronarios, ya sea porque éstos son vasos de mayor calibre o de menor movimiento en el ciclo cardíaco, y la buena calidad de las imágenes obtenidas²¹ (fig. 2 C y D) hace que el poder diagnóstico de la técnica sea en estos casos elevado, tanto en nuestro estudio, sobre un escaso número de injertos, como en otros²². Su carácter no invasivo y la posibilidad de realizar estudios de seguimiento confiere un valor añadido a la técnica. Debe mencionarse, no obstante, una potencial limitación en el estudio de los injertos coronarios, como es la valoración de la porción proximal de los injertos de arteria mamaria interna, ya que ésta no se halla incluida en el volumen obtenido con el protocolo utilizado en este estudio por razones de duración de la apnea requerida. No obstante, como se ha demostrado²³, la proporción de lesiones obstructivas desarrolladas en los segmentos proximales de la arteria mamaria interna es escasa en la práctica clínica.

Este estudio comparativo debe ser considerado como una experiencia inicial. No cabe duda de que los resultados son alentadores pero, probablemente, puedan ser

mejorados cuando se incluya la curva de aprendizaje inherente a cualquier técnica diagnóstica de reciente incorporación.

A pesar de estas consideraciones, creemos que, probablemente, la coronariografía no invasiva por TCDM ocupará un papel diagnóstico de primer orden en diversas situaciones: en el cribado de la enfermedad arterial coronaria significativa en pacientes de riesgo cardiovascular, pero que no se consideren candidatos para la práctica de una angiografía coronaria invasiva; en los casos que requieren un estudio coronario sistemático, como en el preoperatorio de cirugía cardíaca valvular y, finalmente, en estudios de permeabilidad de injertos coronarios.

Nuestra experiencia incrementa el conocimiento sobre el poder diagnóstico de la TCDM aplicada a la coronariografía no invasiva, con la tecnología actualmente disponible (16 detectores). Sin embargo, cabe esperar que el rápido avance tecnológico se acompañe de una mejoría diagnóstica, como queda de manifiesto si comparamos los resultados actuales con los descritos hace menos de 2 años utilizando equipos de 4 detectores^{15,24,25}. El poder diagnóstico real de la técnica probablemente esté por definir, dado el carácter dinámico de la tecnología.

CONCLUSIONES

El estudio anatómico de las lesiones coronarias por TCDM es factible y permite evaluar el 88% de los segmentos coronarios. Por comparación con la angiografía convencional, la técnica demuestra un elevado poder diagnóstico en la detección de lesiones angiográficamente significativas, especialmente en los segmen-

tos proximales y medios de los grandes troncos arteriales coronarios. Asimismo, la coronariografía con TCDM parece demostrar un elevado poder diagnóstico en la evaluación de los injertos coronarios.

Existen limitaciones de la técnica, como la obtención de imágenes adecuadas con una apnea incorrecta, la evaluación de lesiones con un elevado componente cálcico o en presencia de dispositivos coronarios implantados y, especialmente, la evaluación de segmentos coronarios distales y de lesiones oclusivas.

En conjunto, los resultados del presente estudio permiten afirmar que se dispone, por primera vez, de una técnica diagnóstica no invasiva fiable para el estudio de la anatomía arterial coronaria.

AGRADECIMIENTO

Quisiéramos expresar nuestro agradecimiento a Toshiba Medical Systems® por su apoyo tecnológico en la cesión temporal de un equipo Vitrea2® para la reconstrucción de imágenes.

También agradecemos su asesoramiento a la Dra. Nuria Jornet, del Servicio de Radiofísica del Hospital de la Santa Creu i Sant Pau de Barcelona.

BIBLIOGRAFÍA

- Ohnesorge BM, Becker CR, Flohr, Reiser MF. Multi-slice CT in cardiac imaging. 1st ed. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2002; p. 15-59.
- Ohnesorge BM, Flohr T, Becker CR, Kopp AF, Schoepf UJ, Baum U, et al. Cardiac Imaging by means of electrocardiographically gated multisection spiral CT: initial experience. *Radiology* 2000;217:564-71.
- Wayhs R, Zelinger A, Raggi P. High coronary artery calcium scores pose an extremely elevated risk for hard events. *J Am Coll Cardiol* 2002;39:225-30.
- Stanford W. The role of coronary artery calcifications in coronary artery disease. *Int J Card Imaging* 2001;17:473-4.
- Sierra-Galan LM, Hernández-López JE, Portos-Silva JM. Computerized helicoidal tomography of the coronary arteries vs coronary angiography. *Arch Inst Cardiol Mex* 2000;70:569-79.
- Gerber TC, Luzo RS, Karstaedt N, Lane GE, Morin RL, Sheedy P, et al. Current results and new developments of coronary angiography with use of contrast-enhanced computed tomography of the heart. *Mayo Clin Proc* 2002;77:55-71.
- Ropers D, Baum U, Pohle J, Anders K, Ulzheimer S, Ohnesorge B, et al. Detection of coronary artery stenoses with thin-slices multi-detector row spiral computed tomography and multiplanar reconstruction. *Circulation* 2003;107:664-6.
- Scanlon PJ, Faxon DP, Audet AM, Carabello B, Dehmer GJ, Eagle KA, et al. ACC/AHA guidelines for coronary angiography. *J Am Coll Cardiol* 1999;33:1756-824.
- Pons-Lladó G, Carreras F, Borrás X, Subirana M, Jiménez-Borreguero LJ. Atlas of practical cardiac applications of MRI. 1st ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1999; p. 73-7.
- Achenbach S, Ropers D, Regenfus M, Pohle K, Giesler T, Moshage W, et al. Noninvasive coronary angiography by magnetic resonance imaging, electron-beam computed tomography, and multislice computed tomography. *Am J Cardiol* 2001;88(2-A):E70-3.
- Lamont DH, Budoff MJ, Shavelle DM, Shavelle R, Brundage BH, Hagar JM. Coronary calcium scanning adds incremental value to patients with positive stress tests. *Am Heart J* 2002;143:861-7.
- Park R, Detrano R, Xiang M, Fu P, Ibrahim Y, LaBree L, et al. Combined use of computed tomography coronary calcium scores and C-Reactive Protein levels in predicting cardiovascular events in nondiabetic individuals. *Circulation* 2002;106:2073-7.
- Heuschmid H, Kuttner A, Flohr T, Wildberger JE, Lell M, Kopp SS, et al. Visualization of coronary arteries in CT as assessed by a new 16 slice technology and reduced gantry rotation time: first experiences. *Rofo Fortschr Geb Rontgenstr Neuen Bildgeb Verfahr* 2002;174:721-4.
- Nieman K, Cademartiri F, Lemos PA, Raaijmakers R, Pattynama P, Feyter P. Reliable noninvasive coronary angiography with fast submillimeter multislice spiral computed tomography. *Circulation* 2002;107:2051-4.
- Nieman K, Rensing BJ, Van Geuns RJM, Munne A, Ligthart J, Pattynama P, et al. Usefulness of multislice computed tomography for detecting obstructive coronary artery disease. *Am J Cardiol* 2002;89:913-8.
- Schroeder S, Kopp AF, Baumbach A, Meisner C, Kuettner A, Geor C, et al. Noninvasive detection and evaluation of atherosclerotic coronary plaques with multislice computed tomography. *J Am Coll Cardiol* 2001;37:1430-5.
- Rumberger JA. Noninvasive coronary angiography using computed tomography. *Circulation* 2002;106:2036-8.
- Storto ML, Marano R, Maddestra N, Caputo M, Zimarino M, Bonomo L. Images in cardiovascular medicine. Multislice spiral computed tomography for in-stent restenosis [abstract]. *Circulation* 2002;105:2005.
- Hunold P, Vogt FM, Schmermund A, Debatin JF, Kerkhoff G, Budde T, et al. Radiation exposure during cardiac CT: effective doses at multi-detector row CT and electron-beam CT. *Radiology* 2003;226:145-52.
- Morin RL, Gerber TC, McCollough C. Radiation dose in computed tomography of the heart. *Circulation* 2003;107:917-22.
- Estornell J, Cervera V, Hornero F. Valoración de los injertos coronarios con TC multicorte. *Rev Esp Cardiol* 2003;56:621-2.
- Ropers D, Ulzheimer S, Wenkel E, Baum U, Giesler T, Derlien H, et al. Investigation of aortocoronary artery bypass grafts by multislice spiral computed tomography with electrocardiographic-gated image reconstruction. *Am J Cardiol* 2001;88:792-5.
- Gruberg L, Dangas G, Mehran R, Hong MK, Waksman R, Mintz GS, et al. Percutaneous revascularization of the internal mammary artery graft: short- and long-term outcomes. *J Am Coll Cardiol* 2000;35:944-8.
- Achenbach S, Giesler T, Ropers D, Ulzheimer S, Derlien H, Schulte C, et al. Detection of coronary artery stenoses by contrast-enhanced, retrospectively electrocardiographically-gated, multislice spiral computed tomography. *Circulation* 2001;103: 2535-8.
- Vogl TJ, Abolmaali ND, Diebold T, Engelmann K, Ay M, Dogan S, et al. Techniques for the detection of coronary atherosclerosis: multi-detector row CT coronary angiography. *Radiology* 2002; 223:212-20.