

TC multicorte (TCMC) cardiaca: aplicaciones clínicas

Multislice CT of the heart: clinical applications

G. Bastarrika, D. Cano, C.R. Becker, B.J. Wintersperger, M.F. Reiser

RESUMEN

La introducción de los equipos de TC multicorte y el desarrollo de técnicas de adquisición de imágenes con sincronización electrocardiográfica y reconstrucción retrospectiva han permitido que la TC multicorte cardiaca se pueda considerar hoy en día una técnica no invasiva muy útil para el estudio de la patología cardiaca en la práctica clínica diaria. La valoración de las arterias coronarias es una de las principales aplicaciones clínicas de esta técnica diagnóstica e incluye la detección y cuantificación del calcio coronario, la coronariografía por TC multicorte (estudio de la anatomía coronaria, variantes anatómicas y anomalías del origen y trayecto), la valoración angiográfica de la permeabilidad de injertos aortocoronarios y endoprótesis vasculares y la caracterización de las placas de atero-
ma. Los nuevos programas de reconstrucción y postprocesamiento permiten obtener, además, parámetros de morfología y contracción miocárdica y función cardiaca. Otras aplicaciones clínicas incluyen la caracterización de masas cardiacas intracavitarias y la valoración del pericardio.

Palabras clave. Tomografía computarizada. Corazón. Anatomía.

ABSTRACT

Since the introduction of last generation multislice MSCT systems and the development of simultaneous electrocardiographic-tracing image acquisition and retrospective reconstruction techniques into clinical routine, cardiac MSCT has been considered a very useful non-invasive technique for the study of cardiac pathology in the daily clinical practice.

One of the main clinical applications of this diagnostic technique is the evaluation of the coronary arteries including detection and quantification of coronary calcium, multislice CT coronary angiography (anatomy, anatomical variants and anomalies of the origin and course), the angiographic evaluation of the patency of aortocoronary by-pass grafts and coronary stents, and plaque characterization. The new reconstruction and postprocessing programs allow to obtain, in addition, parameters of myocardial morphology and contraction and cardiac function. Other clinical applications include the characterization of cardiac masses and the evaluation of the pericardium.

Key words. Computed tomography. Heart. Anatomy.

An. Sist. Sanit. Navar. 2004; 27 (1): 63-72.

Servicio de Radiología. Clínica Universitaria.
Universidad de Navarra.

Trabajo realizado tras la concesión de una Ayuda para la Formación en Ciencias de la Salud del Gobierno de Navarra 2003.

Aceptado para su publicación el 5 de marzo de 2004.

Correspondencia:

Gorka Bastarrika Alemañ
Servicio de Radiología
Clínica Universitaria
Avenida Pío XII, 36
31008 Pamplona
Tfno. 948 255400
Fax: 948 296500
e-mail: bastarrika@unav.es

INTRODUCCIÓN

En los países desarrollados las enfermedades cardiovasculares y especialmente la enfermedad coronaria constituyen la primera causa de muerte en la edad adulta de la vida. En la población española supone la primera causa de mortalidad en varones y la segunda en mujeres¹. En 1998 se produjeron 39.442 defunciones debidas a cardiopatía isquémica en España (22.352 en varones y 17.090 en mujeres), lo que correspondía al 37,1% y 23,4% de la mortalidad cardiovascular en varones y mujeres, respectivamente². En 1998 las enfermedades cardiovasculares ocasionaron en España 232.977 años potenciales de vida perdidos (175.043 en varones y 57.934 en mujeres).

El diagnóstico no invasivo de las cardiopatías habitualmente incluye, en una etapa inicial, la anamnesis y el estudio electrocardiográfico. En el caso de la cardiopatía isquémica la prueba de esfuerzo constituye una técnica diagnóstica complementaria. La sensibilidad y especificidad de estas pruebas no son altas por lo que se han desarrollado otros procedimientos diagnósticos para estudiar las enfermedades cardiacas. Entre estos nuevos métodos diagnósticos se deben destacar la ecocardiografía, la resonancia magnética (RM) cardiaca y la tomografía computerizada (TC) cardiaca. La ecocardiografía es la técnica de elección para el estudio y seguimiento de la mayoría de las cardiopatías ya que se trata de una técnica rápida y ampliamente disponible. La RM cardiaca se considera ya la técnica de primera elección para el estudio de determinadas enfermedades cardiacas y constituye la exploración complementaria a la ecocardiografía en muchas entidades en que ésta no es resolutive, tanto por limitaciones inherentes a la técnica de imagen como por la propia patología cardiaca.

El avance de la tecnología de TC con la introducción de los equipos de TC multicorte (TCMC) (*Volume Zoom, Sensation 16, Siemens, Forchheim, Alemania*) y el desarrollo de técnicas de adquisición de imágenes con sincronización electrocardiográfica (ECG) y reconstrucción retrospectiva han permitido que la TCMC cardiaca se

pueda considerar una técnica muy útil para determinadas aplicaciones clínicas. Entre estas aplicaciones destacan la detección y cuantificación del calcio coronario (*calcium scoring*), la coronariografía por TC, la valoración angiográfica de la permeabilidad de injertos aortocoronarios y endoprótesis vasculares, la caracterización de placas de ateroma, la valoración de la función cardiaca y la caracterización de masas cardiacas y de la patología del pericardio.

DETECCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DEL CALCIO CORONARIO (*CALCIUM SCORING*)

Hasta la introducción de los equipos de última generación, la aplicación clínica más generalizada de la TC consistía en la detección y cuantificación de la calcificación de las arterias coronarias^{3,7} (Fig. 1). Existen diversos métodos para cuantificar la calcificación coronaria. El algoritmo más empleado es el creado por Agatston (*Agatston score*), basado en estudios de TC con haz de electrones (TCHE) obtenidos con sincronización cardiaca prospectiva³. Se han desarrollado otros métodos de cuantificación volumétricos, aparentemente más exactos y reproducibles que la propia escala de Agatston, con los que se obtienen equivalentes de volumen (mm³) y

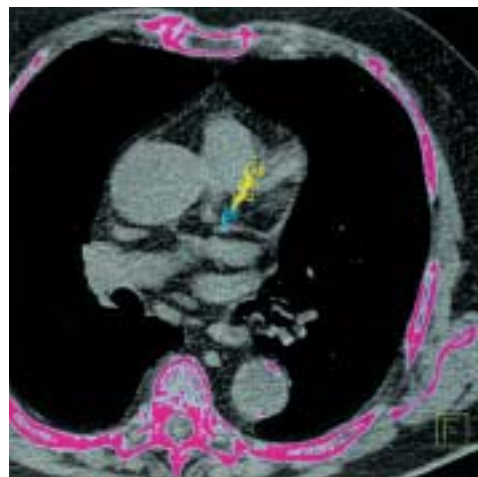


Figura 1. Detección y cuantificación del calcio coronario.

de masa (miligramos) de las placas calcificadas⁸. Éstos son métodos que todavía se encuentran en investigación^{6,9}.

En función de la cantidad total de calcio observada, el riesgo de padecer enfermedad coronaria puede clasificarse en cinco categorías distintas (Tabla 1)¹⁰. La ausencia de calcio coronario se considera un indicador importante de ausencia de enfermedad coronaria obstructiva; de hecho, la ausencia de calcificación se correlaciona con ausencia de enfermedad coronaria, con un valor predictivo negativo (VPN) del 95%. Por otra parte, hoy en día se conoce que el valor diagnóstico de la cuantificación del calcio coronario de manera aislada es un dato que tiene un significado muy limitado¹¹ y, además, su correlación con la presencia y el grado de estenosis coronaria es pobre¹². Por tanto, no se debe considerar que una gran cantidad de calcio coronario equivale a una gran probabilidad de padecer un episodio cardiaco severo. Sin embargo, es cierto que la presencia y la extensión de la calcificación coronaria es un indicador de la cantidad total de placas ateromatosas de un individuo y, por tanto, es un indicador de la posibilidad de que existan placas potencialmente vulnerables (placas no calcificadas). De esta manera, algunos autores apoyan que el grado de calcificación coronaria puede considerarse un factor de riesgo y como tal, en un futuro incluso deberá incluirse en la escala de Framingham¹³.

En la práctica clínica diaria se ha postulado que la detección y cuantificación de la calcificación de las arterias coronarias puede ser de utilidad en tres situaciones clínicas concretas¹⁴: estudio del paciente con dolor torácico atípico, cribado de arteriosclerosis coronaria en sujetos asintomáticos y seguimiento de la progresión de la arteriosclerosis coronaria en los sujetos bajo tratamiento hipolipemiante¹⁵.

CORONARIOGRAFÍA POR TC MULTICORTE

La coronariografía por TCMC es una de las aplicaciones clínicas que más interés ha despertado en la comunidad científica. Esta técnica permite valorar de forma no invasiva no sólo la anatomía de las arterias coronarias¹⁶⁻¹⁸, sus variantes y las anomalías en el origen y trayecto¹⁹⁻²⁰, sino incluso se ha postulado que es una técnica útil para determinar la existencia de estenosis coronarias (Fig. 2). Estudios recientes han demostrado que al emplear equipos de cuatro coronas de detectores la sensibilidad y especificidad de la coronariografía por TCMC para detectar estenosis hemodinámicamente significativas en los segmentos arteriales proximales se encuentra entre un 78-85% y 76-98%, respectivamente²¹⁻²³. Al emplear equipos de dieciséis coronas de detectores, la sensibilidad y especificidad se encuentran entre 92-95% y 86-93%, respectivamente²⁴⁻²⁵. Por tanto, hoy en día, a pesar de que la coronariografía por TC permite descartar enfermedad corona-

Tabla 1. Directrices para la interpretación y manejo clínico de los pacientes asintomáticos en función de la puntuación obtenida por el método Agatston. Modificado de Rumberger y col¹⁰.

VALOR	PROBABILIDAD DE ENFERMEDAD CORONARIA SIGNIFICATIVA	RIESGO CARDIOVASCULAR	RECOMENDACIÓN
0	Muy baja	Muy bajo	Tranquilizar al paciente
1 - 10	Muy poco probable	Bajo	Consejos para prevención primaria de enfermedad coronaria
11 - 100	Probabilidad mínima o leve de estenosis coronaria	Moderado	Modificación de los factores de riesgo; ASA* diario
101 - 400	Alta probabilidad de enfermedad coronaria	Moderado-Alto	Modificación de los factores de riesgo; prueba de esfuerzo
>400	Alta probabilidad de estenosis coronaria significativa	Alto	Modificación de los factores de riesgo; prueba de esfuerzo

*ASA: ácido acetil-salicílico.

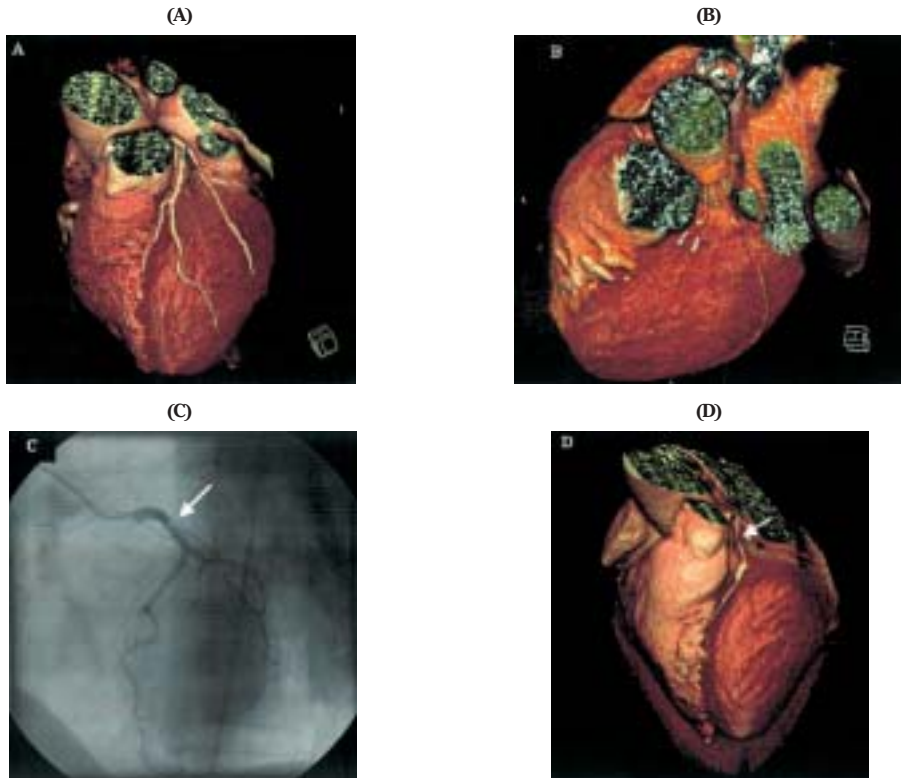


Figura 2. Anatomía coronaria normal (A). Anomalía en el origen de las arterias coronarias: ausencia de tronco principal izquierdo (B). Correlación coronariografía convencional – coronariografía por TC de estenosis de la arteria descendente anterior (flechas) (C,D).

ria con un alto valor predictivo negativo, es una técnica que todavía no se puede emplear en la práctica clínica diaria para determinar la existencia de estenosis coronaria significativa. El desarrollo de la tecnología helicoidal y la mejoría en la resolución espacial y temporal podrán ayudar a detectar y cuantificar la estenosis arterial coronaria con mayor precisión, lo que podrá traducirse en un descenso del número de coronariografías convencionales realizadas exclusivamente para diagnosticar enfermedad coronaria.

VALORACIÓN ANGIOGRÁFICA DE LA PERMEABILIDAD DE INJERTOS AORTOCORONARIOS Y ENDOPRÓTESIS VASCULARES

El primer estudio por TC de pacientes con injertos aortocoronarios fue descrito

en 1980²⁶. Posteriormente fueron varios los grupos de trabajo que investigaron la permeabilidad de los injertos aortocoronarios por TC²⁷⁻³⁰. En los primeros estudios se concluyó que debido a los artefactos por movimiento respiratorio y latido cardiaco, el estudio de TC únicamente podía dirigirse a valorar la permeabilidad de los injertos aortocoronarios ya que técnicamente existían grandes dificultades para determinar la existencia estenosis en los injertos permeables. Se ha demostrado que hoy en día la angiografía por TCMC con reconstrucción ECG retrospectiva permite visualizar la luz del vaso y así, desde su introducción en la práctica clínica diaria, han sido numerosos los trabajos realizados con esta técnica diagnóstica dirigidos a analizar los injertos aortocoronarios^{29,31-34}. Se ha descrito una sensibilidad del 86-97% y una especificidad del 89-100% para deter-

minar oclusión de los injertos aortocoronarios³²⁻³⁵, con un valor predictivo negativo en torno a 98%^{33,34} (Fig. 3).

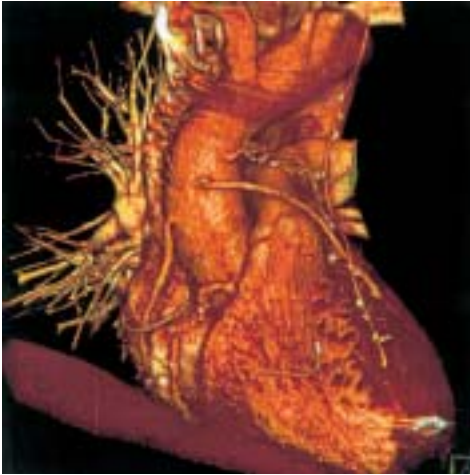


Figura 3. Angiografía por TCMC de injertos aortocoronarios.

Desde el punto de vista prequirúrgico la angiografía por TCMC con reconstrucción ECG retrospectiva puede considerarse una técnica útil para planificar las intervenciones de derivación aortocoronarias, bien en los casos en que se decida emplear un abordaje mínimamente invasivo o bien en aquellos sujetos en que exista una modificación anatómica de las estructuras vasculares secundaria a una intervención cardiaca previa. Con la TCMC es posible determinar la localización y el trayecto de

los injertos ya existentes, el calibre y permeabilidad de los vasos torácicos (arterias mamarias) así como la posición del corazón con relación al esternón¹³.

Por otra parte, cada vez es mayor el número de pacientes con enfermedad coronaria oclusiva en los que se decide realizar angioplastia transluminal percutánea e implantación de endoprótesis vasculares (*stent*). Se ha postulado que la TCMC con reconstrucción ECG retrospectiva puede ser una técnica no invasiva útil como alternativa a la coronariografía convencional en el seguimiento de estos pacientes³⁶⁻³⁷. Se ha descrito una sensibilidad del 78% y una especificidad del 98% para determinar permeabilidad³⁸. Sin embargo, los estudios más recientes, incluyendo estudios con valoración *in vitro* de las endoprótesis vasculares empleando distintas colimaciones, concentraciones de contraste, diámetros y localizaciones de las endoprótesis, concluyen que existen artefactos que impiden caracterizar de forma adecuada la luz vascular de un segmento coronario que presente una endoprótesis^{36-37,39-40}. Así, hoy en día la TCMC únicamente puede emplearse para determinar si existe o no oclusión de estas endoprótesis, resultando imposible determinar anomalías en el interior de las mismas (reestenosis) (Fig. 4). Es probable que con el desarrollo de la tecnología de TC y el empleo de endoprótesis menos radiopacas pueden caracterizarse las endoprótesis de forma más eficaz³⁹⁻⁴⁰.

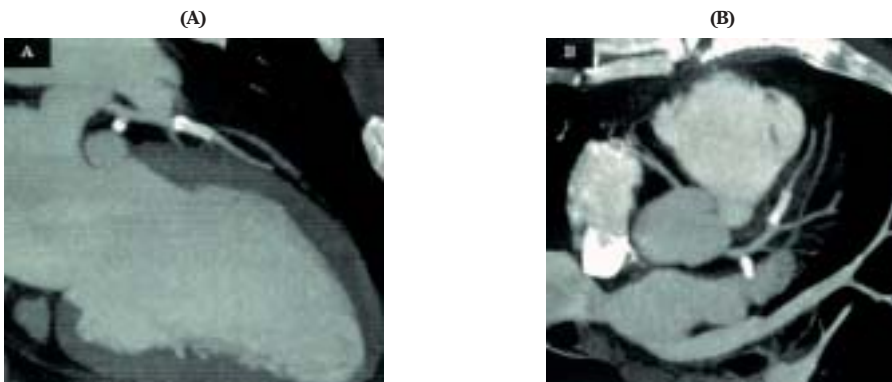


Figura 4. Endoprótesis vasculares (*stent*) en las arterias descendente anterior y circunfleja. Coronariografía por TCMC (A,B).

CARACTERIZACIÓN DE PLACAS DE ATEROMA

Se conoce que la determinación exclusiva de la cantidad de calcio coronario no se correlaciona bien con el desarrollo de manifestaciones cardiacas importantes, tales como el infarto de miocardio o la angina inestable^{11-12,41}. En la evolución de la arteriosclerosis, la calcificación representa un estadio avanzado y existen estadios más precoces caracterizados por placas constituidas por lípidos y tejido fibroso (placas no calcificadas); placas que en realidad poseen mayor predisposición a la rotura que las placas extensamente calcificadas⁴²⁻⁴³ (Fig. 5). Además, se conoce que es precisamente la composición de las placas de ateroma y no tanto la severidad de la estenosis vascular, el hecho que predice el riesgo de rotura de una placa de ateroma y, como consecuencia, el riesgo de padecer un síndrome coronario agudo^{44,45}. Han sido numerosos los esfuerzos dirigidos a caracterizar la composición de las placas de ateroma por técnicas de imagen. La coronariografía convencional, a pesar de constituir el patrón oro para detectar enfermedad coronaria, no es capaz de visualizar la pared vascular. La TCMC y la resonancia magnética (RM) son dos técnicas capaces de demostrar la composición de las placas de ateroma y de diferenciar distintos estadios de la arteriosclerosis de forma no invasiva⁴⁶.

La TCMC tras contraste intravenoso con reconstrucción ECG retrospectiva permite valorar la pared vascular coronaria de manera que es posible detectar y caracterizar las placas de ateroma y determinar su composición⁴⁷⁻⁴⁹. Desde el punto de vista clínico se ha demostrado que mediante la angiografía por TCMC es posible analizar, de forma no invasiva, las diferencias en la composición de las placas coronarias en los sujetos con infarto de miocardio y en sujetos con angina estable⁵⁰. La caracterización de las placas de ateroma mediante angiografía coronaria por TCMC, aunque se debe considerar todavía una técnica en investigación, puede ser útil para estratificar el riesgo cardiovascular y determinar la progresión o estabilización de la arteriosclerosis en los sujetos tratados¹³.

VALORACIÓN DE LA FUNCIÓN CARDIACA

La técnica no invasiva más comúnmente empleada para valorar la función cardiaca es la ecocardiografía. La TC y la RM también permiten valorar la función cardiaca y determinar la presencia de anomalías en la contractilidad miocárdica. Para este propósito se emplean imágenes volumétricas contiguas que incluyen la base y el ápex cardiaco.

La adquisición helicoidal (volumétrica) y la reconstrucción ECG retrospectiva de la TCMC permiten reconstruir el estudio

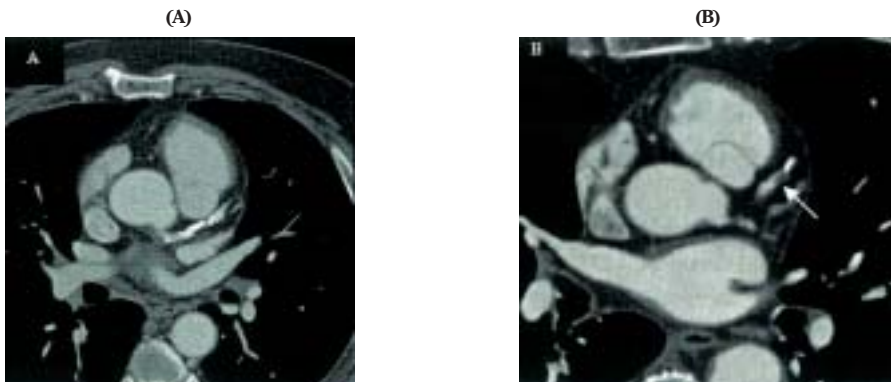


Figura 5. Placas calcificadas en la descendente anterior (A). Placas calcificada y no calcificada (flecha) en la descendente anterior (B).

cardiaco en distintas fases del ciclo. Un análisis posterior de las imágenes volumétricas obtenidas permitirá analizar distintos parámetros de interés clínico: anomalías en la contractilidad miocárdica, grosor miocárdico, fracción de eyección, volúmenes cardíacos, etc^{51,52}. Estudios recientes indican que existe una buena correlación entre los resultados de función cardiaca obtenidos mediante TCMC y otras técnicas diagnósticas como la ecocardiografía o la RM⁵³⁻⁵⁵ (Fig. 6). La TCMC también permite determinar la existencia de un infarto de miocardio y valorar su extensión (Fig. 7).

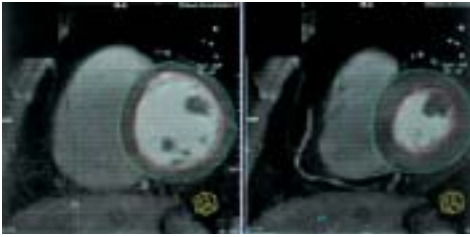


Figura 6. Valoración de la función cardiaca.



Figura 7. Infarto de miocardio anteroseptal (flecha).

CARACTERIZACIÓN DE MASAS CARDIACAS Y DE LA PATOLOGÍA DEL PERICARDIO

Aunque no constituye la técnica de primera elección en la evaluación clínica de los pacientes en los que se sospecha una masa cardiaca, el estudio de TC tras la

administración intravenosa de contraste puede ser útil para visualizar lesiones cardíacas intracavitarias (bien sean de naturaleza trombótica o tumoral). Los estudios de TC permiten determinar la existencia, la localización y las relaciones anatómicas de las masas cardíacas con las estructuras adyacentes y realizar un diagnóstico diferencial de acuerdo con sus características tomodensitométricas (Fig. 8).



Figura 8. Trombo en aurícula derecha (flecha).

La TC es una técnica diagnóstica útil para estudiar la patología pericárdica: derrame, engrosamiento y fibrosis del pericardio⁵⁶. El derrame pericárdico inicialmente se localiza en la zona posterior del ventrículo izquierdo y cuando es abundante, puede rodear al corazón e incluso extenderse al receso pericárdico superior situado en el mediastino. En estadios iniciales, el derrame pericárdico puede manifestarse como engrosamiento pericárdico. El diagnóstico diferencial con el engrosamiento secundario a procesos inflamatorios o tumorales puede realizarse, en los casos en que se considere necesario, tras la administración intravenosa de contraste, aunque generalmente, el engrosamiento presenta una densidad mayor que la de las colecciones líquidas adyacentes (Fig. 9). El engrosamiento pericárdico puede ser focal o difuso. Ocasionalmente, como en el caso del engrosamiento secundario a procesos inflamatorios-infecciosos específicos (tuberculosis), hemopericardio o pericarditis purulenta, puede observarse calci-

ficación del pericardio. La caracterización del grosor pericárdico es útil en pacientes en que se sospeche pericarditis constrictiva⁵⁷.



Figura 9. Derrame pericárdico (flecha).

Como conclusión, las diversas aplicaciones clínicas de la TCMC cardiaca con reconstrucción ECG retrospectiva consolidan esta técnica como herramienta no invasiva, rápida y eficaz para la valoración cardiaca en la práctica clínica diaria. La TCMC cardiaca permite analizar distintos aspectos de la patología cardiaca en una única apnea y en un intervalo de tiempo corto. Es una técnica diagnóstica útil para valorar tanto las estructuras vasculares (arterias coronarias, injertos aortocoronarios, endoprótesis coronarias) como las cámaras cardiacas, el miocardio y el pericardio.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer su colaboración al Gobierno de Navarra, a la Clínica Universitaria de Navarra y a Klinikum Grosshadern de Munich.

BIBLIOGRAFÍA

1. BOIX MARTÍNEZ R, MEDRANO ALBERO MJ. Actualización de la mortalidad por enfermedades cardiovasculares arterioscleróticas: enfermedad cerebrovascular y enfermedad isquémica del corazón. *Boletín Epidemiológico Semanal* 2000; 8: 77-80.
2. BOIX MARTÍNEZ R, ARAGONES SANZ N, MEDRANO ALBERO MJ, VILLAR ALVAREZ F, BANEGAS BANEGAS JR, RODRIGUEZ ARTALEJO F et al. Tendencias en la mortalidad por cardiopatía isquémica en 50 provincias españolas. *Rev Esp Cardiol* 2003; 56: 850-856.
3. AGATSTON AS, JANOWITZ WR, HILDNER FJ, ZUSMER NR, VIAMONTE MJ, DETRANO RC. Quantification of coronary artery calcium using ultrafast computed tomography. *J Am Coll Cardiol* 1990; 15: 827-832.
4. AGATSTON A, JANOWITZ W. Coronary calcification detection by ultrafast computed tomography. *Futura, Mt Kisco* 1992.
5. BECKER CR, JAKOBS TF, AYDEMIR S, BECKER A, KNEZ A, SCHOEPF UJ et al. Helical and single-slice conventional CT versus electron beam CT for the quantification of coronary artery calcification. *AJR Am J Roentgenol* 2000; 174: 543-547.
6. CALLISTER TQ, COOIL B, RAYA SP, LIPPOLIS NJ, RUSSO DJ, RAGGI P. Coronary artery disease: improved reproducibility of calcium scoring with an electron-beam CT volumetric method. *Radiology* 1998; 208: 807-814.
7. BECKER CR, KNEZ A, JAKOBS TF, AYDEMIR S, BECKER A, SCHOEPF UJ et al. Detection and quantification of coronary artery calcification with electron-beam and conventional CT. *Eur Radiol* 1999; 9: 620-624.
8. OHNESORGE B, BECKER CR, FLOHR T, REISER M. Clinical Application and Evaluation. En: Springer-Verlag, editor. *Multi-slice CT in Cardiac Imaging*. Berlin Heidelberg 2002; 61-96.
9. OHNESORGE B, FLOHR T, FISCHBACH R, KOPP AF, KNEZ A, SCHRODER S et al. Reproducibility of coronary calcium quantification in repeat examinations with retrospectively ECG-gated multisection spiral CT. *Eur Radiol* 2002; 12: 1532-1540.
10. RUMBERGER JA, BRUNDAGE BH, RADER DJ, KONDOS G. Electron beam computed tomographic coronary calcium scanning: a review and guidelines for use in asymptomatic persons. *Mayo Clin Proc* 1999; 74: 243-252.
11. O'MALLEY PG, TAYLOR AJ, JACKSON JL, DOHERTY TM, DETRANO RC. Prognostic value of coronary electron-beam computed tomography for coronary heart disease events in asymptomatic populations. *Am J Cardiol* 2000; 85: 945-948.
12. O'ROURKE RA, BRUNDAGE BH, FROELICHER VF, GREENLAND P, GRUNDY SM, HACHAMOVITCH R et al. American College of Cardiology/American Heart Association Expert consensus Document on electron-beam computed tomography for the diagnosis and prognosis of coro-

- nary artery disease. *J Am Coll Cardiol* 2000; 36: 326-340.
13. HOFMANN LK, BECKER CR, FLOHR T, SCHOEPF UJ. Multidetector-row CT of the heart. *Semin Roentgenol* 2003; 38: 135-145.
 14. WEXLER L, BRUNDAGE B, CROUSE J, DETRANO R, FUSTER V, MADDAHI J et al. Coronary artery calcification: pathophysiology, epidemiology, imaging methods, and clinical implications. A statement for health professionals from the American Heart Association. Writing Group. *Circulation* 1996; 94: 1175-1192.
 15. CALLISTER TQ, RAGGI P, COOIL B, LIPPOLIS NJ, RUSSO DJ. Effect of HMG-CoA reductase inhibitors on coronary artery disease as assessed by electron-beam computed tomography. *N Engl J Med* 1998; 339: 1972-1978.
 16. RODENWALDT J. Multislice computed tomography of the coronary arteries. *Eur Radiol* 2003; 13: 748-757.
 17. PANNU HK, FLOHR TG, CORL FM, FISHMAN EK. Current concepts in multi-detector row CT evaluation of the coronary arteries: principles, techniques, and anatomy. *Radiographics* 2003; 23: S111-S125.
 18. ACHENBACH S, ULZHEIMER S, BAUM U, KACHELRIESS M, ROPERS D, GIESLER T et al. Noninvasive coronary angiography by retrospectively ECG-gated multislice spiral CT. *Circulation* 2000; 102: 2823-2828.
 19. CADEMARTIRI F, NIEMAN K, RAAYMAKERS RH, DE FEYTER PJ, FLOHR T, ALFIERI O et al. Non-invasive demonstration of coronary artery anomaly performed using 16-slice multidetector spiral computed tomography. *Ital Heart J* 2003; 4: 56-59.
 20. SALM LP, BAX JJ, DIRKSEN MS, VLIENEN HW, JUKEMA JW, SCHALLI MJ et al. Comparison of MSCT and MRA in the evaluation of an anomalous right coronary artery. *J Cardiovasc Magn Reson* 2003; 5: 403-405.
 21. 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: 2535-2538.
 22. KNEZ A, BECKER CR, LEBER A, OHNESORGE B, BECKER A, WHITE C et al. Usefulness of multislice spiral computed tomography angiography for determination of coronary artery stenoses. *Am J Cardiol* 2001; 88: 1191-1194.
 23. NIEMAN K, OUDKERK M, RENSING BJ, VAN OOLIJEN P, MUNNE A, VAN GEUNS RJ et al. Coronary angiography with multi-slice computed tomography. *Lancet* 2001; 357: 599-603.
 24. ROPERS D, BAUM U, POHLE K, ANDERS K, ULZHEIMER S, OHNESORGE B et al. Noninvasive coronary angiography by retrospectively electrocardiographically-gated, thin-slice multidetector-array computed tomography. *J Am Coll Cardiol* 2003; 41 (6 Suppl B): 468.
 25. NIEMAN K, CADEMARTIRI F, LEMOS PA, RAAYMAKERS R, PATTYNAMA PM, DE FEYTER PJ. Reliable non-invasive coronary angiography with fast submillimeter multislice spiral computed tomography. *Circulation* 2002; 106: 2051-2054.
 26. BRUNDAGE BH, LIPTON MJ, HERFKENS RJ, BERNINGER WH, REDINGTON RW, CHATTERJEE K et al. Detection of patent coronary bypass grafts by computed tomography. *Apreliminary report. Circulation* 1980; 61: 826-831.
 27. KAHL FR, WOLFMAN NT, WATTS LE. Evaluation of aortocoronary bypass graft status by computed tomography. *Am J Cardiol* 1981; 48: 304-310.
 28. DANIEL WG, DOHRING W, STENDER HS, LICHTLEN PR. Value and limitations of computed tomography in assessing aortocoronary bypass graft patency. *Circulation* 1983; 67: 983-987.
 29. ENGELMANN MG, VON SMEKAL A, KNEZ A, KURZINGER E, HUEHNS TY, HOFLING B et al. Accuracy of spiral computed tomography for identifying arterial and venous coronary graft patency. *Am J Cardiol* 1997; 80: 569-574.
 30. STANFORD W, BRUNDAGE BH, MACMILLAN R, CHOMKA EV, BATEMAN TM, ELDRIDGE WJ et al. Sensitivity and specificity of assessing coronary bypass graft patency with ultrafast computed tomography: results of a multicenter study. *J Am Coll Cardiol* 1988; 12: 1-7.
 31. FUNABASHI N, TERAMOTO K, KOMURO I. Patency of multiple coronary artery bypass grafts demonstrated by multislice CT. *Heart* 2003; 89: 818.
 32. BURGSTAHLER C, KUETTNER A, KOPP AF, HERDEG C, MARTENSEN J, CLAUSSEN CD et al. Non-invasive evaluation of coronary artery bypass grafts using multi-slice computed tomography: initial clinical experience. *Int J Cardiol* 2003; 90: 275-280.
 33. KO YG, CHOI DH, JANG YS, CHUNG NS, SHIM WH, CHO SY et al. Assessment of coronary artery bypass graft patency by multislice computed tomography. *Yonsei Med J* 2003; 44: 438-444.
 34. 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 elec-

- trocardiographic-gated image reconstruction. *Am J Cardiol* 2001; 88: 792-795.
35. SILBER S, FINSTERER S, KRISCHKE I, LOCHOW P, MUHLING H. [Noninvasive angiography of coronary bypass grafts with cardio-CT in a cardiology practice]. *Herz* 2003; 28: 126-135.
 36. KRUGER S, MAHNKEN AH, SINHA AM, BORGHANS A, DEDDEN K, HOFFMANN R et al. Multislice spiral computed tomography for the detection of coronary stent restenosis and patency. *Int J Cardiol* 2003; 89: 167-172.
 37. MAINTZ D, GRUDE M, FALLENBERG EM, HEINDEL W, FISCHBACH R. Assessment of coronary arterial stents by multislice-ct angiography. *Acta Radiol* 2003; 44: 597-603.
 38. PUMP H, MOHLENKAMP S, SEHNERT CA, SCHIMPF SS, SCHMIDT A, ERBEL R et al. Coronary arterial stent patency: assessment with electron-beam CT. *Radiology* 2000; 214: 447-452.
 39. MAINTZ D, JUERGENS KU, WICHTER T, GRUDE M, HEINDEL W, FISCHBACH R. Imaging of coronary artery stents using multislice computed tomography: in vitro evaluation. *Eur Radiol* 2003; 13: 830-835.
 40. NIEMAN K, CADEMARTIRI F, RAALMAKERS R, PATTY-NAMA P, DE FEYTER P. Noninvasive angiographic evaluation of coronary stents with multislice spiral computed tomography. *Herz* 2003; 28: 136-142.
 41. BECKMAN JA, GANZ J, CREAGER MA, GANZ P, KINLAY S. Relationship of clinical presentation and calcification of culprit coronary artery stenoses. *Arterioscler Thromb Vasc Biol* 2001; 21: 1618-1622.
 42. FALK E. Plaque rupture with severe pre-existing stenosis precipitating coronary thrombosis. Characteristics of coronary atherosclerotic plaques underlying fatal occlusive thrombi. *Br Heart J* 1983; 50: 127-134.
 43. FUSTER V, FAYAD ZA, BADIMON JJ. Acute coronary syndromes: biology. *Lancet* 1999; 353: SII5-9.
 44. FUSTER V, BADIMON L, BADIMON JJ, CHESEBRO JH. The pathogenesis of coronary artery disease and the acute coronary syndromes (2). *N Engl J Med* 1992; 326: 310-318.
 45. FUSTER V, BADIMON L, BADIMON JJ, CHESEBRO JH. The pathogenesis of coronary artery disease and the acute coronary syndromes (1). *N Engl J Med* 1992; 326: 242-250.
 46. FAYAD ZA, FUSTER V, NIKOLAOU K, BECKER C. Computed tomography and magnetic resonance imaging for noninvasive coronary angiography and plaque imaging: current and potential future concepts. *Circulation* 2002; 106: 2026-2034.
 47. BECKER CR, NIKOLAOU K, MUDERS M, BABARYKA G, CRISPIN A, SCHOEPF UJ et al. Ex vivo coronary atherosclerotic plaque characterization with multi-detector-row CT. *Eur Radiol* 2003; 13: 2094-2098.
 48. NIKOLAOU K, SAGMEISTER S, KNEZ A, KLOTZ E, WINTERSPERGER BJ, BECKER CR et al. Multidetector-row computed tomography of the coronary arteries: predictive value and quantitative assessment of non-calcified vessel-wall changes. *Eur Radiol* 2003; 13: 2505-2512.
 49. SCHROEDER S, KOPP AF, BAUMBACH A, MEISNER C, KUETTNER A, GEORG C et al. Noninvasive detection and evaluation of atherosclerotic coronary plaques with multislice computed tomography. *J Am Coll Cardiol* 2001; 37: 1430-1435.
 50. LEBER AW, KNEZ A, WHITE CW, BECKER A, VON ZIEGLER F, MUEHLING O et al. Composition of coronary atherosclerotic plaques in patients with acute myocardial infarction and stable angina pectoris determined by contrast-enhanced multislice computed tomography. *Am J Cardiol* 2003; 91: 714-718.
 51. OHNESORGE BM. Multislice CT in cardiac imaging: technical principles, clinical application and future developments. London: Springer 2002.
 52. MAHNKEN AH, KLOTZ E, HENNEMUTH A, JUNG B, KOOS R, WILDBERGER JE et al. Measurement of cardiac output from a test-bolus injection in multislice computed tomography. *Eur Radiol* 2003; 13: 2498-2504.
 53. RODENWALDT J. Multislice computed tomography of the coronary arteries. *Eur Radiol* 2003; 13: 748-757.
 54. CARRASCOSA PM, CAPUNAY CM, PARODI JC, PADILLA LT, JOHNSON P, CARRASCOSA JM et al. General utilities of multislice tomography in the cardiac field. *Herz* 2003; 28: 44-51.
 55. MAHNKEN AH, SPUNTRUP E, WILDBERGER JE, HEUSCHMID M, NIETHAMMER M, SINHA AM et al. [Quantification of cardiac function with multislice spiral CT using retrospective EKG-gating: comparison with MRI]. *Rofo Fortschr Geb Rontgenstr Neuen Bildgeb Verfahr* 2003; 175: 83-88.
 56. WANG ZJ, REDDY GP, GOTWAY MB, YEH BM, HETTS SW, HIGGINS CB. CT and MR imaging of pericardial disease. *Radiographics* 2003; 23 Spec No: S167-S180.
 57. MARTA MJ, OLIVEIRA A, VARELA MG, SAAVEDRA JA, RAVARA L. Constrictive tuberculous pericarditis: case report and review of the literature. *Rev Port Cardiol* 2003; 22: 391-405.