

Artículo especial

La tomografía computarizada en cardiopatía isquémica: de la calcificación coronaria a la caracterización tisular miocárdica



Jordi Estornell Erill

Unidad de Imagen Cardíaca, ERESA, Unidad de TC y RM, Consorcio Hospital General Universitario de Valencia

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Recibido el 10 de septiembre de 2014

Aceptado el 13 de octubre de 2014

On-line el 30 de octubre de 2014

Palabras clave:

Tomografía computarizada

Coronaria

Cirugía

R E S U M E N

Durante las últimas 2 décadas las técnicas de imagen han alcanzado un papel indispensable en prácticamente todas las enfermedades cardiovasculares. La tomografía computarizada cardíaca, en el campo de la cardiopatía isquémica, proporciona información irremplazable para la investigación clínica y básica, y se ha convertido también en imprescindible para guiar la actitud terapéutica de los pacientes con enfermedad coronaria en la práctica diaria. Revisamos su estado actual desde la mirada de su utilidad quirúrgica.

© 2014 Sociedad Española de Cirugía Torácica-Cardiovascular. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

Computed tomography in ischemic heart disease: from coronary calcification to the myocardial tissue characterization

A B S T R A C T

During the past 2 decades, imaging techniques have come to play an indispensable role in practically all cardiovascular illnesses.

Cardiac computerized axial tomography, in the field of ischemic cardiopathy, provides irreplaceable information for clinical and basic investigations, but it has also become indispensable for guiding the therapeutic approach to treating patients with heart disease in daily practice. We review your current status in the view of its surgical utility.

© 2014 Sociedad Española de Cirugía Torácica-Cardiovascular. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Keywords:

Computerized axial tomography

Coronary

Surgery

La tomografía computarizada (TC) es una de las modalidades de diagnóstico por imagen que ha experimentado un desarrollo más rápido en los últimos años. Desde el punto de vista técnico, la TC consta de uno o 2s tubos de RX y unas filas de detectores situadas en la posición opuesta que rotan alrededor del paciente ubicado en una mesa central que también se desplaza. Los RX, al atravesar las estructuras corporales, sufren diferentes atenuaciones y mediante diversos algoritmos es posible obtener una imagen como una matriz de píxeles. Esta imagen se representa como una escala de grises en función de la atenuación o densidad de las diferentes estructuras que se mide en unidades Hounsfield.

En la TC cardíaca los 2 parámetros que determinan la calidad de imagen son la resolución espacial, que depende del tamaño y características del detector, y la resolución temporal, que depende de la velocidad de rotación del complejo tubo o tubos/detectores y del número de detectores. Es fundamental en la adquisición disponer de una señal electrocardiográfica de calidad, pudiendo realizarse la adquisición con sincronización retrospectiva (adquisición continua y posterior reconstrucción de las imágenes en el momento del ciclo cardíaco deseado) o prospectiva (adquisición solo en

un momento del ciclo elegido). Esta última forma de adquisición permite reducir la radiación hasta un 80% con respecto a la retrospectiva. También permiten reducir la radiación otras medidas: acotar al máximo el volumen a adquirir a la estructura de interés, ajustar los parámetros de adquisición (kilovoltaje y miliamperaje) a la superficie corporal del paciente, emplear técnicas de modulación de dosis con reducción de la radiación en fases sistólicas habitualmente «menos utilizables» por artefactos de movimiento, utilizar algoritmos de reconstrucción de imagen iterativos y determinadas tecnologías como la FLASH (doble tubo con pitch alto; pitch: [desplazamiento mesa/rotación]/anchura haz RX).

El empleo de betabloqueantes orales o intravenosos persigue no solo reducir la frecuencia cardíaca, sino también obtener menor variabilidad de ritmo, especialmente si se emplean nitratos, como vasodilatadores del árbol coronario y, de forma indirecta, reducir la dosis de radiación. El empleo de contraste yodado requiere las mismas precauciones que con otras técnicas de imagen: insuficiencia renal, alergia, hipertiroidismo y tratamiento con metformina.

Actualmente, existen dispositivos que permiten trabajar con energía-dual ya sea mediante 2 fuentes de RX o con una única fuente de RX pero que es capaz de cambiar rápidamente de kilovoltaje, que permiten una mejor caracterización tisular.

Correo electrónico: jestornell@eres.a

<http://dx.doi.org/10.1016/j.circv.2014.10.003>

1134-0096/© 2014 Sociedad Española de Cirugía Torácica-Cardiovascular. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

Calcio coronario

Es un marcador de aterosclerosis coronaria y su extensión guarda relación con la gravedad de la misma. Su utilidad principal es evaluar el riesgo coronario en población asintomática. El método de cuantificación más empleado es el del área propuesto por Agatston, pudiendo dar valores absolutos (aterosclerosis leve 0-100, moderada 100-400, grave > 400) o en percentiles para la edad y sexo. Múltiples estudios han demostrado que el calcio coronario es el predictor más potente de eventos cardiovasculares y tiene valor pronóstico independiente y adicional a los factores de riesgo clásicos, estando validado en diferentes grupos étnicos¹. Así, la ausencia de calcio coronario predice un riesgo muy bajo de eventos cardiovasculares y muerte^{2,3} y por otro lado, la cuantificación del calcio coronario permite una mejor clasificación de sujetos asintomáticos que la basada en los factores de riesgo cardiovascular habituales^{4,5}. La progresión de la calcificación también parece identificar a pacientes de mayor riesgo⁶, aunque este planteamiento presenta limitaciones por la baja reproducibilidad de la cuantificación por Agatston (otros métodos de cuantificación, como el del volumen y, sobre todo, el de la masa, son más reproducibles). Tampoco parece ser útil para valorar eficacia de tratamientos para frenar la progresión de la calcificación coronaria, como las estatinas⁷.

Coronariografía e injertografía

La TC es la modalidad de imagen no invasiva de elección en el estudio coronario. Los valores diagnósticos son excelentes en pacientes seleccionados (ritmo sinusal y lento, colaboradores)⁸ y parece que son también buenos en pacientes «difíciles» (fibrilación auricular, dificultad para mantener apneas) con los dispositivos más avanzados. Sin embargo, pese a las mejoras tecnológicas, los retos más importantes hoy en día continúan siendo los mismos que en sus inicios: las arterias muy calcificadas y reducido calibre y los segmentos coronarios con stents⁹ (especialmente los de reducido tamaño y los muy «metálicos»). Con respecto a la valoración del paciente con injertos aortocoronarios, el rendimiento diagnóstico es incluso mejor que para las coronarias¹⁰ por las propias características de los injertos (mayor tamaño y menor movilidad), aunque persisten las limitaciones relacionadas con la presencia de «clips» metálicos (artefactos) y, sobre todo, con el análisis de los vasos nativos, habitualmente muy calcificados y de calibre reducido. La TC puede ser especialmente útil en pacientes en los que es difícil realizar la injertografía invasiva o para localizar los injertos antes de una nueva esternotomía. La TC es la modalidad de imagen no invasiva de elección en la valoración de anomalías coronarias al permitir valorar origen, trayecto y relación con estructuras vecinas y también es útil en la valoración y el seguimiento de aneurismas coronarios.

Con respecto al análisis de composición de la placa aterosclerótica, más allá de la distinción entre placa calcificada y no calcificada, limitaciones en la resolución espacial hacen hoy día difícil con TC un análisis más detallado de los componentes de las placas y, por tanto, la identificación de placas «vulnerables»¹¹. Por último, la demostración de placas ateroscleróticas en el paciente sintomático, aunque no originen estenosis significativas, también tiene valor pronóstico¹².

Perfusión miocárdica

La coronariografía TC ha demostrado, en pacientes seleccionados, tener un rendimiento diagnóstico superior a las técnicas de imagen con detección de isquemia para identificar lesiones coronarias que originan estenosis significativas tomando como referencia el cateterismo. Sin embargo, la presencia de lesiones que originan estenosis en el límite de significación o difíciles de valorar (p. ej., muy calcificada) hacen necesario recurrir a una prueba de estrés.

Con la introducción de la energía-dual, parece posible la realización de estudios de perfusión miocárdica con vasodilatadores, con resultados preliminares similares a los de otras modalidades de imagen, como la resonancia magnética (RM)¹³. Esto permitiría combinar la información anatómica de la coronariografía TC con la información funcional del estudio de perfusión TC. La interpretación de las imágenes es similar a otras modalidades de imagen, como la gammagrafía o la resonancia. Así la detección de una zona de hipotenuación tras vasodilatación máxima y con contraste que no aparece en el reposo sería indicativo de isquemia (defecto reversible), mientras que si aparece también en reposo (defecto fijo) indicaría la presencia de una necrosis. Aunque los datos iniciales son prometedores, existen limitaciones referentes al momento óptimo de adquisición tras el contraste y a la dificultad de análisis visual o semicuantitativo por la presencia de artefactos de movimiento (más probables por la taquicardización inherente al empleo de vasodilatadores) y de endurecimiento de RX (por estructuras óseas o con contraste) que son causas de falsos positivos.

Infarto de miocardio. Viabilidad miocárdica

Clásicamente, se han identificado las áreas de necrosis en TC como zonas de hipotenuación de señal en la adquisición con contraste que representan áreas de fibrosis o de transformación grasa. Más recientemente se ha estudiado la capacidad de la TC para identificar las zonas de necrosis mediante la captación tardía del contraste, basándose en que la cinética del contraste yodado es similar a la de los quelatos de gadolinio empleados en RM. Se identificarían así las zonas de necrosis como áreas que presentan captación del yodo (por aumento espacio intersticial) unos 10 min después de administrado este, a diferencia del tejido sano, que habría lavado el contraste (fig. 1). Los estudios que comparan el tamaño del infarto así determinado por TC y RM demuestran una buena correlación entre ambas técnicas, si bien con cierta tendencia de la TC a infraestimar su tamaño^{14,15}. Como en RM existiría una correlación inversa entre la extensión del área infartada y la posibilidad de recuperación funcional segmentaria o global. Sin embargo, una limitación importante con TC es la baja relación señal/ruido y la imposibilidad de anular la señal del miocardio que sí es posible en RM, lo que dificulta la identificación de las necrosis. Los nuevos dispositivos con energía-dual mejoran la capacidad de caracterización tisular miocárdica¹⁶, ya que permiten obtener imágenes en un rango amplio de energías y seleccionar aquellas con la mejor relación señal/ruido, obtener imágenes solo de zonas con contraste anulando miocardio sano (similares a las RM con supresión miocárdica) y obtener curvas de densidad relativa en diferentes áreas y con diferentes energías para confirmar así la presencia de contraste (fig. 2).

Si la adquisición se realiza en modo continuo (retrospectivo) es posible realizar un estudio de contractilidad segmentaria y global obteniendo así datos funcionales ventriculares. También es posible valorar la presencia de complicaciones postinfarto (fig. 3), como trombos intracavitarios, aneurismas y pseudoaneurismas, derrame pericárdico.

Diagnóstico de la disfunción ventricular izquierda isquémica

Ante un paciente con disfunción sistólica del ventrículo izquierdo (DSVI), el estudio etiológico debe basarse en identificar enfermedad coronaria dada su elevada prevalencia. El protocolo habitual consiste en realizar un cateterismo y valorar si existen lesiones coronarias de entidad que justifiquen una DSVI isquémica según criterios propuestos por Felker et al. (lesión $\geq 75\%$ en el tronco común de la coronaria izquierda o en el segmento proximal de la

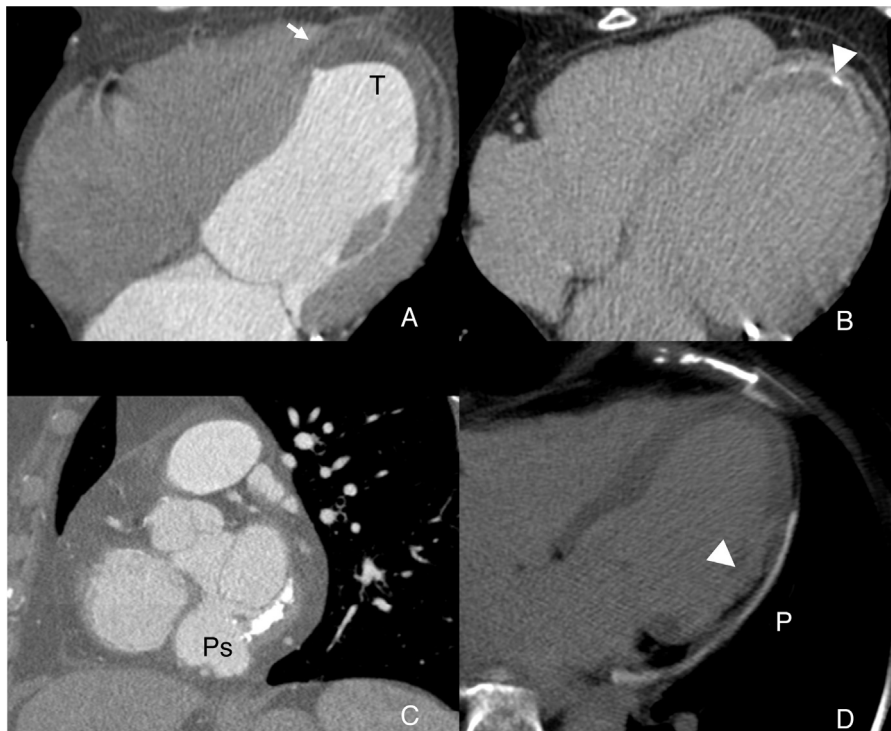


Figura 1. Complicaciones post-IM. A y B) Trombo apical (T) postinfarto anterior identificado en adquisición arterial como zona de hipoatenuación (flecha) y en la tardía como zona con captación de contraste (punta de flecha). C) Seudoaneurisma (Ps) inferior basal (eje corto). D) Rotura cardíaca post-IM lateral con captación tardía (punta de flecha) intervenida con parche.

descendente anterior o en 2 o más vasos). Recientemente, se ha integrado en este protocolo el estudio de RM con captación tardía del gadolinio para complementar la información del cateterismo con la información tisular miocárdica de la RM (viabilidad). Con

TC se han evaluado diferentes recursos para identificar la DSVI isquémica^{17,18}: 1) la presencia de calcio coronario como marcador de enfermedad coronaria significativa es muy sensible pero poco específica y su utilidad mayor sería descartar origen coronario de

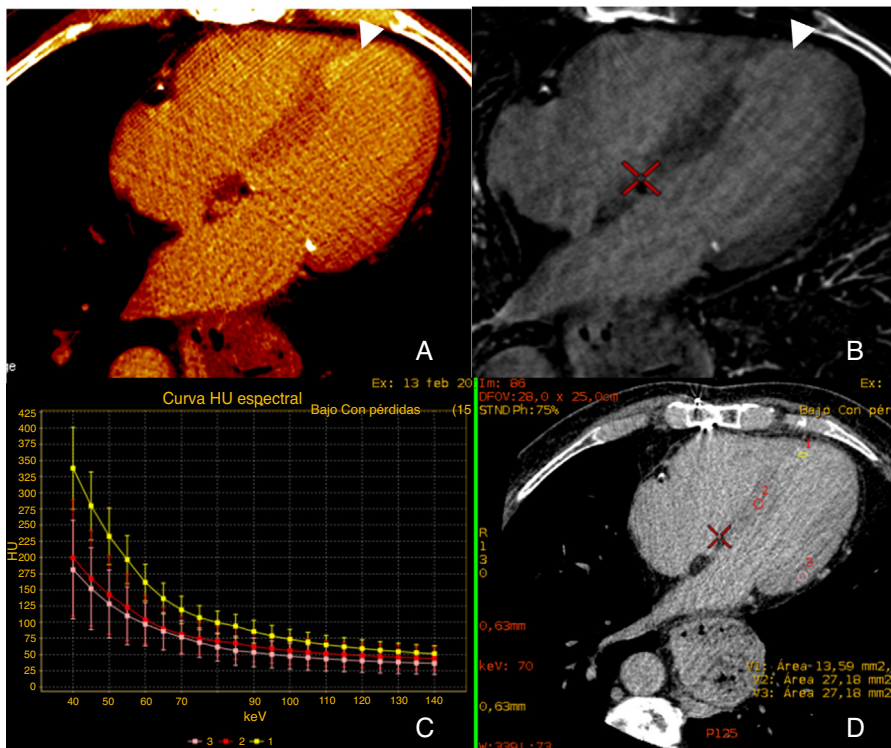


Figura 2. IM anterior crónico con energía-dual. A) Captación tardía de contraste apical, eje largo, en pico de energía óptimo (punta de flecha). B) Misma imagen en densidad yodo (miocardio sano queda anulado). C y D) Imagen espectral con diferentes áreas de interés (ROI) confirmando que la ubicada a nivel de la necrosis presenta mayor densidad relativa (curva y ROI amarillos).



Figura 3. IAM anterior tratado con angioplastia e implante de stent (S) en ADA proximal. A) Zona extensa con hipoatenuación de señal (flecha) en la adquisición arterial (eje largo). B) Persiste hipoatenuación de señal (flecha) y se objetiva área de captación periférica de contraste (punta de flecha) en adquisición tardía (eje corto), compatible conobstrucción microvascular.

Tabla 1

Criterios de uso apropiado de la tomografía computerizada cardiaca

Cuantificación calcio coronario

1. Asintomático con riesgo pretest bajo/intermedio o historia familiar de muerte prematura por enfermedad coronaria
2. Antes de administrar contraste para decidir si realizar o no TC coronaria

TC coronaria

1. Dolor torácico en paciente con riesgo pretest bajo/intermedio y ECG no interpretable/incapacidad física para realizar esfuerzo o pruebas de estrés no concluyentes/biomarcadores normales o no concluyentes
2. Dolor torácico en paciente revascularizado para valorar permeabilidad de injertos coronarios
3. Asintomático para valorar stent en tronco de coronaria izquierda o stent ≥ 3 mm
4. Disfunción sistólica ventricular izquierda en paciente con riesgo pretest bajo/intermedio
5. Valoración coronaria en paciente con riesgo pretest intermedio antes de cirugía no coronaria
6. Valoración anomalías coronarias y vasculares, incluyendo cardiopatías congénitas complejas en el adulto
7. Valoración de la función ventricular izquierda/derecha cuando no es factible con otros métodos de imagen no invasivos
8. Valoración de válvulas nativas o protésicas cuando no es factible con otros métodos de imagen no invasivos
9. Valoración de masas cardíacas (tumores/trombos) cuando no es factible con otros métodos de imagen no invasivos
10. Evaluación pericardio
11. Evaluación venas pulmonares antes de la ablación
12. Evaluación sistema venoso coronario antes de marcapasos/resincronizador
13. Localización de injertos coronarios antes de nueva esternotomía

la DSVI en su ausencia (el valor predictivo negativo es del 100%, con lo que se podría utilizar para el cribado inicial de la DSVI isquémica); 2) la coronariografía con TC tiene el mejor rendimiento diagnóstico global, y 3) la caracterización tisular del miocardio, especialmente mediante la captación tardía del contraste para identificar áreas de necrosis. Combinando los datos de la coronariografía TC con la caracterización tisular miocárdica, sería posible una aproximación diagnóstica en el estudio etiológico de la DSVI similar a la obtenida mediante el cateterismo y la resonancia.

La **tabla 1** resume los criterios de uso apropiado de la TC cardiaca por consenso de expertos¹⁹.

Responsabilidades éticas:

Protección de personas y animales. Los autores declaran que para esta investigación no se han realizado experimentos en seres humanos ni en animales.

Confidencialidad de los datos. Los autores declaran que en este artículo no aparecen datos de pacientes.

Derecho a la privacidad y consentimiento informado. Los autores declaran que en este artículo no aparecen datos de pacientes.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

1. Detrano R, Guerci AD, Carr JJ, Bild DE, Burke G, Folsom AR, et al. Coronary calcium as a predictor of coronary events in four racial or ethnic groups. *N Engl J Med.* 2008;358(13):1336–45.
2. Blaha M, Budoff MJ, Shaw LJ, Khosa F, Rumberger JA, Berman D, et al. Absence of coronary artery calcification and all-cause mortality. *JACC Cardiovasc Imaging.* 2009;2(6):692–700.
3. Sarwar A, Shaw LJ, Shapiro MD, Blankstein R, Hoffmann U, Cury RC, et al. Diagnostic and prognostic value of absence of coronary artery calcification. *JACC Cardiovasc Imaging.* 2009;2(6):675–88.
4. Erbel R, Möhlenkamp S, Moebus S, Schermund A, Lehmann N, Stang A, et al. Coronary risk stratification, discrimination, and reclassification improvement based on quantification of subclinical coronary atherosclerosis: The Heinz Nixdorf Recall study. *J Am Coll Cardiol.* 2010;56(17):1397–406.
5. Polonsky TS, McClelland RL, Jorgensen NW, Bild DE, Burke GL, Guerci AD, et al. Coronary artery calcium score and risk classification for coronary heart disease prediction. *JAMA.* 2010;303:1610–6.
6. Budoff MJ, Hokanson JE, Nasir K, Shaw LJ, Kinney GL, Chow D, et al. Progression of coronary artery calcium predicts all-cause mortality. *Cardiovasc Imaging.* 2010;3(12):1229–36.
7. Arad Y, Spadaro LA, Roth M, Newstein D, Guerci AD. Treatment of asymptomatic adults with elevated coronary calcium scores with atorvastatin, vitamin C, and vitamin E: The St Francis Heart Study randomized clinical trial. *J Am Coll Cardiol.* 2005;46:166–72.
8. Sun Z1, Ng KH. Prospective versus retrospective ECG-gated multislice CT coronary angiography: A systematic review of radiation dose and diagnostic accuracy. *Eur J Radiol.* 2012;81(2):e94–100.
9. Sun Z, Almutairi AM. Diagnostic accuracy of 64 multislice CT angiography in the assessment of coronary in-stent restenosis: A meta-analysis. *Eur J Radiol.* 2010;73(2):266–73.
10. Hamon M, Lepage O, Malagutti P, Riddell JW, Morello R, Agostini D. Diagnostic performance of 16- and 64-section spiral CT for coronary artery bypass graft assessment: Meta-analysis. *Radiology.* 2008;247(3):679–86.
11. Brodoefel H, Burgstahler C, Heuschmid M, Reimann A, Khosa F, Kopp A, et al. Accuracy of dual-source CT in the characterisation of non-calcified plaque: Use of a colour-coded analysis compared with virtual histology intravascular ultrasound. *Br J Radiol.* 2009;82:805–12.
12. Abdulla J, Asferg C, Kofoed KF. Prognostic value of absence or presence of coronary artery disease determined by 64-slice computed tomography coronary angiography: A systematic review and meta-analysis. *Int J Cardiovasc Imaging.* 2011;27:413–20.
13. Feuchtner G, Goetti R, Plass A, Wieser M, Scheffel H, Wyss C, et al. Adenosine stress high-pitch 128-slice dual-source myocardial computed tomography perfusion for imaging of reversible myocardial ischemia: Comparison with magnetic resonance imaging. *Circ Cardiovasc Imaging.* 2011;4:540–9.

14. Sanz J, Weeks D, Nikolaou K, Sirol M, Rius T, Rajagopalan S, et al. Detection of healed myocardial infarction with multidetector-row computed tomography and comparison with cardiac magnetic resonance delayed hyperenhancement. *Am J Cardiol.* 2006;98:149–55.
15. Choe YH, Choo KS, Jeon ES, Gwon HC, Choi JH, Park JE. Comparison of MDCT and MRI in the detection and sizing of acute and chronic myocardial infarcts. *Eur J Radiol.* 2008;66:292–9.
16. Bauer RW, Kerl JM, Fischer N, Burkhard T, Larson MC, Ackermann H, et al. Dual-energy CT for the assessment of chronic myocardial infarction in patients with chronic coronary artery disease: Comparison with 3-T MRI. *AJR Am J Roentgenol.* 2010;195:639–46.
17. Le Polain de Waroux JB, Pouleur AC, Goffinet C, Pasquet A, Vanoverschelde JL, Gerber BL. Combined coronary and late-enhanced multidetector-computed tomography for delineation of the etiology of left ventricular dysfunction: Comparison with coronary angiography and contrast-enhanced cardiac magnetic resonance imaging. *Eur Heart J.* 2008;29:2544–51.
18. Estornell-Erill J, Igual-Muñoz B, Monmeneu-Menadas JV, Soriano-Navarro C, Valle-Muñoz A, Vilar-Herrero JV, et al. Etiological diagnosis of left ventricular dysfunction: Computed tomography compared with coronary angiography and cardiac magnetic resonance. *Rev Esp Cardiol (Engl Ed).* 2012;65(6):517–24.
19. Taylor AJ, Cerqueira M, Hodgson JM, Mark D, Min J, O’Gara P, et al. ACCF/SCCT/ACR/AHA/ASE/ASNC/NASCI/SCAI/SCMR 2010. Appropriate use criteria for cardiac computed tomography. *Circulation* 2010;122:e525-555.