

Sospecha de reestenosis del stent coronario: CT-angiografía, FFR-CT y CT-perfusión versus cateterismo invasivo

José Alberto Merino Bonilla¹, Nancy Bibiana
Aristizábal Buitrago¹, Eva María Navarro Cantarero¹,
Henar Guerra Pérez¹, Guido Alberto Finol¹

¹Hospital Santiago Apóstol, Miranda de Ebro

Objetivo docente

La angiografía coronaria invasiva (ACI) ha sido el procedimiento de elección para evaluar la permeabilidad del stent coronario cuando existe sospecha clínica de isquemia miocárdica, lo que constituye un problema frecuente en la práctica clínica.

En este contexto, la TC-coronariografía presentaba limitaciones para discriminar qué lesiones tenían repercusión hemodinámica, como los artefactos metálicos o una especificidad no alta.

Sin embargo, las distintas técnicas de cardio-TC han experimentado importantes avances tecnológicos en la última década, que han mejorado su precisión diagnóstica y proporcionan información tanto anatómica como funcional.

El objetivo de este trabajo es analizar el papel potencial en los pacientes portadores de stents coronarios del abordaje con TC-coronariografía, FFR (reserva de flujo coronario)-TC y TC-perfusión de estrés, para detectar de forma no invasiva la reestenosis del stent o la progresión de la enfermedad arterial coronaria (CAD).

Revisión del tema

1. Epidemiología:

Actualmente, el implante percutáneo de stents es el método de revascularización más extendido en los pacientes que presentan síndrome coronario agudo y crónico. Representa unos 854.000 casos al año en Europa y 528.000 en Estados Unidos (1).

Los primeros stents para tratar la enfermedad coronaria se introdujeron en la década de los 80 (2). Su impacto ha sido muy importante, al disminuir la mortalidad de los pacientes, superar algunas limitaciones de la angioplastia coronaria con balón y reducir las complicaciones posquirúrgicas respecto a otros abordajes alternativos.

La reestenosis del stent constituye un problema habitual en la práctica clínica, que impacta negativamente la calidad de vida de los pacientes.

En 2020 fue la indicación que justificó aproximadamente el 10% de todas las intervenciones coronarias percutáneas en Estados Unidos, la mayoría de las cuales se trató con la colocación de un nuevo stent (3).

En España, en el año 2018 se realizaron más de 72.000 procedimientos coronarios percutáneos, en los cuales se implantaron un total de 108.398 stents (4).

2. Stents coronarios:

El implante de stents para tratar la CAD se ha convertido en la técnica de elección en múltiples patologías, por delante de la cirugía de bypass aorto-coronario.

Algunas de las indicaciones habituales son el infarto de miocardio con o sin elevación de ST, la angina estable o inestable, y cuando se observan datos de alto riesgo en las pruebas de estrés (5,6).

Se distinguen varios tipos de stents coronarios:

A. Metálicos:

Fueron los primeros en desarrollarse y sólo se emplean en la actualidad en pacientes muy concretos.

B. Biodegradables:

Ya no se usan en la práctica clínica.

C. Liberadores de fármacos:

Son los más ampliamente utilizados hoy en día y asocian una menor tasa de complicaciones.

3. Reestenosis del stent coronario:

La estenosis intrastent se define como una reducción ≥ 50 del diámetro de la luz a ese nivel valorada en ACI o TC-coronariografía, y suele ocurrir de manera progresiva entre 3 y 12 meses tras su implantación.

Puede suceder por distintas causas:

- 1) Daño arterial seguido de hiperplasia neointimal.
- 2) Formación de nuevas placas de ateroma.
- 3) Una combinación de ambos mecanismos.

Aunque a veces es asintomática, en otros casos conduce a la recurrencia de los síntomas anginoso e, incluso, en un 25% de los pacientes puede manifestarse como infarto agudo de miocardio (3).

Cuando existe sospecha clínica, es necesario reevaluar la permeabilidad del stent, cuya reestenosis normalmente se maneja mediante una nueva revascularización percutánea.

Se ha descrito que hasta el 33% de los stents metálicos se complicaban con reestenosis en el seguimiento (7), mientras que esta cifra desciende al 3-20% en los casos tratados con stents liberadores de fármacos (8).

Los stents farmacoactivos de segunda generación, disponibles desde 2008, han demostrado mayor seguridad y eficacia.

Independientemente del tipo de stent, existen otros factores que contribuyen al desarrollo de reestenosis (6,9):

- Vasos de pequeño calibre (<3 mm).
- Lesiones extensas: >20 mm.
- Obstrucción completa previa.
- Segmentos tortuosos o muy angulados: >90°.
- Bifurcaciones: donde es común colocar varios dispositivos entrecruzados.
- Su incidencia también es más alta en los pacientes con enfermedad multivaso y en los que es necesario tratar varias lesiones obstructivas con stent.

4. Otras complicaciones de los stents coronarios:

A diferencia de lo anterior, la trombosis del stent consiste en la oclusión brusca del mismo por material trombótico o a <5 mm de sus extremos.

Se asocia con complicaciones durante el tratamiento y fracaso de la antiagregación.

Aunque es rara en los stents farmacoactivos de segunda generación (2%) (7), generalmente provoca infarto de miocardio extenso o muerte súbita.

Otras complicaciones infrecuentes, pero conocidas, son la fractura del stent, el fallo en el implante o su migración posterior.

5. Modalidades de imagen:

La angiografía coronaria invasiva es la técnica gold estándar para el diagnóstico de CAD. Además, es posible medir la FFR invasiva durante el procedimiento, que constituye el método de elección para determinar la repercusión funcional de las estenosis que afectan al stent o a las placas de ateroma en los vasos nativos, lo que facilita las decisiones sobre la necesidad o no de tratamiento, sobre todo en los casos dudosos.

Por otro lado, existen distintas técnicas basadas en TC multidetector para valorar la permeabilidad del stent y de las arterias coronarias nativas, cuya combinación proporciona información anatómica y funcional (figura 1):

A. TC-coronariografía:

Es la técnica de elección para estudiar la vascularización coronaria de forma no invasiva. Es necesario sincronizar la adquisición de las imágenes con el latido cardiaco, ya sea prospectiva o retrospectivamente.

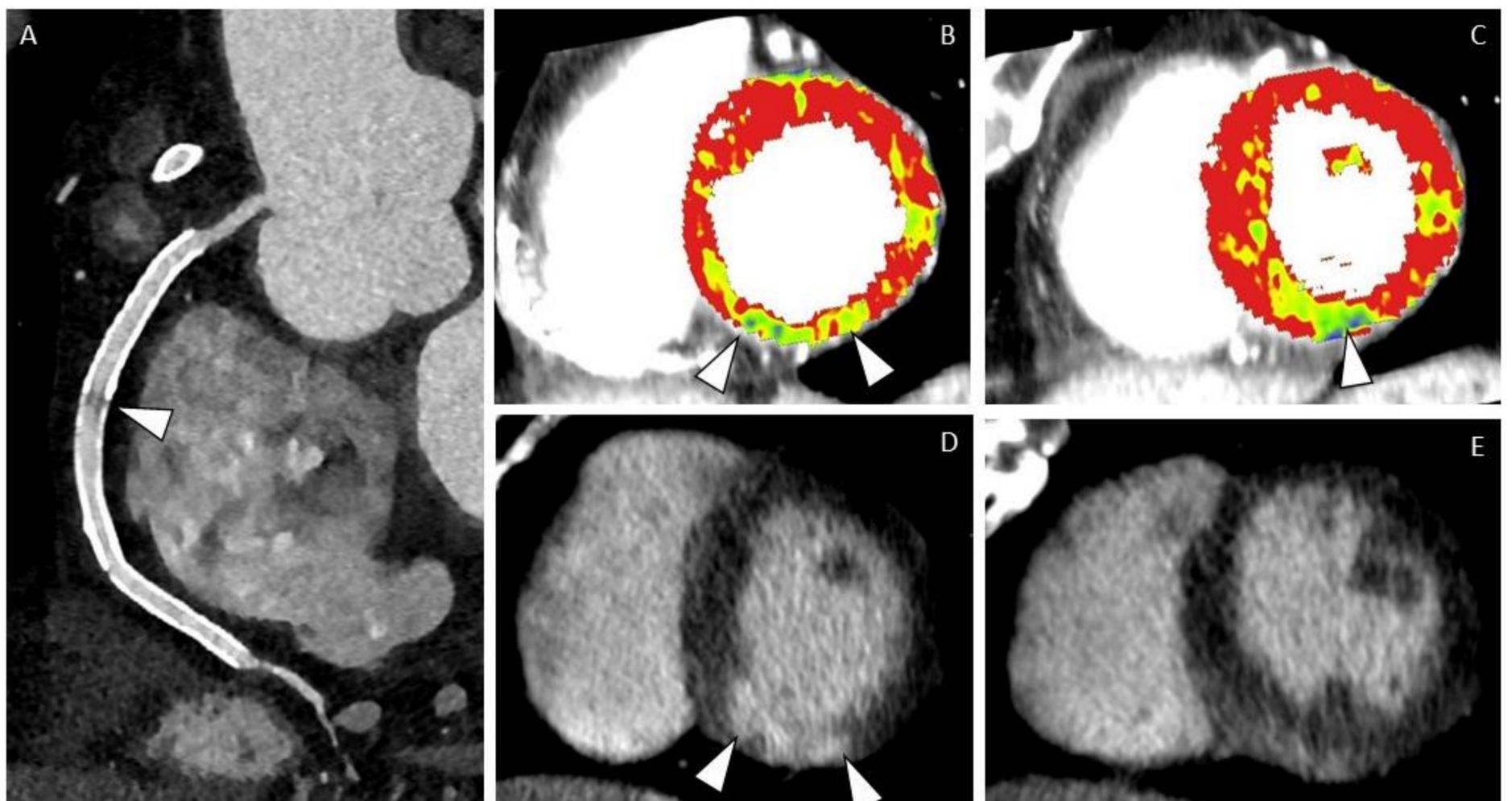
B. TC-perfusión:

Se lleva a cabo tras administrar un fármaco vasodilatador como el regadenosón o la adenosina, que inducen estrés y provocan aumento de la vascularización miocárdica. Se distinguen dos tipos de adquisición: estática y dinámica. Se emplea para valorar la existencia de isquemia causada por una estenosis coronaria. Además, las zonas de miocardio infartadas presentan realce tardío, a diferencia del miocardio sano.

C. FFR-TC:

Es una novedosa herramienta informática que, a partir de las imágenes adquiridas en una TC-coronariografía y en base a modelos matemáticos, ayuda a determinar de forma no invasiva si una estenosis coronaria tiene repercusión hemodinámica o no.

Figura 1. TC-coronariografía y TC-perfusión de estrés. Reconstrucción planar curva de la arteria coronaria derecha (A), mapa de perfusión miocárdica (B y C) y eje corto del ventrículo izquierdo (D y E).



Paciente con reestenosis severa intra-stent en la arteria coronarias derecha (A), que asocia defecto de perfusión (B, C) y realce tardío de yodo (D, E). Imagen cortesía del Dr. Bastarrika.

6. Interpretación de los hallazgos en cardio-TC:

Un aspecto crítico en los pacientes con sospecha clínica de reestenosis reside en discriminar qué lesiones coronarias asocian repercusión hemodinámica, ya sea por estenosis del stent previo o por progresión de la CAD, puesto que son causa común de morbimortalidad y, a diferencia de las estenosis coronarias no obstructivas, se benefician del tratamiento revascularizador.

Desde el punto de vista de la ACI, es posible clasificar la estenosis intra-stent en cuatro tipos, según su localización y extensión (8) (tabla 1).

Tipo I focal	<10 mm de longitud
Tipo IA	En una articulación o espacio entre dos stents
Tipo IB	En los extremos
Tipo IC	En el cuerpo del stent
Tipo ID	Multifocal
Tipo II difusa	>10 de longitud en el interior del stent
Tipo III proliferativa	>10 de longitud con extensión más allá de los márgenes del stent
Tipo IV oclusión total	Lesiones reestenóticas con flujo distal TIMI 0

Tabla 1. Clasificación angiográfica de la reestenosis del stent (TIMI: trombolisis en infarto de miocardio).

En cuanto a la TC-coronariografía, la cuantificación del grado de estenosis se realiza de la misma forma en los stents y en los vasos nativos, para lo cual se aplica el sistema CAD-RADS™ (10) (tabla 2).

	Grado de estenosis	Interpretación	Estudios adicionales
CAD-RADS 0	0%	Ausencia de CAD	Ninguno
CAD-RADS 1	1-24%	CAD no obstructiva mínima	Ninguno
CAD-RADS 2	25-49%	CAD no obstructiva leve	Ninguno
CAD-RADS 3	50-69%	Estenosis moderada	Evaluación funcional
CAD-RADS 4	A: 70-99%	Estenosis severa	A: Evaluación funcional o ICA
	B: $\geq 50\%$ en el tronco común o $\geq 70\%$ en tres vasos		B: ICA
CAD-RADS 5		Oclusión coronaria total o subtotal	ICA, evaluación funcional y/o de viabilidad
CAD-RADS N	Estudio diagnóstico no	No se puede excluir CAD	Evaluación adicional

Tabla 2. Clasificación CAD-RADS™ 2.0 (*Coronary Artery Disease-Reporting and Data System*) para pacientes con dolor torácico estable. ICA: angiografía coronaria invasiva.

Adicionalmente, en la segunda edición del sistema CAD-RADS™, que fue publicada en 2022, se incluyen dos modificadores específicos para reflejar los hallazgos relacionados con el stent (S) y con la presencia o ausencia de isquemia miocárdica (I), ya sea estudiada con TC-perfusión de estrés o FFR-TC (tabla 3).

	Categoría	Hallazgos	Interpretación
Modificador I FFR-TC	I +	Valor de la lesión $\leq 0,75$	Isquemia positivo
	I -	Valor de la lesión $> 80\%$	Isquemia negativo
	I +/-	Valor de la lesión 0,76-0,80	Borderline
Modificador I TC-perfusión	I +	Defecto de perfusión reversible o isquemia peri-infarto en un territorio coronario definido	Isquemia positivo
	I -	Infarto miocárdico o no evidencia de isquemia en un territorio coronario definido	Isquemia negativo
	I +/-		Borderline

Tabla 3. Modificadores I para isquemia miocárdica incluidos en el sistema CAD-RADS™.

7. Artefactos relacionados con los stents coronarios:

La TC-coronariografía no ha tenido un papel protagonista para evaluar la luz del stent, principalmente porque el artefacto metálico dificultaba su visualización (11) y, junto con los frecuentes artefactos de volumen parcial y de blooming, contribuían a sobreestimar el grado de estenosis (12).

Además, la mayoría de los pacientes tratados con stent coronario presentan un alto volumen de placa calcificada en los segmentos nativos, lo que influye negativamente en el rendimiento global de la prueba (13).

Sin embargo, actualmente es posible adquirir imágenes de alta calidad y reducir el efecto de dichos artefactos, lo que posibilita interpretar los hallazgos con mayor precisión.

8. Indicaciones en pacientes portadores de stents:

Desde el año 2021, la SCCT (Society Of Cardiac Computed Tomography) recomienda en su último documento de consenso (14) la TC-coronariografía en los pacientes sintomáticos con stents coronarios de cualquier tamaño, especialmente aquellos ≥ 3 mm de diámetro, así como en aquellos de localización proximal, no situados en bifurcaciones o con los puntales de su estructura $< 100 \mu\text{m}$ (15,16).

Además, cuando existe sospecha clínica de cardiopatía isquémica en los pacientes estables, ya sea por reestenosis del stent coronario o por progresión de la CAD, el abordaje conjunto con TC-coronariografía y TC-perfusión mejora no sólo la especificidad de la imagen cardíaca, sino también su correlación con el cateterismo invasivo (17).

Así, tomando como patrón de referencia la ACI y la FFR invasiva, la adición de la TC-perfusión de estrés añade valor en múltiples aspectos.

En la práctica, el papel cada vez más relevante de la TC-perfusión de estrés y FFR-TC se ha traducido en su inclusión en la última versión de la clasificación CAD-RADS (10), para tratar de establecer el significado hemodinámico de las estenosis coronarias secundarias a CAD.

9. Protocolo de adquisición del estudio:

En general, se recomienda el empleo de los siguientes parámetros para conseguir obtener imágenes de mayor calidad, minimizar los artefactos y disminuir la dosis de radiación:

- Alto kilovoltaje: 120-140 kV.
- Frecuencia cardíaca: <60 latidos por minuto.
- Imagen monoenergética.
- Reconstrucción iterativa.
- Filtro de reconstrucción duro.
- Reconstrucciones con cortes muy finos: ≤ 1 mm.
- Sincronización ECG prospectiva.

Para facilitar la interpretación de los hallazgos, también es útil:

- Visualizar las imágenes con una ventana amplia
- Obtener reconstrucciones planares curvas y ortogonales a la luz vascular.
- Disponer de equipos con imagen monoenergética con varios niveles de kilo-electrón voltios, así como la cuantificación de la concentración de yodo en el miocardio.

10. Dosis de radiación:

Un factor importante reside en si la obtención de imágenes combinadas de TC-coronariografía y TC-perfusión supone una mayor exposición a la radiación que la primera técnica sola.

Los dos parámetros principales que lo determinan son el voltaje del tubo (kV) y la intensidad de la corriente (mA).

Esta desventaja ha sido confirmada por algunos autores que analizaron casos sospechosos de reestenosis del stent (18,19,20).

En cambio, en otros estudios no implicó una mayor dosis de radiación para el paciente (17,21,22,23), a lo que contribuye la adquisición de todo el volumen cardíaco en un único latido, incluso en pacientes con FC >65 latidos por minuto.

Es esperable que, debido a la creciente implantación de nuevas generaciones de equipos de TC cardíaco en los centros hospitalarios, este inconveniente pueda superarse a corto plazo.

11. Perspectivas futuras:

Aunque hoy en día se acepta la valoración de las estenosis por CAD del 30-90% con TC-coronariografía, seguida de TC-perfusión de estrés o de cuantificación no invasiva de la FFR, sobre todo en aquellos pacientes con enfermedad multivaso, todavía no se considera apropiado el uso de la TC-perfusión de estrés en los pacientes revascularizados (24), ya que se requieren más estudios en este contexto.

Recientemente se ha publicado que la detección de defectos de perfusión subendocárdicos con TC-perfusión tiene una alta precisión para identificar territorios coronarios afectados por reestenosis del stent o por nuevas placas obstructivas (25) y, además, es un método costo-efectivo (26).

Por tanto, parece razonable pensar que la CTP de estrés, realizada en equipos con altas prestaciones, pueda llegar a ser en un futuro próximo una alternativa útil en los pacientes portadores de stents coronarios, incluso cuando no sea posible llevar a cabo la FFR-TC.

Conclusiones

La ACI ha sido tradicionalmente el método de elección para valorar la reestenosis del stent, a pesar de que no está exenta de complicaciones, debido a las limitaciones que generaban los artefactos en la TC-coronariografía (endurecimiento de haz por el material metálico o placas calcificadas extensas, artefacto de movimiento debido a frecuencia cardíaca alta, etc.).

Sin embargo, los equipos de cardio-TC han experimentado importantes avances tecnológicos en la última década, de modo que son menos susceptibles a los artefactos y ofrecen una mayor resolución espacial y temporal. Gracias a ello, han mejorado significativamente su precisión para valorar la reestenosis del stent y la viabilidad del miocardio.

Actualmente, el abordaje combinado con técnicas modernas de TC-coronariografía, FFR no invasiva y TC-perfusión de estrés proporciona información tanto anatómica como funcional.

Tiene una mayor especificidad, una elevada correlación con la ACI y es útil para confirmar las lesiones, determinar su severidad y seleccionar los casos que requieren revascularización, incluso en stents de pequeño calibre (<3 mm) o en las placas de ateroma que afectan a los segmentos distales.

Por último, permite valorar la progresión de la CAD y detectar otras complicaciones menos frecuentes del stent.

Bibliografía

1. Moschovitis A, Cook S, Meier B. Percutaneous coronary interventions in Europe in 2006. *EuroIntervention* 2010;6:189-94.
2. Sigwart U, Puel J, Mirkovitch V, Joffre F, Kappenberger L. Intravascular stents to prevent occlusion and restenosis after transluminal angioplasty. *N Engl J Med*. 1987;316:701-6.
3. Moussa ID, Mohananey D, Saucedo J, Stone GW, Yeh RW, Kennedy KF, et al. Trends and Outcomes of Restenosis After Coronary Stent Implantation in the United States. *J Am Coll Cardiol*. 2020;76:1521-31.
4. Cid Álvarez AB, Rodríguez Leor O, Moreno R, Pérez de Prado A. Spanish Cardiac Catheterization and Coronary Intervention Registry. 28th Official Report of the Spanish Society of Cardiology Working Group on Cardiac Catheterization and Interventional Cardiology (1990-2018). *Rev Esp Cardiol (Engl Ed)*. 2019;72:1043-53.
5. Tomberli B, Mattesini A, Baldereschi GI, Mario CD. A Brief History of Coronary Artery Stents. *Rev Esp Cardiol (Engl Ed)*. 2018;71:312-9.
6. Goerne H, de la Fuente D, Cabrera M, Chaturvedi A, Vargas D, Young P, et al. Imaging Features of Complications after Coronary Interventions and Surgical Procedures. *RadioGraphics*. 2021;41:699-719.
7. Stefanini GG, Holmes Jr DR. Drug-eluting coronary-artery stents. *N Engl J Med*. 2013;368:254-65.
8. Dangas GD, Claessen BE, Caixeta A, Sanidas EA, Mintz GS, Mehran R. In-stent restenosis in the drug-eluting stent era. *J Am Coll Cardiol*. 2010;56:1897-907.

Bibliografía

9. Pugliese F, Cademartiri F, van Mieghem C, Meijboom W, Malagutti P, Mollet N, et al. Multidetector CT for Visualization of Coronary Stents. *RadioGraphics*. 2006;26:887-904.
10. Cury RC, Leipsic J, Abbara S, Achenbach S, Berman D, Bittencourt M, et al. CAD-RADS™ 2.0-2022 Coronary Artery Disease-Reporting and Data System: An Expert Consensus Document of the Society of Cardiovascular Computed Tomography (SCCT), the American College of Cardiology (ACC), the American College of Radiology (ACR), and the North America Society of Cardiovascular Imaging (NASCI). *J Cardiovasc Comput Tomogr*. 2022;16:536-57.
11. Schuetz GM, Walther S, Schlattmann P, Dewey M. Meta-analysis: noninvasive angiography by computed tomography for the evaluation of coronary stents. *Ann Intern Med*. 2010;152:167-77.
12. Triche B, Nelson J, McGill N, Porter K, Sanyal R, Tessler F, et al. Recognizing and Minimizing Artifacts at CT, MRI, US, and Molecular Imaging. *RadioGraphics*. 2019;39:1017-18.
13. Park DW, Kim YH, Yun SC, Song HG, Ahn JM, Oh JH, et al. Complexity of atherosclerotic coronary artery disease and longterm outcomes in patients with unprotected left main disease treated with drug-eluting stents or coronary artery bypass grafting. *J Am Coll Cardiol* 2011;57:2152-9.
14. Narula J, Chandrashekar Y, Ahmadi A, Abbara S, Berman DS, Blankstein R, et al. SCCT 2021 Expert Consensus Document on Coronary Computed Tomographic Angiography: A Report of the Society of Cardiovascular Computed Tomography. *J Cardiovasc Comput Tomogr*. 2021;15:192-217.

Bibliografía

15. Eckert J, Renczes-Janetzko P, Schmidt M, Magedanz A, Voigtländer T, Schmermund A, et al. Coronary CT angiography (CCTA) using third-generation dual-source CT for ruling out in-stent restenosis. *Clin Res Cardiol.* 2019;108:402-10.
16. Li Y, Yu M, Li W, Lu Z, Wei M, Zhang J. Third generation dual-source CT enables accurate diagnosis of coronary restenosis in all size stents with low radiation dose and preserved image quality. *Eur Radiol.* 2018;28:2647-54.
17. Andreini D, Mushtaq S, Pontone G, et al. CT Perfusion Versus Coronary CT Angiography in Patients With Suspected In-Stent Restenosis or CAD Progression. *JACC Cardiovasc Imaging.* 2020;13:732-42.
18. Rief M, Zimmermann E, Stenzel F, Martus P, Stangl K, Greupner J, et al. Computed tomography angiography and myocardial computed tomography perfusion in patients with coronary stents: prospective intraindividual comparison with conventional coronary angiography. *J Am Coll Cardiol* 2013;62:1476-85.
19. Magalhaes T, Cury R, Pereira A, Moreira VM, Lemos PA, Kalil-Filho R, et al. Additional value of dipyridamole stress myocardial perfusion by 64-row computed tomography in patients with coronary stents. *J Cardiovasc Comput Tomogr.* 2011;5:449-58.
20. Yang DH, Kim YH. CT myocardial perfusion imaging: current status and future perspectives. *Int J Cardiovasc Imaging* 2017;33:1009-20.
21. Andreini D, Pontone G, Mushtaq S, Conte E, Perchinunno M, Guglielmo M, et al. Atrial fibrillation: diagnostic accuracy of coronary CT angiography performed with a whole-heart 230-mm spatial resolution CT scanner. *Radiology* 2017;284:676-84.

Bibliografía

22. Andreini D, Pontone G, Mushtaq S, Mancini ME, Conte E, Marco Guglielmo, et al. Image quality and radiation dose of coronary CT angiography performed with whole-heart coverage CT scanner with intra-cycle motion correction algorithm in patients with atrial fibrillation. *Eur Radiol* 2018;28:1383-92.
23. Andreini D, Mushtaq S, Pontone G, Conte E, Guglielmo M, Annoni A, et al. Diagnostic performance of coronary CT angiography carried out with a novel whole-heart coverage high-definition CT scanner in patients with high heart rate. *Int J Cardiol* 2018;257:325-31.
24. Pontone G, Andreini D, Guaricci AI, Baggiano A, Fazzari F, Guglielmo M, et al. Incremental diagnostic value of stress computed tomography myocardial perfusion with wholeheart coverage CT scanner in intermediate- to high-risk symptomatic patients suspected of coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol Img* 2019;12:338-49.
25. Mushtaq S, Pontone G, Conte E, Trabattoni D, Galli S, Gili S, et al. Diagnostic accuracy of subendocardial vs. transmural myocardial perfusion defect for the detection of in-stent restenosis or progression of coronary artery disease after percutaneous coronary intervention. *J Cardiovasc Comput Tomogr.* 2023;17:277-80.
26. Kim SH, Rübenthaler J, Nörenberg D, Huber T, Kunz WG, Sommer WH, et al. Cost-effectiveness of stress CTP versus CTA in detecting obstructive CAD or in-stent restenosis in stented patients. *Eur Radiol.* 2021;31:1443-50.