



CARDIOLOGÍA DEL ADULTO - REVISIÓN DE TEMAS

Tomografía computarizada con multidetectores en el diagnóstico de la estenosis coronaria

Computed tomography with multidetectors in the diagnosis of coronary stenosis

Bernardo Lombo, MD.; Carlos A. Carvajal, MD.; Mónica Tafur, MD.; Rafael Gómez, MD.

Bogotá, DC., Colombia.

La angiografía coronaria que emplea tomografía multidetector, es una técnica no invasiva para la detección de estenosis coronaria, que ha tenido avances tecnológicos significativos en los últimos años. La introducción de tomógrafos de 16 y 64 detectores, la posibilidad de poder sincronizar la toma de imágenes con el electrocardiograma y las técnicas de reconstrucción permiten una mejor resolución temporal y espacial que logra la identificación de placas ateromatosas y lesiones obstructivas significativas a nivel de las arterias coronarias. En los próximos años continuará su maduración y se convertirá en una herramienta útil como técnica no invasiva para el diagnóstico de la enfermedad coronaria y se integrará de forma definitiva a los protocolos de manejo. La siguiente revisión se enfocará en los aspectos básicos de la tomografía, su técnica, su desempeño diagnóstico y sus aplicaciones clínicas.

PALABRAS CLAVE: tomografía multidetector, enfermedad coronaria, diagnóstico.

Coronary angiography that uses multislice spiral computed tomography is a noninvasive technique for the detection of coronary stenosis that has had significant improvements in recent years. The introduction of 16 and 64 row scanners, the development of synchronized scanning electrocardiogram and better reconstruction techniques permit higher spatial and temporal resolution that allows better identification of coronary plaques and significant obstructive coronary lesions. In the next years Multislice spiral computed tomography will continue maturing and it will become a useful non invasive diagnostic imaging tool for the diagnosis of coronary disease and will be integrated to the cardiologic management protocols. Our next review will be focused on the basic and technical aspects of the scanner, diagnostic performance and clinical applications of this new technology.

KEY WORDS: multidetector tomography, coronary disease, diagnosis.

(Rev Colomb Cardiol 2007; 14: 291-298)

Introducción

Pese a que la angiografía coronaria tiene años de empleo, aún es el «patrón de oro» en el estudio de las arterias coronarias, y su principal ventaja radica en que permite la intervención directa de las lesiones. Sin embar-

go, en el 2001, en Estados Unidos se realizaron aproximadamente 1,73 millones de angiografías coronarias sólo diagnósticas, de las cuales el 90% se realizaron de forma electiva (1). En la actualidad sólo un tercio de las coronariografías se acompaña de un procedimiento de angioplastia, por lo cual es claro que se requiere una técnica de imagen no invasiva para el diagnóstico temprano de la enfermedad coronaria (2).

Otro aspecto a tener en cuenta es que a pesar de los avances que ha tenido la angiografía coronaria, es una estrategia invasiva y por ello puede ocasionar complicaciones, aunque la frecuencia de éstas sea tan

Fundación Santa Fe de Bogotá, Bogotá DC., Colombia.

Correspondencia: Bernardo Lombo Liévano, MD., Av. 116 No. 38-69 apto 103, Teléfono: 2144197, correo electrónico: berlombo@yahoo.com.

Recibido: 20/02/07. Aprobado: 25/07/07.

baja como del 1% (3, 4). Stein reportó una mortalidad de 0,1% relacionada con el procedimiento, la cual puede variar de 0,29% a 0,55% en poblaciones de alto riesgo (1).

Cada año se realizan millones de angiografías coronarias en el mundo entero, las cuales se complementan con técnicas de medición como la cuantificación angiográfica computarizada y otras técnicas invasivas como el ultrasonido intravascular, la medición de reserva de flujo fraccional, entre otras.

Ahora se desarrollan nuevas técnicas de diagnóstico por imágenes con el fin de reducir los riesgos de los pacientes que son sometidos a procedimientos mínimamente invasivos.

Técnicas de imágenes

Dentro de las técnicas probadas se encuentran la ecografía transtorácica, la transesofágica y la resonancia magnética. No obstante, debido a las limitaciones espaciales, temporales o de resolución, ninguna de éstas ha permitido una detección confiable de estenosis y oclusiones coronarias.

La tomografía por haz de electrones permite el estudio de las arterias coronarias pero sólo admite la evaluación de los segmentos arteriales proximales (5, 6). La principal aplicación de este método fue la cuantificación de calcio (7, 8).

La angiografía coronaria que emplea resonancia nuclear magnética, tiene como ventaja esencial que no requiere de exposición a rayos X o medios de contraste yodados, lo cual la hace muy atractiva, pero su baja resolución en la actualidad no permite su aplicación clínica (9, 10).

La tomografía computarizada constituye una técnica de alta resolución espacial y temporal. Además, con ésta es posible obtener imágenes sincronizadas con el ciclo cardíaco, utilizando el electrocardiograma, lo cual le da una gran ventaja en imaginología cardíaca (6).

En años pasados la tomografía de cuatro cortes se utilizó como una alternativa en imágenes cardíacas; pese a ello, debido a limitaciones espaciales y temporales, y al movimiento del corazón, no se alcanzó una óptima visualización de los vasos coronarios. Con el avance de la tomografía multicorte estas limitaciones han ido disminuyendo, mejorando la confiabilidad y validez de

la tomografía en la detección de estenosis coronaria significativa (reducción de la luz en más del 50%) (11).

El avance reciente en el campo de la tomografía computarizada multicorte con 64 cortes por rotación y un tiempo de rotación de 330 milisegundos además del avance en la mejoría de la resolución espacial y temporal, posicionarán a la tomografía computarizada en un nuevo campo de aplicaciones clínicas, como la evaluación del árbol coronario y el estudio avanzado de las enfermedades cardiovasculares (2).

Conceptos básicos

Un estudio con tomografía computarizada consiste en un tubo de rayos X y una fila de detectores que rotan alrededor de un paciente que es ubicado en el centro. El tubo emite un haz de rayos X el cual pasa a través del paciente y golpea contra el detector ubicado en el otro lado del paciente. La densidad atómica del tejido con el que se encuentra el haz de rayos X determina su atenuación; a mayor densidad atómica del tejido mayor atenuación. La atenuación del haz de rayos X se expresa como un valor absoluto medido en unidades Hounsfield. La rotación del tubo permite calcular la atenuación en cada punto distinto del corte, lo cual permite construir imágenes corporales de corte transversal (12).

Las primeras generaciones de tomógrafos eran secuenciales; la mesa donde permanecía el paciente se movía y se adquirían imágenes axiales una tras otra. Se consumía mucho tiempo y las imágenes eran muy sensibles al movimiento, y por esta razón esta técnica no era adecuada para las imágenes cardíacas.

La tomografía helicoidal reduce de forma significativa el tiempo en el que se realiza el estudio ya que el paciente se mueve a una velocidad constante a través del tomógrafo; la trayectoria del haz de rayos X que rota alrededor del paciente se puede describir en forma de espiral o helicoidal. Estos equipos fueron capaces de adquirir información tanto para reconstrucciones volumétricas como para cortes axiales de cualquier región anatómica, pero eran muy lentos para lograr imágenes en el corazón (12).

Técnica multicorte

La tomografía multicorte helicoidal es un desarrollo reciente en el que los equipos de tomografía están equipados con múltiples hileras de detectores y tienen

una velocidad mucho más rápida de rotación del tubo de rayos X.

Se ha desarrollado un estricto algoritmo para obtener imágenes isocardiográficas del corazón en una ventana temporal, lo cual hace posible obtener imágenes de un órgano en movimiento, en este caso un corazón que late (2).

Las nuevas generaciones de tomógrafos multicorte de 16 y 64 cortes, con una velocidad de rotación de 330 ms y cortes individuales de 0,6 mm, permiten obtener imágenes diagnósticas que podrían competir en la evaluación de la enfermedad coronaria cuando se compara con la información obtenida a partir de las pruebas invasivas diagnósticas como la angiografía, la cual se emplea en el contexto clínico actual.

La técnica escanográfica se puede dividir en: preparación de los pacientes, técnicas de adquisición de la información y post-proceso.

Preparación del paciente

La frecuencia cardíaca óptima del paciente debe ser de 70 latidos por minuto para equipos de 64 detectores y de 60 latidos por minuto para equipos de 16 detectores (espontánea o inducida con betabloqueadores). Se requiere sostener la respiración por 10 a 18 segundos en posición supina. Estas medidas ayudan a reducir los artefactos de movimiento ocasionados por la respiración y los latidos cardíacos. No son candidatos para este estudio escanográfico los pacientes con falla respiratoria, con alergias a los medios de contraste yodados o con falla renal. El ritmo cardíaco irregular (latidos prematuros o bradiarritmias) se puede manejar cuando se logra realizar la edición del registro electrocardiográfico (2).

Adquisición de la información

En promedio se suministra un bolo de 80 a 100 mL de material de contraste yodado (350-450 mg/mL) administrados a 4-5 mL/seg, inmediatamente seguido por 40 mL de solución salina (a la misma velocidad), con lo que se obtiene una adecuada visualización arterial (13). Se recomienda la técnica de seguimiento del bolo para la angiografía coronaria por tomografía multi-corte (2).

Los parámetros para el estudio escanográfico para 64 cortes son:

- Número de cortes por rotación: 64.
- Anchura del detector individual: 0,6 mm.

- Tiempo de rotación: 330 ms.

- Resolución efectiva temporal: 165 ms (con algoritmo de reconstrucción por segmento simple).

- kV: 120.

- mAs: 600-700.

- Estudio escanográfico en dirección cráneo-caudal.

- Tiempo de estudio: 10 a 12 segundos.

Reconstrucción de imágenes y post-proceso

El operador debe identificar la posición del ciclo cardíaco en el cual las arterias coronarias se mueven menos y elegir el sitio que proporcione los mejores datos. La fase del ciclo cardíaco con menos movimiento residual usualmente es el final de la diástole (ventana temporal localizada -400 ms antes de la próxima onda R o al 60% del intervalo R-R) cuando el corazón se encuentra en el llenado isovolumétrico. En varios casos la fase de final de sístole puede proveer información relevante ya que al final de la contracción miocárdica el movimiento de las arterias coronarias también se reduce. En la actualidad se emplean varias estrategias sistematizadas para lograr el análisis de la información; éstas son: MIP (proyección de máxima intensidad), MPR (reconstrucción multiplanar), cMPR (reconstrucción multiplanar curva) y restitución volumétrica. Con estas herramientas se obtiene una imagen tridimensional diagnóstica de todo el segmento adquirido (2). Para su evaluación, las arterias coronarias se dividen en segmentos de acuerdo con las guías de la *American Heart Association/American College of Cardiology* (14). Las lesiones se consideran significativas cuando existe una reducción de la luz mayor o igual al 50% (3, 15). Se puede calcular el puntaje de calcio coronario y la función ventricular a cada paciente con el programa de computador adecuado. Sin embargo, se debe tener en cuenta que los grandes depósitos de calcio en la pared coronaria, pueden ocasionar artefactos y dificultad en el momento de evaluar las lesiones a nivel coronario.

Resultados actuales

La tomografía multicorte se empleó como técnica no invasiva para la detección de estenosis coronaria desde la introducción de los escanógrafos de cuatro cortes, pero los artefactos de movimiento, la baja resolución espacial y los prolongados tiempos de adquisición limitaron el empleo de esta generación. El 32% de los

estudios eran insuficientes para su evaluación y sólo el 30% de los pacientes lograba obtener un examen completo (16).

Con la introducción de los escanógrafos de 16 cortes, sólo se excluía una pequeña cantidad de segmentos para análisis. Nieman y colaboradores (17) demostraron una sensibilidad de 95% y una especificidad de 86% en la detección de estenosis coronaria significativa en comparación con la angiografía coronaria convencional. Martuscelli y colaboradores (18) excluyeron sólo tres pacientes de 64 estudiados, y alcanzaron el 84% de los segmentos evaluados con una sensibilidad de 89% y una especificidad de 98%. Mollet y colaboradores (19) muestran un mejor rendimiento diagnóstico de la tomografía multidetector para la identificación de lesiones significativas con especificidad de 95%, valor predictivo positivo de 79% y valor predictivo negativo de 99%. En todos estos estudios, la tomografía multicorte demuestra ser una buena candidata para el estudio de pacientes con riesgo para enfermedad coronaria (2).

En la actualidad se conocen gran cantidad de estudios que determinan la sensibilidad y la especificidad de la tomografía multidetector en comparación con la angiografía convencional para identificar estenosis coronaria mayor al 50% (Tabla 1).

Tabla 1.
SENSIBILIDAD Y ESPECIFICIDAD DE LA TOMOGRAFÍA
MULTIDETECTOR EN COMPARACIÓN CON LA ANGIOGRAFÍA
CONVENCIONAL PARA IDENTIFICAR ESTENOSIS CORONARIA
MAYOR AL 50%.

Autor	Número de detectores	Pacientes	Sensibilidad	Especificidad
Gaudio (36)	4	61	77%	91%
Becker (37)	4	28	81%	90%
Hoffmann MHK (38)	16	102	95%	98%
Martuscelli O4 (39)	16	64	89%	98%
Kuettner (40)	16	60	82%	98%
Ropers (41)	16	77	92%	93%
Mollet O5 (42)	16	51	95%	98%
Mollet O4 (43)	16	127	92%	95%
Candemartiri (44)	16	40	96%	96%
Leschka (45)	64	67	94%	97%
Ropers (46)	64	82	95%	93%
Leber (47)	64	52	99%	95%
Fine (48)	64	66	95%	96%

Al comparar tomógrafos con diferente número de detectores, Stein y colaboradores encontraron que la sensibilidad promedio en la detección de estenosis coronarias significativas, tomando a la angiografía coronaria como patrón de oro, aumentó con el número de detectores (95% con cuatro y 16, y 100% con 64

cortes). La especificidad promedio también mejoró a mayor número de detectores (84% con cuatro y 16, y 100% con 64 cortes). También se ha demostrado que con más detectores, pueden evaluarse más segmentos (78%, 91% y 100% con tomógrafos de cuatro, 16 y 64 cortes respectivamente). Independientemente del número de detectores, se observó mayor sensibilidad en la detección de estenosis en los segmentos proximales e intermedios, que en los distales (1).

Aplicaciones clínicas

La mayoría de estudios diagnósticos en cardiología se basan en lograr acceso a la función regional y global cardiaca; sin embargo, sólo la angiografía coronaria describe la anatomía coronaria. Aunque la tomografía cardiaca se emplea hace unos años en el contexto clínico, no existían guías clínicas oficiales. Recientemente la Sociedad Americana del Corazón publicó consensos clínicos y posiciones oficiales de este organismo acerca de la forma como se debe emplear y en qué situaciones clínicas específicas se puede utilizar esta nueva tecnología (20, 21).

La tomografía sin medio de contraste es muy sensible en la detección y cuantificación de calcificaciones coronarias, mientras que el medio de contraste ayuda en la diferenciación entre la placa calcificada y la no calcificada, y en la evaluación de la estenosis (22, 23).

Algunas potenciales aplicaciones clínicas constituyen aquellos pacientes con un resultado limítrofe dudoso en el eco-estrés, estudio de perfusión miocárdica por medicina nuclear o prueba de esfuerzo convencional o que presenten contraindicaciones para realizar estas pruebas (bloqueo de rama izquierda, estenosis severa de la válvula aórtica, incapacidad para caminar), todas éstas constituyen situaciones ideales en las que se puede emplear la tomografía multicorte (2).

Se ha documentado la disminución de la sensibilidad para la identificación de la enfermedad coronaria de diversos estudios cuando se realizan bajo condiciones de estrés (24). Lo anterior resultó en un gran número de falsos positivos, que son llevados a angiografías, cuyos resultados son normales (2).

Debido a la alta sensibilidad para detectar estenosis significativas, la tomografía multicorte tiene gran potencial para ser empleada previo al cateterismo cardiaco (25), ya que de esta forma se minimiza el número de angiografías puramente diagnósticas. Puede emplearse

para descartar lesiones significativas y enfermedad coronaria en pacientes referidos a cirugía valvular cardiaca o en aquellos con cardiomiopatía dilatada para diferenciar entre etiología isquémica vs. no isquémica.

De esta forma, una tomografía multicorte del árbol coronario reportada como «normal», permite al clínico descartar la presencia de estenosis coronarias hemodinámicamente relevantes, con un alto grado de confiabilidad (20). En el contexto clínico el alto valor predictivo negativo puede ser útil para obviar la necesidad de angiografía coronaria invasiva en pacientes que por sus síntomas o por los resultados anormales en pruebas de estrés, hacen obligatorio descartar la presencia de estenosis coronaria, en especial cuando por su género, edad y antecedentes caen dentro de un riesgo intermedio para la presencia de lesiones significativas desde el punto de vista hemodinámico (20).

La posición de la Sociedad Americana del Corazón concluye que la angiografía coronaria con tomografía multidetector, es una estrategia adecuada y razonable para descartar enfermedad obstructiva en pacientes sintomáticos (recomendación clase IIa, nivel de evidencia B) (20) (Figura 1).

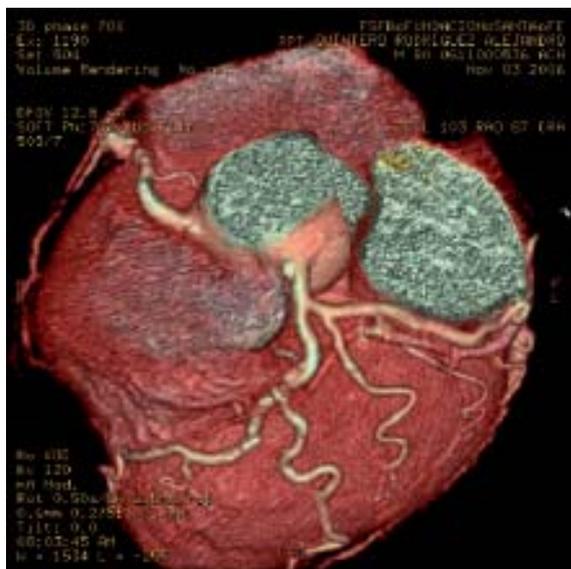


Figura 1a. Reconstrucción tridimensional de tomografía cardiaca con técnica multidetector, vista superior. Se observa estenosis (flecha) en el tercio medio de la arteria descendente anterior (DA), anterior a la salida de la primera diagonal (PD). También se observan placas de ateromatosis en la descendente anterior, después de la primera diagonal, y en el tercio proximal de la primera diagonal (cabezas de flecha). Existe oclusión (flecha hueca) de la coronaria derecha (CD) (C, circunfleja).

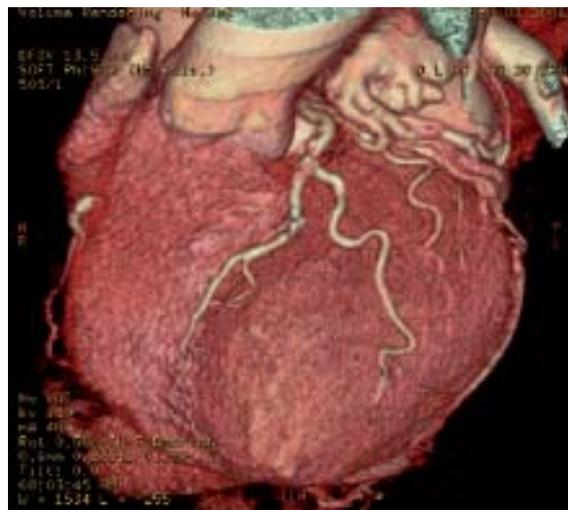


Figura 1b. Imagen del mismo paciente que aparece en A. Se visualiza con mayor claridad la oclusión (flecha) del tercio medio de la arteria descendente anterior (DA) posterior a la emergencia de la primera diagonal (PD).



Figura 1c. Imagen del mismo paciente que aparece en A y en B. Reconstrucción con MIP (proyección de máxima intensidad). Se visualiza la estenosis de la arteria descendente anterior (DA) proximal a la salida de la primera diagonal (PD) y la estenosis posterior a la emergencia de la misma (flechas). Se observan placas en la descendente anterior y el tercio proximal de la primera diagonal (cabezas de flecha).

Con relación a estenosis menores, la tomografía permite visualizar la pared vascular, la composición y el tamaño de la placa aterosclerótica, así como los cambios en la arquitectura vascular asociados, incluso antes de que se produzca una estenosis significativa. Muchos de los síndromes coronarios comienzan con la ruptura de placas tempranas que aún no han producido estenosis.

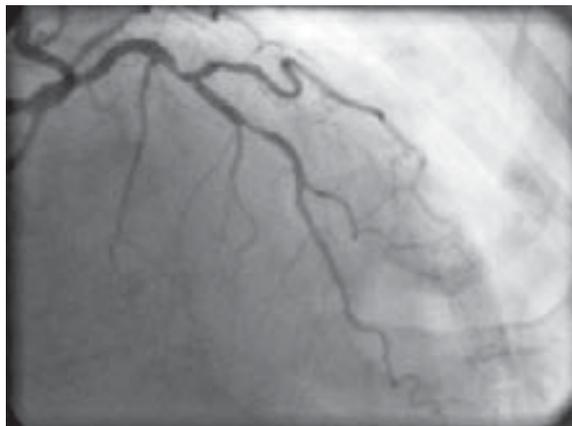


Figura 1d. Arteriografía coronaria del mismo paciente que aparece en A, B y C, que demuestra los hallazgos descritos anteriormente (OM, obtusa marginal; PD, primera diagonal; DA, descendente anterior; flechas, estenosis en la descendente anterior; cabeza de flecha, estenosis del tercio proximal de la primera diagonal).

Por otro lado, la tomografía permite valorar el efecto de la modificación de factores de riesgo para enfermedad coronaria. Estos cambios se reflejan en la remodelación vascular y composición de la placa y no en las dimensiones de la luz vascular (22, 23).

La tomografía es útil en el seguimiento posterior de pacientes sometidos a cirugía de revascularización miocárdica, implante de *stents* y ablación para fibrilación auricular. En el caso de pacientes llevados a revascularización percutánea e implante de *stents*, la permeabilidad u oclusión de los *stents* puede establecerse por la presencia o ausencia de realce con el medio de contraste. El estudio de los *stents* coronarios ha mejorado con la tomografía multicorte. La resolución espacial de la última generación de escanógrafos, permite acceder a los *stents* (Figura 2) y evaluar la re-estenosis. El tomógrafo de 16 cortes permite alcanzar una sensibilidad de 78% y una especificidad de 100% en la identificación y evaluación del *stent*, además de una sensibilidad del 75% y una especificidad del 96% para evaluar hiperplasia intimal (26). Sin embargo, la habilidad de visualizar la re-estenosis dentro de los *stents*, depende de su material y diseño, y del tipo de tomógrafo. En el futuro se espera que una combinación entre el tipo de *stent* empleado y la tecnología del tomógrafo, hagan de esta técnica la ideal para el seguimiento de estos pacientes.

En cuanto al seguimiento de pacientes que fueron llevados a cirugía de revascularización cardiaca, varios estudios reportan la exactitud diagnóstica de la tomografía multicorte para evaluar puentes arteriales por revascula-

rización quirúrgica. Schlosser reportó en una población de 51 pacientes (131 puentes coronarios evaluados), sensibilidad del 96%, especificidad del 95%, valor predictivo positivo de 81% y valor predictivo negativo del 99%, lo cual demuestra que la tomografía de 16 multidetectores es útil para el estudio de los puentes coronarios (27). Otro estudio con 52 pacientes en el que se usó tomografía cardiaca multidetector con 16 detectores, demostró la capacidad para evaluar los puentes coronarios en 99,4% con sensibilidad y especificidad del 100% para detectar oclusión y sensibilidad del 96%, y especificidad del 100% para detectar estenosis hemodinámicamente significativas en los puentes coronarios (28).



Figura 2. Reconstrucción tridimensional de tomografía cardiaca con técnica multicorte de 64 en donde se observa adecuada permeabilidad del *stent* (flecha negra) localizado en la porción proximal de la arteria coronaria derecha (CD) en todo su trayecto, lo cual se observa tanto en las imágenes longitudinales (cabezas de flecha blancas) como en las axiales (flecha blanca). También se observa otro *stent* (cabeza de flecha negra) ubicado en la arteria descendente anterior (DA). (P: arteria pulmonar; A; aorta). Department of Diagnostic Imaging, Yale New Haven Hospital.

En la ablación por fibrilación auricular se puede emplear en el análisis de las venas pulmonares para la planeación no invasiva de su tratamiento, la planeación del tratamiento ablativo y el seguimiento de pacientes con ablación circunferencial de las venas pulmonares con catéter de ablación para fibrilación auricular (29) (Figura 3).

Los pacientes con obstrucción coronaria crónica total, se pueden beneficiar de la tomografía multicorte, en comparación con la angiografía; la tomografía puede suministrar información que puede predecir el resultado de la revascularización percutánea y se puede evidenciar la morfología actual de la trayectoria de la oclusión de

la lesión, su extensión y la cantidad de calcio en su interior (30).

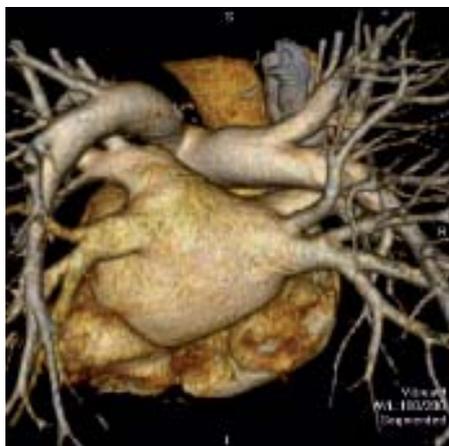


Figura 3. Reconstrucción tridimensional de las arterias pulmonares, venas pulmonares y aurícula izquierda con tomografía cardíaca con técnica de 64 cortes en un paciente con tratamiento ablativo para fibrilación ventricular no exitoso, en el que se visualiza una vena pulmonar accesoria (flecha) que llega a la aurícula izquierda (AI) entre las venas pulmonares derechas (VP). (PI: arteria pulmonar izquierda; PD: arteria pulmonar derecha). Department of Diagnostic Imaging. Yale New Haven Hospital.

La presencia de arterias coronarias anómalas puede ser parte del diagnóstico diferencial en el paciente con sospecha de enfermedad coronaria, dolor en tórax o síncope. Las reconstrucciones tridimensionales, la alta resolución y permitir el análisis de pequeños detalles hace que la tomografía cardíaca multidetector sea la primera elección dentro de las imágenes diagnósticas cuando se quiere descartar la presencia de esta patología (Recomendación clase IIa, nivel de evidencia C) (20).

Otra de las aplicaciones de la tomografía multicorte, es la evaluación de la placa aterosclerótica, según el grado de atenuación. Lo anterior permite clasificarlas como calcificadas, no calcificadas o mixtas, y ha tenido importantes repercusiones en la estratificación del riesgo cardiovascular (2, 31-34).

Con el empleo de la tomografía multidetector, se puede obtener una evaluación y cuantificación del calcio coronario. La calcificación de las arterias coronarias hace parte del desarrollo de la aterosclerosis, ocurre exclusivamente en arterias ateroscleróticas y está ausente en arterias normales. La evidencia actual sugiere que la cuantificación del calcio coronario predice la presencia de enfermedad cardiovascular muerte o infarto del miocardio a 3 y 5 años, independientemente de los factores de riesgo tradicionales, y desempeña un papel importante en la estratificación de riesgo de los pacientes

asintomáticos. La Sociedad Americana del Corazón recomienda que en los pacientes asintomáticos con riesgo intermedio para eventos coronarios agudos (10% a 20% a 10 años), es razonable y útil el empleo de la cuantificación del calcio coronario ya que esto puede incrementar su nivel de riesgo de acuerdo con el resultado de la cuantificación, reclasificándolos en un estado de mayor riesgo con el consecuente cambio de manejo (21).

Dentro de las limitaciones de la tomografía está la exposición a los rayos X. Esta técnica está contraindicada en pacientes embarazadas. La exposición a la radiación durante una tomografía multidetector, generalmente oscila entre 7,1 y 10,9 mSv comparado con 2 a 6 mSv en la angiografía convencional. Adelantos tecnológicos como la modulación del tubo programándolo para que dispare el haz de rayos X sólo en diástole, pueden reducir la exposición de radiación a 4,9 mSv. De acuerdo con la Comisión Internacional para la Protección contra la Radiación, la dosis máxima de radiación efectiva para trabajadores no debe superar los 50 mSv anuales o 100 mSv en 5 años (35).

En cuanto a los costos, Stein, con base en cifras obtenidas a partir de tarifas empleadas en hospitales comunitarios en Estados Unidos, afirma que un cateterismo tiene un costo de \$6.600 dólares americanos frente a \$1.000 que cuesta la tomografía multidetector, lo que representaría un ahorro a nivel nacional de \$9,7 billones de dólares, teniendo en cuenta que se realizan 1,73 millones de angiografías puramente diagnósticas por año (1).

Hoy en día, la tomografía multicorte es una técnica que crece cada vez más y sus aplicaciones se extienden en el campo cardiovascular. Futuros desarrollos técnicos están cerca y con esto se mejorará la resolución espacial y temporal, permitiendo que una mayor cantidad de pacientes se beneficien de esta técnica y aumente el número de aplicaciones.

Agradecimientos

A Anne McB. Curtis, MD., Professor of Diagnostic Radiology, Director of Faculty Affairs; Chief of Thoracic Radiology, Yale University.

A Catherine Camputaro, Program Coordinator 3D Imaging, Department of Diagnostic Radiology, Yale University.

Bibliografía

1. Stein PD, Beemath A, Kayali F, Skaf E, Sanchez J, Olson RE. Multidetector computed tomography for the diagnosis of coronary artery disease: a systematic review. *Am J Med* 2006; 119 (3): 203-216.
2. Cademartiri F, Malagutti P, Belagrano M, Runza G. Slice computed tomography coronary angiography. Joint Interventional Meeting: JIM 2007 February 15-17, 2006- Rome, Italy; 2006.
3. Nieman K, Oudkerk M, Rensing BJ. Coronary angiography with multi-slice computed tomography. *Lancet* 2001; 357: 599-603.
4. Knez A, Becker CR, Leber A, et al. Usefulness of multislice spiral computed tomography angiography for determination of coronary artery stenoses. *Am J Cardiol* 2001; 88 (10): 1191-1194.
5. Achenbach S. MWRD. Coronary angiography by electron beam tomography. *Herz* 1996; 21: 106-117.
6. Achenbach S. MWRD. Value of electron-beam computed tomography for the noninvasive detection of high-grade coronary-artery stenoses and occlusions. *N Engl J Med* 1998; 339: 1964-1971.
7. Brown BJ, Morse J, Zhao XJ, Cheung M, Marino E, Albers JJ. Electron beam tomography coronary calcium scores are superior to Framingham risk variables for predicting the measured proximal stenosis burden. *Am J Cardiol* 2001; 88: 23-26.
8. Enzweiler CN, Becker CR, Felix R. Diagnostic value of electron beam computed tomography. *Cardiac applications. Rofo* 2004; 176: 27-36.
9. Bunce NH, Pennell DJ. Coronary MRA a clinical experience in Europe. *J Magn Reson Imaging* 1999; 10: 721-727.
10. Kessler W, Achenbach S, Moshage W. Usefulness of respiratory gated magnetic resonance coronary angiography in assessing narrowings «50% in diameter in native coronary arteries and in aortocoronary bypass conduits. *Am J Cardiol* 1997; 80: 989-993.
11. Maruyama T. YTTR. Comparison of visibility and diagnostic capability of noninvasive coronary angiography by eight-slice multidetector-row computed tomography versus conventional coronary angiography. *Am J Cardiol* 2004; 93: 537-542.
12. Mollet NR, Cademartiri F, de Feyter PJ. Non-invasive multislice CT coronary imaging. *Heart* 2005; 91 (3): 401-407.
13. Cademartiri F, Mollet N, Van der Lugt. Non Invasive 16 row multislice CT coronary angiography: usefulness of saline chaser. *Eur Radiol* 2004; 14: 178-183.
14. American Heart Association. A reporting system on patients evaluated for coronary artery disease. Report of the AD Hoc Committee for grading of Coronary Artery Disease, Council on Cardiovascular surgery. *Circulation* 1975; 51: 5-40.
15. Ropers D, Baum U, Pohle K. Detection of coronary artery stenoses with thin slice multi detector row spiral computed tomography and multiplanar reconstruction. *Circulation* 2003; 107: 664-667.
16. Achenbach S, Giesler T, Ropers D. Detection of coronary artery stenoses by contrast enhanced, retrospectively electrocardiographically gated multislice spiral computed tomography. *Circulation* 2001; 103: 2535-2538.
17. Nieman K, Cademartiri F, Lemos PA. Reliable noninvasive coronary angiography with fast submillimeter multislice spiral computed tomography. *Circulation* 2002; 106: 2051-2054.
18. Martuscelli E, Romagnoli A, D'Eliseo A. Accuracy of thin slice computed tomography in the detection of coronary stenoses. *Eur Heart J* 2004; 25: 1043-1048.
19. Mollet NR, Cademartiri F, Nieman K. Multislice spiral computed tomography coronary angiography in patients with stable angina pectoris. *J Am Coll Cardiol* 2004; 43: 2265-2270.
20. Budoff MJ, Achenbach S, Blumenthal RS 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 (16): 1761-1791.
21. Greenland P, Bonow RO, Brundage BH et al. ACCF/AHA 2007 clinical expert consensus document on coronary artery calcium scoring by computed tomography in global cardiovascular risk assessment and in evaluation of patients with chest pain: a report of the American College of Cardiology Foundation Clinical Expert Consensus Task Force (ACCF/AHA Writing Committee to Update the 2000 Expert Consensus Document on Electron Beam Computed Tomography) developed in collaboration with the Society of Atherosclerosis Imaging and Prevention and the Society of Cardiovascular Computed Tomography. *J Am Coll Cardiol* 2007; 49 (3): 378-402.
22. Schoenhagen P, Tuzcu EM, Stillman AE et al. Non-invasive assessment of plaque morphology and remodeling in mildly stenotic coronary segments: comparison of 16-slice computed tomography and intravascular ultrasound. *Coron Artery Dis* 2003; 14 (6): 459-462.
23. Schoenhagen P, Halliburton SS, Stillman AE et al. Noninvasive imaging of coronary arteries: current and future role of multi-detector row CT. *Radiology* 2004; 232 (1): 7-17.
24. Ashley EA, Myers J, Froelisher V. Exercise testing in clinical medicine. *Lancet* 2000; 356: 1592-1597.
25. Mollet N, Cademartiri F, Krestin GP. Improved diagnostic accuracy with 16 row multi slice computed tomography coronary angiography. *J Am Coll Cardiol* 2005; 45: 128-132.
26. Shuij JD, Bax JJ, Jukema JW. Feasibility of assessment of coronary stent patency using 16 slice computed tomography. *Am J Cardiol* 2004; 94: 427-430.
27. Schlosser T, Konorza T, Hunold P, Kuhl H, Schmermund A, Barkhausen J. Noninvasive visualization of coronary artery bypass grafts using 16 detector row computed tomography. *J Am Coll Cardiol* 2004; 44: 1224-1229.
28. Chiurlia E, Menozzi M, Ratti C, Romagnoli R, Modena MG. Follow-up of coronary artery bypass graft patency by multislice computed tomography. *Am J Cardiol* 2005; 95 (9): 1094-1097.
29. Maksimovic R, Cademartiri F, Scholten M, Jordaens LJ, Pattynama PM. Sixteen row multislice computed tomography in the assessment of pulmonary veins prior to ablative treatment: validation vs conventional pulmonary venography and study of reproducibility. *Eur Radiol* 2004; 14: 369-374.
30. Mollet NR, Hoyer A, Lemos PA, Cademartiri F. Value of procedure multislice computed tomographic coronary angiography to predict the outcome of percutaneous recanalization of chronic total occlusions. *Am J Cardiol* 2005; 95: 240-243.
31. Schoenhagen P, Tuzcu EM, Stillman AE. Non invasive assessment of plaque morphology and remodeling in mildly stenotic coronary segments comparison of 16 slice computed tomography and intravascular ultrasound. *Coron Artery Dis* 2003; 14: 459-462.
32. Bugiardini R, Bairey M. Angina with «normal» coronary arteries: a changing philosophy. *JAMA* 2005; 293: 477-484.
33. Cademartiri F, Mollet N, Lemos PA. Standard versus user interactive assessment of significant coronary stenoses with multislice computed tomography coronary angiography. *Am J Cardiol* 2004; 94: 1590-1593.
34. Cademartiri F, Mollet N, Runza G. Influence of intracoronary attenuation on coronary plaque measurements using multislice computed tomography: Observation in an ex vivo model of coronary computed tomography angiography. *Eur Radiol* 2005.
35. Crean A, Dutka D, Coulden R. Cardiac imaging using nuclear medicine and positron emission tomography. *Radiol Clin North Am* 2004; 42 (3): 619-34, vii.
36. Gaudio C, Mirabelli F, Alessandra L et al. Noninvasive assessment of coronary artery stenoses by multidetector-row spiral computed tomography: comparison with conventional angiography. *Eur Rev Med Pharmacol Sci* 2005; 9 (1): 13-21.
37. Becker CR, Knez A, Leber A et al. Detection of coronary artery stenoses with multislice helical CT angiography. *J Comput Assist Tomogr* 2002; 26 (5): 750-755.
38. Hoffmann MH, Shi H, Schmitz BL et al. Noninvasive coronary angiography with multislice computed tomography. *JAMA* 2005; 293 (20): 2471-2478.
39. Martuscelli E, Romagnoli A, D'Eliseo A et al. Accuracy of thin-slice computed tomography in the detection of coronary stenoses. *Eur Heart J* 2004; 25 (12): 1043-1048.
40. Kuettner A, Trabold T, Schroeder S et al. Noninvasive detection of coronary lesions using 16-detector multislice spiral computed tomography technology: initial clinical results. *J Am Coll Cardiol* 2004; 44 (6): 1230-1237.
41. Ropers D, Baum U, Pohle K et al. Detection of coronary artery stenoses with thin-slice multi-detector row spiral computed tomography and multiplanar reconstruction. *Circulation* 2003; 107 (5): 664-666.
42. Mollet NR, Cademartiri F, Krestin GP et al. Improved diagnostic accuracy with 16-row multi-slice computed tomography coronary angiography. *J Am Coll Cardiol* 2005; 45 (1): 128-132.
43. Mollet NR, Cademartiri F, Nieman K et al. Multislice spiral computed tomography coronary angiography in patients with stable angina pectoris. *J Am Coll Cardiol* 2004; 43 (12): 2265-2270.
44. Cademartiri F, Mollet N, Lemos PA et al. Standard versus user-interactive assessment of significant coronary stenoses with multislice computed tomography coronary angiography. *Am J Cardiol* 2004; 94 (12): 1590-1593.
45. Leschka S, Alkadhi H, Plass A et al. Accuracy of MSCT coronary angiography with 64-slice technology: first experience. *Eur Heart J* 2005; 26 (15): 1482-1487.
46. Ropers D, Rixe J, Anders K et al. Usefulness of multidetector row spiral computed tomography with 64-x 0.6-mm collimation and 330-ms rotation for the noninvasive detection of significant coronary artery stenoses. *Am J Cardiol* 2006; 97 (3): 343-348.
47. Leber AW, Knez A, von ZF et al. Quantification of obstructive and nonobstructive coronary lesions by 64-slice computed tomography: a comparative study with quantitative coronary angiography and intravascular ultrasound. *J Am Coll Cardiol* 2005; 46 (1): 147-154.
48. Fine JJ, Hopkins CB, Ruff N, Newton FC. Comparison of accuracy of 64-slice cardiovascular computed tomography with coronary angiography in patients with suspected coronary artery disease. *Am J Cardiol* 2006; 97 (2): 173-174.