

AngioTC coronario (ATCC): estado actual

Coronary CT angiography (CTCA): current status

Alejandro Zuluaga Santamaría[1]
Natalia Aldana Sepúlveda[2]
Tatiana Arroyave Peña[3]
Andrea Castro Osorio[3]
Sebastián Arredondo Peñaranda[3]
https://doi.org/10.53903/01212095.338

Resumen

La evolución de la ATCC ha sido notable en los últimos 20 años, lo cual la ha convertido en la prueba de primera línea en numerosas situaciones clínicas de los pacientes con enfermedad arterial coronaria (EAC). Nuevas directrices de la AHA/ACC, del Reino Unido y de Europa abogan firmemente por la ATCC en pacientes con EAC estable o crónica. La adición de pruebas funcionales (FFR-TC/TC Perfusión) amplían aún más la utilidad de la ATCC para evaluar simultáneamente la anatomía y la función cardiaca. La posibilidad de visualizar la aterosclerosis coronaria no obstructiva de manera no invasiva hace que la ATCC permita el diagnóstico precoz de la EAC, lo cual facilita la implementación de tratamientos preventivos tempranos con mejor desempeño en este campo que las pruebas funcionales de estrés, que suelen requerir una estenosis grave para detectar la enfermedad. La validación de la ATCC posterior a los ensayos clínicos a gran escala, como PROMISE y SCOT-HEART, siguen reforzando la utilidad clínica de este examen. Los avances tecnológicos en la calidad de imagen, la adquisición de los estudios, en el posprocesamiento y en la reducción de la dosis de radiación permiten un uso más amplio y seguro de esta modalidad diagnóstica en la actualidad, como lo recomiendan las guías vigentes y como lo ven los autores de acuerdo con su experiencia en este campo.

Palabras clave (DeCS)

Angiografía coronaria
Tomografía computarizada multidetector
Enfermedad de las arterias coronarias
Aterosclerosis coronaria

Key words (MeSH)

Coronary angiography
Multidetector computed tomography
Coronary artery disease
Coronary atherosclerosis

Summary

The evolution of CCTA has been remarkable in the last 20 years, becoming now the first-line test in numerous clinical scenarios in patients with coronary artery disease (CAD). New AHA/ACC, UK and European guidelines strongly advocate CCTA in patients with stable or chronic CAD. The addition of functional testing (FFR-CT/PCT) further expands the utility of CCTA by allowing simultaneous assessment of cardiac anatomy and function. The possibility of displaying non-obstructive coronary atherosclerosis in a noninvasive manner allows CCTA to diagnose CAD earlier, facilitating the implementation of timely preventive treatments with better performance in this field than functional stress tests, which usually require severe stenosis to detect the disease. The validation of CCTA following large-scale clinical trials, such as PROMISE and SCOT-HEART, continue to reinforce the clinical utility of this test. Technological advances in image quality, study acquisition, post-processing, and radiation dose reduction allow for wider and safer use of this diagnostic modality today, as recommended by current guidelines and as we see in our experience in this field.

Introducción

La enfermedad arterial coronaria (EAC) sigue siendo la principal causa de muerte en el mundo, y en Estados Unidos una de cada siete muertes es atribuible a esta enfermedad (1,2). La angina de pecho es el síntoma más frecuente de la cardiopatía isquémica y afecta a más de 100 millones de personas en el mundo (3).

El AngioTC coronario (ATCC) se ha convertido en una importante herramienta diagnóstica que permite la evaluación no invasiva de la EAC. En este revisión se describirá el estado actual del ATCC, destacando sus principales avances tecnológicos, la evolución de los conceptos en la EAC, la evidencia que respalda sus aplicaciones clínicas actuales, las principales indicaciones y contraindicaciones y el sistema de reporte estandarizado CAD-RADS 2.0

Avances tecnológicos del ATCC

En la década de 1990, el desarrollo de la tecnología de TC espiral o helicoidal, con los avances posteriores en los elementos de los detectores y el uso de la sincronización electrocardiográfica hizo posible la evaluación no invasiva del árbol coronario con el ATCC. En las décadas siguientes, el desarrollo de la tecnología de TC ha dado lugar a importantes avances, como la mejora de la resolución temporal y espacial, los algoritmos de reconstrucción iterativa, la amplia cobertura longitudinal y la tecnología multifuente.

El ATCC tuvo una mayor aplicación clínica a partir de 2004 con los tomógrafos de 64 filas de detectores que para esa época tenían una resolución espacial de 0,625 mm, una resolución temporal de 250 ms, sincronización electrocardiográfica retrospectiva y dosis de radiación entre 12 a 22 mSv.

[1]Radiólogo cardiovascular, Cedimed Quirónsalud. Coordinador Especialización en Radiología e Imágenes Diagnósticas, Universidad Pontificia Bolivariana, Cedimed Quirónsalud. Medellín, Colombia.

[2]Radióloga cardiovascular Cedimed Quirónsalud. Medellín, Colombia.

[3]Residente de radiología e imágenes diagnósticas, Universidad Pontificia Bolivariana, Cedimed Quirónsalud. Medellín, Colombia.

Resolución espacial

La resolución espacial se define como la capacidad de diferenciar dos estructuras vecinas como estructuras separadas. En ella influyen varios factores: detectores, grosor del corte, *pitch*, parámetros de reconstrucción, filtros y artefactos. En tomógrafos de última generación de 320 filas de detectores (640 cortes) se reporta un resolución espacial de 0,3 mm y recientemente con los tomógrafos de cuantificación de fotones (TCF), de 0,2 mm (4). Los TCF por las características de sus detectores miden la energía de los fotones de rayos X y los cuantifica individualmente, lo cual permite reducir el ruido electrónico, el endurecimiento del haz y los artefactos metálicos con una mayor relación contraste-ruido y resolución espacial, características que lo hacen potencialmente aplicable para la obtención de imágenes de pacientes con *stents* coronarios (5).

Resolución temporal

La resolución temporal es el tiempo necesario para adquirir los datos para generar una imagen. La resolución temporal se ve afectada por la velocidad de rotación del *gantry*, la reconstrucción de la imagen —es decir, sincronización prospectiva vs. retrospectiva—, el *pitch*, el número de tubos (fuentes) y el algoritmo de posprocesamiento. Los actuales tomógrafos de tercera generación con doble fuente (2 × 192 filas de detectores) pueden alcanzar una resolución temporal de hasta 66 ms (6). Un tomógrafo de doble fuente (DFTC) contiene dos conjuntos de tubos/detectores, dispuestos en ángulos de aproximadamente 90 grados entre sí. La mayor resolución temporal de la DFTC permite obtener estudios diagnósticos del árbol coronario con frecuencias cardiacas mayores a las requeridas por otros tomógrafos (7).

Las reconstrucciones iterativas (RI)

Las RI se han desarrollado para mejorar la calidad de la imagen y reducir el ruido (8,9). Las RI partiendo de las imágenes obtenidas del FBP (por las siglas en inglés de Filtered Back Projection) generan nuevos datos de proyección que se comparan con los originales, a continuación, se realizan correcciones de ruido. Este proceso se repite (es decir, itera) varias veces. Las RI tienen la enorme ventaja de reducir la dosis de radiación preservando una buena calidad de imagen, como se ha demostrado en la literatura (10).

Tomógrafos de amplio cubrimiento longitudinal

Con los tomógrafos de 640 cortes (320 filas de detectores) de amplio cubrimiento longitudinal (16 cm) se pueden obtener todas las imágenes de un estudio de ATCC con media rotación del *gantry* y en un solo intervalo RR del ciclo cardiaco en aquellos pacientes con frecuencia cardiaca menor de 65 latidos por minuto, lo que disminuye de manera considerable la dosis de radiación (0,5-3,5 mSv) y elimina los artefactos por escalonamiento.

Los últimos avances en la ATCC permiten la valoración funcional de la EAC, ya sea con la perfusión miocárdica por ATCC con estrés (TC-P) o a través del cálculo de la reserva de flujo fraccional derivada con la TC (FFR-TC). En la actualidad, las aplicaciones basadas en inteligencia artificial (IA) están aumentando considerablemente la cantidad de información que puede extraerse de los datos del ATCC, incluida la cuantificación automática de las placas de ateroma coronarias (calcificadas y no calcificadas), cuantificación de la carga aterosclerótica, el análisis del movimiento de la pared ventricular, el análisis de la densidad de la grasa pericoronaria para definir proceso inflamatorio activo de la EAC, el análisis de la deformación y la función volumétrica, entre otros.

En la práctica clínica actual se utiliza una gran variedad de tomógrafos, desde equipos con 64 filas de detectores de primera generación hasta equipos de amplio cubrimiento longitudinal (80, 128, 160, 192, 256 y 320 filas de detectores), sistemas de doble fuente (DFTC) y, más recientemente, la TC con detector de cuantificación de fotones (TCF), lo que representa gran variabilidad de los parámetros técnicos, dosis de radiación, calidad de las imágenes e información diagnóstica que se obtiene de los estudios de ATCC de acuerdo con el equipo utilizado, lo que se debe tener en cuenta al momento de analizar los resultados de estos exámenes. Una mayor resolución espacial, temporal y de cobertura longitudinal mejora la calidad y consistencia de las imágenes. Debido a la gran diversidad de equipos de TC multicorte que se utilizan en la práctica clínica para los estudios de ATCC es inútil describir los protocolos para la realización de estos exámenes, pues prácticamente habría un protocolo para cada modelo de tomógrafo.

Aunque se dispone de numerosas medidas para cuantificar la radiación en las imágenes clínicas, la dosis efectiva en mSv es la más útil para comparar la dosis de radiación entre modalidades, y se define como la suma de las dosis absorbidas por órganos ponderadas. La dosis efectiva se calcula multiplicando el producto dosis-longitud (DLP) por un factor *k*, que es de 0,014 mSv.mGy-1.cm-1 para el corazón, según las directrices de la Comisión Europea y la Asociación Americana de Físicos en Medicina para la TC torácica en adultos (11).

La serie de estudios PROTECTION da una idea de la rápida evolución de la tecnología y su adopción en la práctica clínica, con una reducción del 78 % en la mediana del producto dosis-longitud (DLP) de 2007 a 2017 (885 [RIC 560-1.239] a 195 [RIC 110-338], $p<0,001$) sin un deterioro significativo de la calidad de la imagen (12). Aunque estos resultados pueden atribuirse en gran medida a una mayor concientización sobre los protocolos de reducción de dosis, la tecnología de los escáneres ha mejorado enormemente durante este tiempo, con la posibilidad de obtener exploraciones de ATCC con dosis inferiores a 1 mSv, si se dispone del equipo y la formación adecuados.

Se describe brevemente cómo ha sido la evolución tecnológica en la institución donde se hizo el estudio, en los últimos 18 años. Se empezaron a hacer estudios de ATCC en 2006 con un tomógrafo de 64 filas de detectores, con un cubrimiento en el eje z de 3,2 cm, un tiempo de rotación del *gantry* de 400 ms (resolución temporal de 200 ms), un grosor de corte de 0,5 mm, sincronización electrocardiográfica retrospectiva, se administraban de 45 a 100 mL de medio de contraste IV (370 mg/mL), el examen se realizaba en 5 a 10 segundos (tiempo de apnea) con una dosis de radiación entre 11 a 22 mSv (13). Para esa época, con los tomógrafos de 64 filas de detectores había un 7 % de segmentos coronarios no evaluados (14,15).

Desde 2021 se utiliza un tomógrafo de 320 filas de detectores (620 cortes), con un cubrimiento en el eje z de 16 cm, un tiempo de rotación del *gantry* de 275 ms (resolución temporal de 137,5 ms), un grosor de corte de 0,5 mm, resolución espacial de 0,3 mm, sincronización electrocardiográfica prospectiva y un tiempo para realizar el examen de 137,5 ms (tiempo de apnea) que cuenta con técnicas de reconstrucción

iterativa de aprendizaje profundo de alta resolución (Deep Learning) tipo AICE (por sus siglas en inglés de Advanced intelligent Clear-IQ Engine) y recientemente PIQE (por sus siglas en inglés de Precise IQ Engine). Teniendo en cuenta las características técnicas del nuevo tomógrafo y considerando que se trabaja en un centro diagnóstico ambulatorio, se ha establecido un protocolo para obtener los estudios de ATCC siguiendo el principio de ALARA (*as low as reasonably achievable*) con la mínima radiación posible para el paciente y evaluando el mayor porcentaje de segmentos coronarios con muy buena resolución espacial. Con esta idea en mente, se definió como objetivo realizar todos los exámenes de ATCC *en un solo latido cardiaco* —en un solo intervalo RR del ciclo cardiaco en media rotación del *gantry*—. Para lograrlo se requiere que los pacientes tengan una frecuencia cardiaca estable menor de 65 latidos por minuto.

Por lo anterior, en la institución se cuenta con un médico de soporte de asistencia cardiovascular encargado del beta-bloqueo cuando este sea necesario, se evalúan los pacientes de ATCC en una fecha previa al examen y se monitorizan integralmente durante y después de los estudios. En una revisión retrospectiva de todos los estudios de ATTC realizados en la institución desde el 2 de junio del 2023 hasta el 26 de marzo del 2024 se obtuvieron los siguientes resultados: 395 estudios de "ATCC de un solo latido" con sincronización electrocardiográfica prospectiva con media rotación de *gantry*, los pacientes tuvieron una edad promedio de 59,5 años (rango 17-89 años), 165 mujeres con edad promedio de 61,7 años (rango 25-89 años) y 230 hombres con edad promedio de 57,8 años (rango 17-85 años). Se requirió beta-bloqueo intravenoso antes del examen en 37,4 % de los pacientes sin que hubiera ninguna complicación secundaria. La frecuencia cardiaca promedio durante la adquisición de los estudios fue de 54 latidos por minuto. En todos los pacientes se administraron nitratos sublinguales (5 mg) y contraste IV (370 mg/mL) en un volumen promedio de 69 mL (rango 50-85 mL). En la cohorte la dosis de radiación total promedio[1], fue de 1,7 mSv (rango 0,5-6,3 mSv), en las mujeres fue de 1,26 mSv (rango 0,5-4,8 mSv) y en los hombres de 2,1 mSv (rango 0,6-6,3 mSv). Para ponerlo en perspectiva, la dosis de radiación promedio anual por la exposición natural al ambiente en Estados Unidos es de 3 mSv y la dosis de un PET-CT con protocolo de cuerpo entero es de 22,7 mSv (Radiation Dose to Adults From Common Imaging Examinations, American College of Radiology[2]).

El porcentaje de segmentos coronarios evaluados en los ATCC en pacientes con *score* de calcio menor a 1.000 (388 pacientes) fue de 99,7 % (5.804 segmentos evaluados de un total de 5.820 segmentos) y el porcentaje de segmentos evaluados en pacientes con *score* de calcio mayor a 1.000 (7 pacientes) es de 92,3 % (97 segmentos evaluados de un total de 105 segmentos). El perfil del compromiso de la EAC de la cohorte, de acuerdo con la gravedad de la estenosis coronaria se puede ver en la tabla 1 y la extensión de la carga aterosclerótica calcificada se resume en la tabla 2.

[1]Esta dosis total incluye el score de calcio más la adquisición volumétrica contrastada de la ATCC.

[2]Disponible en: https://www.acr.org/Clinical-Resources/Clinical-Tools-and-Reference/radiology-safety/radiation-safety

Tabla 1. Clasificación CAD-RADS 2.0

CAD-RADS 2.0	#	%
0	99	25,06
0/E	34	8,61
1	96	24,30
2	70	17,72
3	58	14,68
4	28	7,09
5	10	2,53
Total	395	100,00

Tabla 2. *Score* de calcio

Score calcio total	#*	%
0	169	44,01
1 a 99	122	31,77
100-299	54	14,06
300-999	32	8,3
1000-2000	5	1,3
>2000	2	0,54
Total	384	100,00

* Es importante anotar que a 11 pacientes de la cohorte no se les hizo *score* de calcio, pues ya se lo habían efectuado.

Evolución de conceptos en la EAC

Los objetivos primarios de las estrategias terapéuticas en los pacientes con angina por EAC obstructiva son reducir el riesgo de eventos cardiovasculares mayores (MACE, por sus siglas en inglés de Major Adverse Cardiovascular Events) y aliviar los síntomas de la angina y la isquemia inducida por el ejercicio. Históricamente, las obstrucciones ateroscleróticas limitantes del flujo coronario se consideraban la causa principal de la angina de pecho y los principales determinantes del riesgo cardiovascular futuro. En consecuencia, los procedimientos de revascularización, como el *bypass* coronario y la revascularización coronaria percutánea, se consideraban tratamientos fundamentales (16). Sin embargo, a lo largo de las dos últimas décadas, un creciente número de estudios ha cuestionado este enfoque, al menos en parte. De hecho, aunque la revascularización miocárdica mejora el pronóstico de los pacientes con enfermedad del tronco común izquierdo y el *bypass* coronario en pacientes diabéticos con enfermedad de tres vasos (17) y enfermedad de tres vasos en los pacientes con fracción de eyección ventricular izquierda (FEVI) reducida (18), se ha informado que el papel de la revascularización percutánea en los pacientes con FEVI reducida sigue siendo controvertido (19-22). Es importante destacar que los datos de los estudios controlados aleatorizados han sugerido que una estrategia de revascularización coronaria más tratamiento médico óptimo (TMO) podría no siempre aportar beneficios adicionales en comparación con el TMO sin revascularización, excluyendo en esta comparación pacientes con enfermedad del tronco común izquierdo y enfermedad de tres vasos (23).

El estudio ISCHEMIA (International Study of Comparative Health Effectiveness With Medical and Invasive Approaches) asignó aleatoriamente a 5.179 pacientes con isquemia inducible moderada o grave en la prueba de esfuerzo no invasiva a una estrategia invasiva inicial —revascularización con *stent* liberador de fármacos de tercera generación o *bypass* coronario— y TMO o a una estrategia conservadora inicial de TMO solamente (24). Durante una mediana de seguimiento de 3,2 años, una estrategia invasiva inicial no mostró beneficios en los criterios de valoración primarios —muerte cardiovascular (CV), infarto del miocardio (IM), muerte súbita cardiaca reanimada u hospitalización por angina inestable o insuficiencia cardiaca— o secundarios —muerte CV o IM—. No se observó ningún beneficio incremental en el subconjunto de diabéticos según la estrategia de revascularización (percutánea o quirúrgica) (24). Además, en un seguimiento prolongado de 5,7 años, no hubo diferencias en la mortalidad por todas las causas con una estrategia invasiva inicial en comparación con una estrategia conservadora inicial, aunque se presentó un menor riesgo de mortalidad CV en la estrategia invasiva (25).

Según los estudios disponibles y las guías clínicas vigentes, el TMO debería representar la estrategia de tratamiento inicial para los pacientes con angina estable. El TMO es a menudo una opción eficaz para estos pacientes, incluso si la revascularización puede dar lugar a una mayor mejoría de la angina y la calidad de vida en comparación con solo el TMO. Debe considerarse la revascularización miocárdica como complemento al TMO sobre todo en pacientes que siguen sintomáticos a pesar del TMO recomendado por las guías o en quienes la revascularización tiene un beneficio pronóstico demostrado —por ejemplo, enfermedad del tronco común izquierdo o de tres vasos con FEVI muy reducida— (20-22). Deben discutirse con el paciente los beneficios y riesgos de las estrategias terapéuticas disponibles, ya que las decisiones al respecto pueden variar entre los pacientes en función de las expectativas de mejoría, los niveles de actividad física y de calidad de vida, y la disposición a someterse a una intensificación del tratamiento médico.

Evidencia que respalda las aplicaciones clínicas actuales del ATCC

En el contexto ambulatorio se ha estudiado ampliamente la eficacia de la ATCC en comparación con las pruebas de esfuerzo o la angiografía coronaria invasiva. Ensayos como PROMISE (26) y SCOT-HEART (27) pusieron en tela de juicio el paradigma de las pruebas de esfuerzo y resaltaron la importancia de los hallazgos anatómicos a la hora de orientar las decisiones de tratamiento.

La ATCC permite una evaluación completa y anatómica de la carga de enfermedad aterosclerótica que desempeña un papel fundamental en la mejora de la estratificación del riesgo y puede orientar las decisiones de tratamiento basadas en el riesgo, como el inicio precoz de la terapia preventiva o la revascularización en caso de enfermedad grave del tronco común izquierdo o enfermedad tres vasos (16,28). El estudio SCOT-HEART examinó la utilidad diagnóstica de la ATCC en comparación con el tratamiento estándar en la EAC estable —4.146 pacientes, con una mediana de seguimiento de 4,8 años—. La premisa del estudio era comprender el efecto de la evaluación anatómica mediante ATCC para aclarar el diagnóstico de angina y su influencia en el tratamiento posterior y los resultados clínicos (29). SCOT-HEART demostró que la adición de la ATCC a los cuidados estándar con prueba de esfuerzo producía un aumento de casi dos veces en la certeza diagnóstica de la angina —criterio de valoración primario— en comparación con el tratamiento estándar solo (27). En un seguimiento de 5 años, en el estudio SCOT-HEART se observó una reducción significativa de la tasa de mortalidad por enfermedad coronaria o IM no mortal con el uso de la ATCC en comparación con las pruebas rutinarias (del 3,9% con manejo estándar a 2,3% con adición de ATC [HR, 0,59; IC 95%, 0,41 a 0,84; p=0,004]) (30). El presunto mecanismo de los beneficios observados fue el inicio de la medicación preventiva basada en la evidencia en pacientes con enfermedad no obstructiva detectada en la ATCC —aterosclerosis que no causa isquemia y, por tanto, no se detecta en pruebas de esfuerzo o funcionales—. En particular, los pacientes del grupo de ATCC tenían más probabilidades de empezar a tomar fármacos hipolipemiantes, antihipertensivos, antiagregantes plaquetarios y antianginosos (19,4% frente a 14,7%, HR 1,40, IC 95%: 1,19-1,65) (31). Por otro lado, el estudio PROMISE compara la eficacia de la ATCC frente a las pruebas funcionales. Con la participación de 10. 003 pacientes con dolor torácico estable, demostró la no inferioridad de la ATCC frente a las pruebas funcionales, tras un seguimiento de 25 meses (26). Aunque no se hallaron diferencias entre las estrategias de pruebas en cuanto al resultado primario, la tasa de IM y muerte a los 12 meses fue significativamente inferior en los pacientes sometidos a ATCC (HR 0,66; p=0,049).

Estudios como DISCHARGE (32) y CONSERVE (33) demostraron resultados similares entre la ATCC y la angiografía invasiva, con menores complicaciones y costos diagnósticos asociados a la ATCC, lo que respalda que esta es un sustituto adecuado de la angiografía invasiva en el dolor torácico estable.

Los análisis secundarios de ensayos como PROMISE y SCOT-HEART subrayan la superioridad de la ATCC en la estratificación del riesgo y la orientación de los tratamientos preventivos en comparación con los métodos diagnósticos estándar como las pruebas funcionales o de estrés. Las estrategias guiadas por la ATCC mostraron reducciones significativas de los eventos cardiovasculares en comparación con las pruebas de esfuerzo y durante un seguimiento a más largo plazo, al centrar la atención preventiva más intensiva en pacientes con EAC no obstructiva y obstructiva encontradas por la ATCC. Las nuevas pruebas sugieren que tratamientos como las estatinas y los inhibidores de la PCSK9 pueden inducir la regresión o estabilización de la placa, como se ha observado en los estudios de ATCC. Aunque es necesario seguir investigando para comprender los mecanismos y los beneficios a largo plazo de estos tratamientos, la ATCC ofrece información valiosa sobre la progresión de la aterosclerosis y las posibles estrategias de reducción del riesgo.

Los exámenes diagnósticos en cardiopatía isquémica han evolucionado, inicialmente se basaban en la evaluación funcional centrada en la isquemia mediante diversas técnicas como la electrocardiografía de ejercicio, las imágenes nucleares, la ecocardiografía y la resonancia magnética. Para la evaluación anatómica de la EAC, la angiografía coronaria invasiva tradicional se complementa actualmente con la ATCC no invasiva, esta última con el respaldo de estudios clínicos sólidos y guías multinacionales (34,35).

El estudio prospectivo multinacional PARADIGM (Progression of Atherosclerotic Plaque Determined by Computed TomoGraphic Angiography Imaging) incluyó a 1.255 pacientes con EAC sospechada o conocida sometidos a ATCC con un intervalo entre exploraciones de ≥2 años (36). Los resultados mostraron que el tratamiento con estatinas se asoció a una progresión más lenta del volumen de aterosclerosis coronaria, con un

aumento de la calcificación y una reducción de las características de la placa de alto riesgo.

La reserva de flujo fraccional (RFF) unida a la ATCC ha surgido recientemente como una gran innovación para definir la importancia hemodinámica de las estenosis y los posibles candidatos a la revascularización (37,38), con protocolos estándar y sin dosis adicionales de radiación o medicación. En este contexto, el estudio PLATFORM demostró que el uso de RFF-TC se asoció a una tasa significativamente menor de procedimientos de coronariografía convencional que mostraban coronarias no obstructivas (39).

Otro método novedoso para evaluar lesiones significativas es la perfusión por TC (TC-P). Las aplicaciones de la TC-P se derivan de la mejor resolución espacial y temporal de los tomógrafos recientes. El principio básico es la visualización de zonas del miocardio con realce del medio de contraste reducido o retardado, en condiciones de estrés. En este contexto, la adquisición de TC de doble energía permite el análisis del mapa de yodo de la perfusión miocárdica, con medidas de la concentración de yodo por vóxel (40). La RFF-TC y la TC-P demostraron resultados similares en la detección de estenosis limitantes del flujo, con la coronariografía convencional más FFR invasiva como patrón de referencia (41).

Precisión diagnóstica del ATCC

En el estudio VERDICT (42) se realizó ATCC a 1.023 pacientes con sospecha de síndrome coronario agudo sin elevación del segmento ST antes de realizar una angiografía coronaria invasiva para descartar estenosis de la arteria coronaria ≥50% (42). La población era de alto riesgo: el 24% tenía enfermedad cardiovascular aterosclerótica conocida, el 43% tenía puntuación GRACE >140 y el 78% tenía troponinas cardiacas elevadas. El ATCC tuvo un buen rendimiento diagnóstico, con un valor predictivo negativo del 90,9% (IC 95%: 86,8-94,1%), un valor predictivo positivo del 87,9% (IC 95%: 85,3-90,1%), una sensibilidad del 96,5% (IC 95%: 94,9-97,8%) y una especificidad del 72,4% (IC 95%: 67,2-77,1%) de la EAC obstructiva. En un metaanálisis de 2018 que incluyó nueve estudios y 2.078 pacientes que se sometieron tanto a ATCC como a angiografía coronaria cuantitativa invasiva, encontraron que la sensibilidad y especificidad de la ATCC para estenosis fue ≥50%: 97% (IC 95%: 93-99%) y 78% (IC 95%: 67-86%), respectivamente, utilizando la angiografía coronaria invasiva como estándar (43). Utilizando la RFF invasiva ≤0,80 (siete estudios, 1.049 pacientes) en lugar del porcentaje de estenosis como estándar de referencia, se observó que la ATCC tenía una sensibilidad y especificidad del 93% (IC 95%: 89-96%) y del 53% (IC 95%: 37-68%), respectivamente. Estos últimos resultados fueron similares a los del estudio VERDICT ya descrito.

Principales indicaciones del ATCC en las guías clínicas vigentes

La ATCC es una prueba no invasiva bien validada y cada vez más utilizada para la evaluación de la EAC en pacientes adecuadamente seleccionados con sospecha de síndromes coronarios crónicos o agudos. Además, el ATCC es el método de elección para evaluar las anomalías congénitas coronarias.

El Colegio Americano de Cardiología (ACC) y la Asociación Americana del Corazón (AHA) en las guías de dolor torácico de 2021 (34) y la Sociedad Europea de Cardiología (ESC) en las guías de manejo de los síndromes coronarios crónicos de 2024 (35), han recomendado el ATTC como examen de primera línea en la evaluación de pacientes con dolor torácico estable sin EAC conocida. El ATCC recibió una recomendación de clase 1 con un nivel de evidencia de A en estas guías[3]. Dichas guías recomiendan el ATCC con clase 1 y nivel de evidencia A en los siguientes grupos de pacientes:

- En los pacientes de riesgo intermedio-alto (riesgo mayor de 15%) con dolor torácico estable y sin EAC conocida, el ATCC es eficaz para diagnosticar la EAC, estratificar el riesgo y orientar las decisiones terapéuticas en las guías americanas (34) (figura 1).
- En individuos con sospecha de síndrome coronario crónico y probabilidad pretest baja o moderada (probabilidad pretest entre 5 y 50%) de enfermedad coronaria obstructiva, se recomienda el ATCC con el objetivo de diagnosticar enfermedad obstructiva coronaria y estimar el riesgo de MACE en las guías europeas (35).

Las principales indicaciones y contraindicaciones del ATCC:

- Como alternativa a las pruebas de esfuerzo como prueba inicial en pacientes con síntomas crónicos (estables) indicativos de cardiopatía isquémica que no tienen diagnóstico previo de EAC (figura 1).
- Como alternativa a la angiografía coronaria invasiva en pacientes con resultados no diagnósticos o equívocos de la prueba de esfuerzo y síntomas persistentes en los que el diagnóstico de EAC no se ha establecido.
- En un servicio de urgencias sin disponibilidad de troponinas de alta sensibilidad: como alternativa a las pruebas de estrés o a la angiografía coronaria invasiva en pacientes seleccionados, sin EAC conocida, a quienes se les diagnostica un síndrome coronario agudo (SCA), sin elevación del segmento ST, con una presentación clínica de bajo riesgo —por ejemplo, sin insuficiencia cardiaca ni síntomas isquémicos refractarios—, y en los que el médico o el paciente desean evitar la angiografía coronaria invasiva, o cuando la causa de la elevación de troponina es incierta.
- En un servicio con disponibilidad de troponinas de alta sensibilidad: en pacientes con sospecha de SCA, niveles de troponinas de alta sensibilidad no elevados (o inciertos), sin cambios en el ECG y sin recurrencia del dolor, se puede considerar el ATCC como examen inicial.
- Cuando se sospecha anomalía congénita coronaria (figura 2).
- Para definir permeabilidad de los puentes coronarios en pacientes con cirugía de *bypass* coronario (figura 3).
- La ATCC es apropiada en pacientes sintomáticos con antecedente de implantación de *stent* coronario con diámetro ortogonal mayor a 3 mm (figura 4).
- Pacientes asintomáticos con otros estudios anormales (*score* de calcio elevado y factores de riesgo cardiovascular) o no concluyentes (pruebas funcionales) (figuras 2 y 5).
- Cuando se dispone de FFR-TC y la TC-P, la ATCC puede ser adecuada para la evaluación funcional de las estenosis intermedias (30-90%) en la enfermedad multivaso, con el fin de orientar las decisiones relativas a la angiografía coronaria invasiva y la revascularización.

[3]La clase 1 es la recomendación más firme disponible para un examen médico y el nivel de evidencia A indica que existen pruebas de alta calidad, procedentes de más de un estudio clínico aleatorizado o metaanálisis, de que la ATCC es beneficiosa, útil y eficaz.

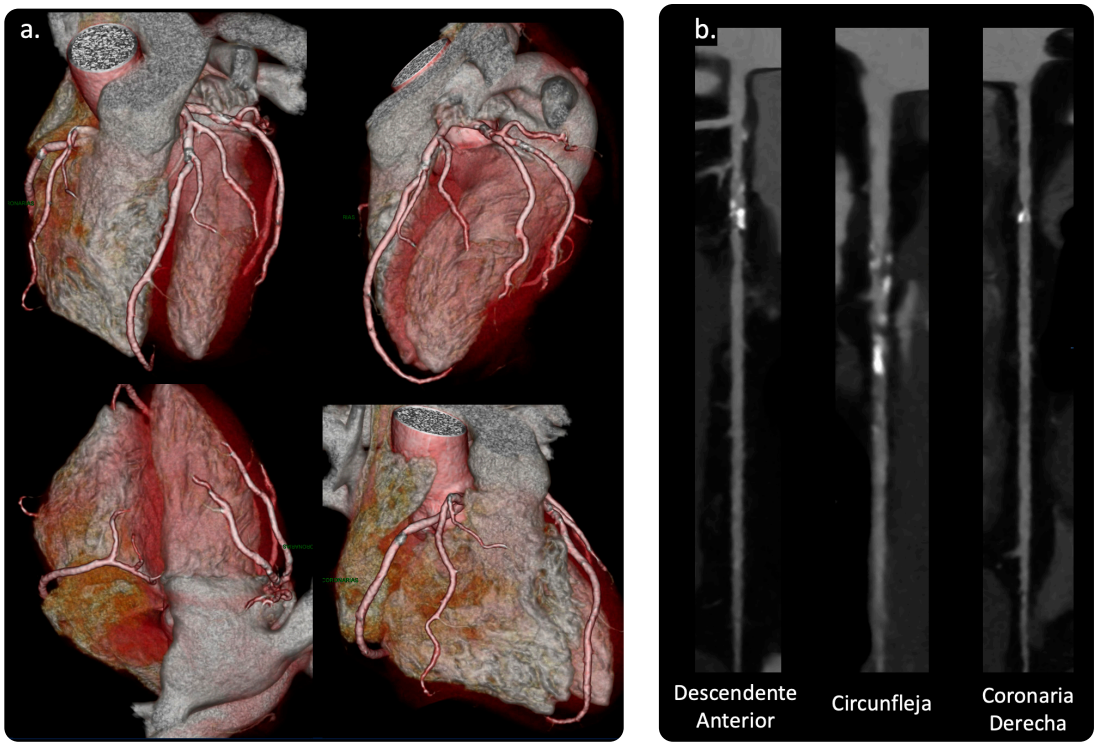


Figura 1. Hombre de 62 años de edad (peso 90 kg; talla 169 cm). Indicación: paciente con dolor torácico atípico con múltiples factores de riesgo cardiovasculares. Se identificaron calcificaciones coronarias incidentales en estudio de TC de tórax simple realizado por infección respiratoria. Dosis de radiación: ATCC: 2 mSv. Volumen de medio de contraste IV: 80 cm^3. Resultado: oclusión corta en el segmento medio de la arteria circunfleja, placas de ateroma con estenosis entre un 70 y un 99 % en el segmento medio de la arteria descendente anterior, en el origen de la segunda rama diagonal de la arteria coronaria descendente anterior y en el segmento proximal de la arteria circunfleja y placas de alto riesgo (HRP, por sus siglas en inglés de High-Risk Plaques) con estenosis entre un 50 y un 69 % en los segmentos proximales de la descendente anterior y de la arteria coronaria derecha (CAD-RADS 2.0: 5/P4/HRP). a) Reconstrucciones 3D del corazón. b) Reconstrucciones rectas de las tres arterias coronarias principales.

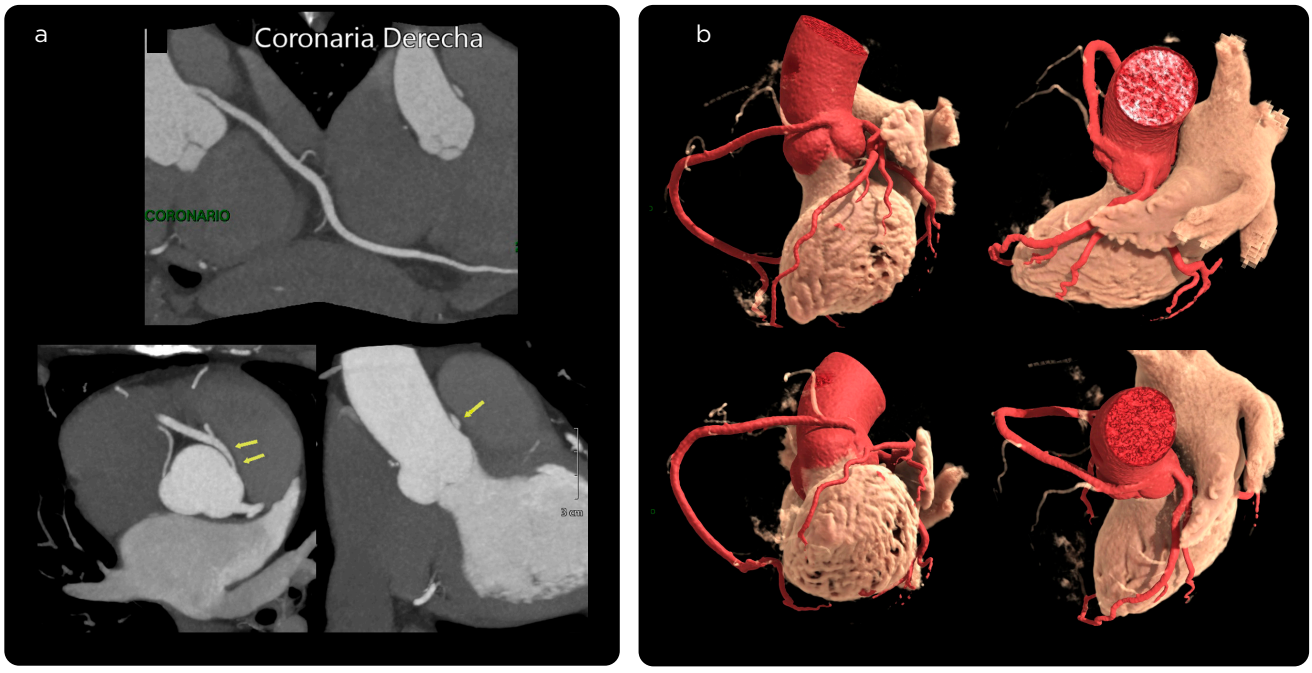


Figura 2. Hombre de 62 años de edad (peso 70 kg; talla 167 cm). Indicación: paciente asintomático con prueba de esfuerzo reciente anormal. Dosis de radiación: incluyendo *score* de calcio y ATCC: 0,9 mSv. Volumen de medio de contraste IV: 65 cm^3. Resultado: origen anómalo de la arteria coronaria derecha a partir del seno de Valsalva izquierdo, su *ostium* es independiente y se localiza en la unión sinotubular muy cerca de unión entre el seno de Valsalva izquierdo y el derecho, su trayecto proximal es interarterial (flechas amarillas en a). y se define angulación importante de su origen con aspecto de hendidura del *ostium* y de los 6 mm proximales, compatible con segmento proximal con trayecto intramural en la pared de la raíz aórtica. No se identifican placas de ateroma ni segmentos estenóticos del árbol coronario (CAD-RADS 2.0: 0/E). a) Reconstrucciones 2D curva y multiplanares de la arteria coronaria derecha. b) Reconstrucciones 3D del corazón con énfasis en el segmento proximal de la arteria coronaria derecha.

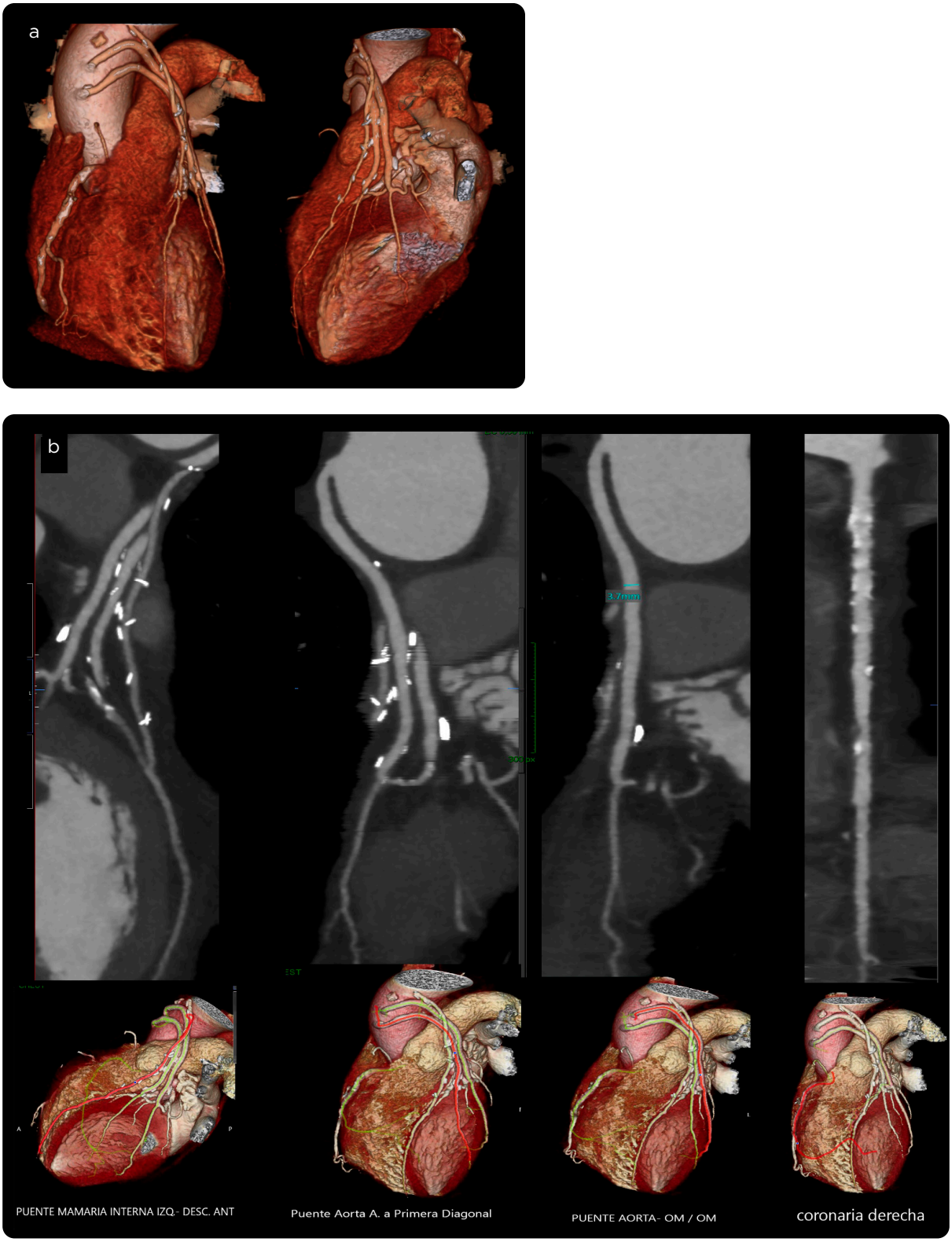


Figura 3. Hombre de 65 años de edad (peso 85 kg; talla 182 cm). Indicación: paciente con antecedente de *bypass* coronario hace 3 años. Prueba de esfuerzo no concluyente. Dosis de radiación: incluyendo el *score* de calcio y el ATCC, 2,6 mSv. Volumen de medio de contraste IV: 75 cm^3. Resultado: se identifica puente de la arteria mamaria interna izquierda a la unión de los segmentos medio y distal de la descendente anterior de 2,2 mm de calibre, permeable, sin lesiones estenóticas en su trayecto o en la anastomosis distal y dos puentes venosos permeables sin lesiones estenóticas, placas de ateroma o aneurismas, uno desde la aorta ascendente a la primera arteria diagonal con calibre de 3,5 mm y otro desde la aorta ascendente a la primera arteria obtuso-marginal con calibre de 3,7 mm. Los lechos vasculares distales a los puentes se observan permeables, sin estenosis. La arteria coronaria derecha con placas de ateroma calcificadas y mixtas con estenosis menor del 49% (CAD-RADS 2.0: 2/P4/G). a) Reconstrucciones 3D del corazón. b) Reconstrucciones 2D curvas y rectas de los tres puentes y de la arteria coronaria derecha.

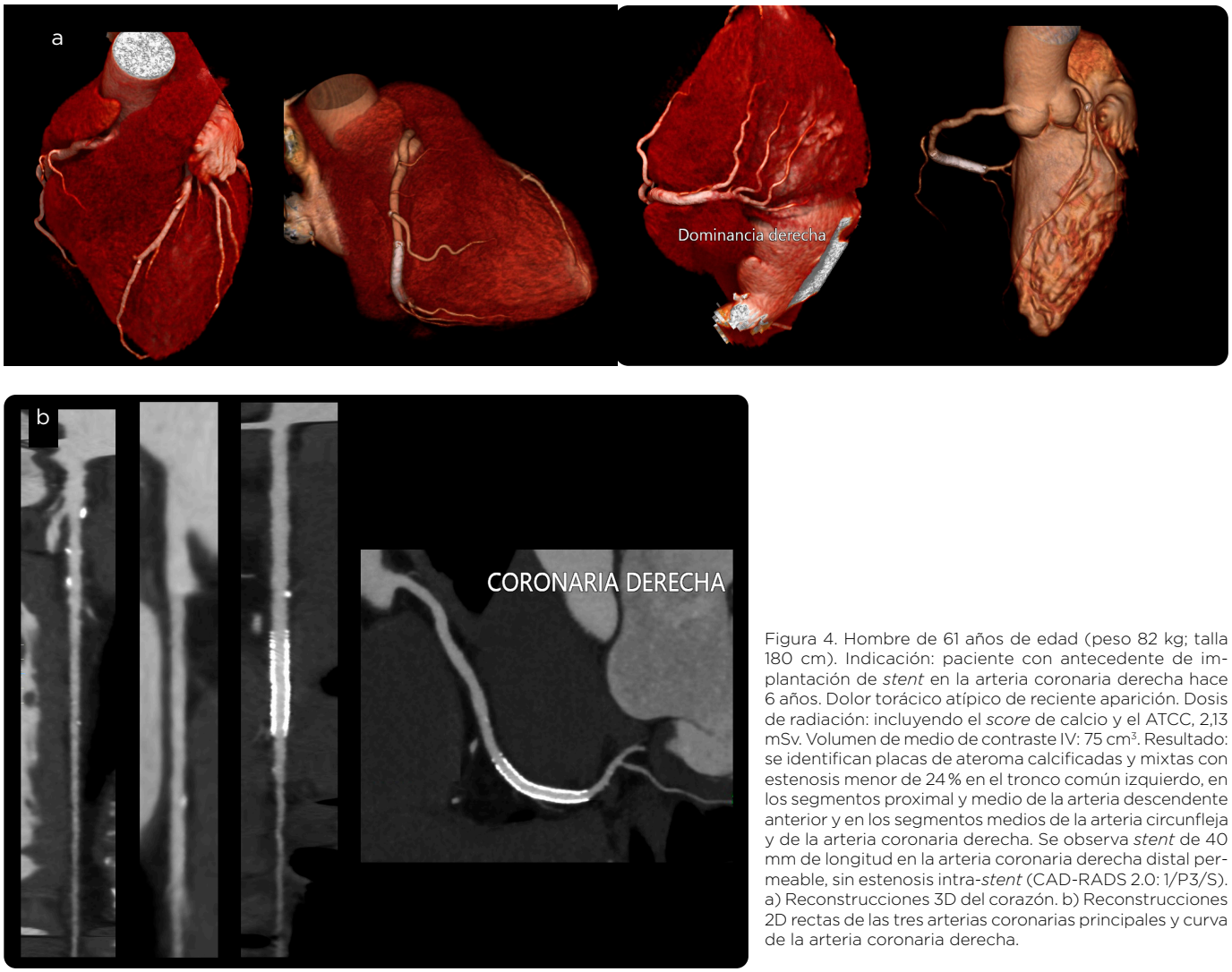


Figura 4. Hombre de 61 años de edad (peso 82 kg; talla 180 cm). Indicación: paciente con antecedente de implantación de *stent* en la arteria coronaria derecha hace 6 años. Dolor torácico atípico de reciente aparición. Dosis de radiación: incluyendo el *score* de calcio y el ATCC, 2,13 mSv. Volumen de medio de contraste IV: 75 cm^3. Resultado: se identifican placas de ateroma calcificadas y mixtas con estenosis menor de 24 % en el tronco común izquierdo, en los segmentos proximal y medio de la arteria descendente anterior y en los segmentos medios de la arteria circunfleja y de la arteria coronaria derecha. Se observa *stent* de 40 mm de longitud en la arteria coronaria derecha distal permeable, sin estenosis intra-*stent* (CAD-RADS 2.0: 1/P3/S). a) Reconstrucciones 3D del corazón. b) Reconstrucciones 2D rectas de las tres arterias coronarias principales y curva de la arteria coronaria derecha.

Contraindicaciones

Generalmente no hay contraindicaciones absolutas para una ATCC. Sin embargo, los antecedentes de una reacción anafiláctica grave al medio de contraste yodado impiden repetir la administración de medio de contraste.

Para obtener un ATCC de buena calidad de imagen es necesario que la frecuencia cardiaca sea lenta y regular y que se cumplan las instrucciones de contener la respiración (apnea). Esto incluye la disposición a recibir medicación previa (betabloqueantes orales o intravenosos) cuando sea necesario. Antes del examen se deben evaluar la función renal y la alergia a agentes de contraste. La resolución temporal y espacial siguen siendo una limitación técnica y pueden dificultar la precisión al determinar la gravedad de la estenosis coronaria, esto se acentúa en pacientes con arterias coronarias muy calcificadas, en quienes las pruebas funcionales pueden ser más apropiadas que la ATCC.

Las contraindicaciones relativas al ATCC son las siguientes:

- Embarazo
- Insuficiencia renal (depuración de creatinina menor a 30 mL/min/1,73 m^2).
- Incapacidad para mantener la respiración durante más de 3-10 segundos, de acuerdo con la resolución temporal del tomógrafo.
- Inestabilidad hemodinámica.
- Peso del paciente por encima de los umbrales recomendados para el escáner.
- De acuerdo con las características técnicas del tomógrafo, en algunos equipos está contraindicado el ATCC en pacientes con fibrilación auricular, aumento del automatismo ventricular, imposibilidad de bajar la frecuencia cardiaca a los niveles requeridos por el tomógrafo.
- En algunos centros no hacen los estudios de ATCC con valores de *score* de calcio mayores de 1.000 por la baja especificidad y valor predictivo positivo del ATCC bajo estas circunstancias.
- Sin embargo, en los centros donde se dispone de FFR-TC o TC-P, generalmente, efectúan los estudios de ATCC aun con *score* de calcio mayor de 1.000.

La Society for Cardiovascular Computed Tomography recomienda que, como mínimo, se utilicen tomógrafos de 64 filas de detectores para hacer la ATCC (44).



Figura 5. Mujer de 39 años de edad (peso 56 kg; talla 157 cm). Indicación: paciente asintomática con prueba de esfuerzo no concluyente y antecedente familiar de enfermedad coronaria temprana. Dosis de radiación: incluyendo *score* de calcio y ATCC, 0,6 mSv. Volumen de medio de contraste IV: 60 cm^3. Resultado: estudio normal (CAD-RADS 2.0: 0). Reconstrucciones 2D curvas y rectas de las arterias coronarias: a) Descendente anterior. b) Circunfleja. c) Coronaria derecha.

La versión actualizada de CAD-RADS (Coronary Artery Disease-Reporting and Data System) 2.0 (45) de 2022 mejora el sistema de reporte estandarizado para la ATCC mediante la inclusión de datos de grandes estudios recientes, nuevas directrices clínicas y la adición de características de la carga de placa y la fisiología de la lesión determinadas mediante TC cardiaca. Por lo tanto, la clasificación CAD-RADS actualizada propone evaluar las siguientes categorías: estenosis, carga de placa y modificadores, y ahora también incluye la evaluación de la isquemia mediante FFR-TC o TC-P, cuando estén disponibles. El CAD-RADS proporciona un importante marco de estandarización que se espera que beneficie la educación, la investigación, la revisión por pares, el desarrollo de inteligencia artificial y la garantía de calidad, con el objetivo de mejorar la atención de los pacientes.

Conclusiones

La evolución de la ATCC ha sido notable en los últimos 20 años, lo que la ha convertido en la prueba de primera línea en numerosas situaciones clínicas de los pacientes con EAC. Nuevas directrices de la AHA/ACC, del Reino Unido y de Europa abogan firmemente por la ATCC en pacientes con EAC estable o crónica. La adición de pruebas funcionales (FFR-TC/TC-P) amplían aún más la utilidad de la ATCC para evaluar simultáneamente la anatomía y la función cardiaca. La posibilidad de visualizar la aterosclerosis coronaria no obstructiva de manera no invasiva permite que mediante la ATCC se pueda hacer el diagnóstico precoz de la EAC y facilita la implementación tratamientos preventivos tempranos con mejor desempeño en este campo que las pruebas funcionales de estrés, que suelen requerir una estenosis grave para detectar la enfermedad. El análisis de las placas por ATCC desempeñará un papel cada vez más importante en la detección no invasiva de la patología, en la evaluación de los efectos del tratamiento y en el suministro de información sobre la evolución de la enfermedad. La validación de la ATCC posterior a los ensayos clínicos a gran escala, como PROMISE y SCOT-HEART, sigue reforzando la utilidad clínica de este examen. Los avances tecnológicos en la calidad de imagen, la adquisición de los estudios, en el posprocesamiento y en la reducción de la dosis de radiación permiten un uso más amplio y seguro de esta modalidad diagnóstica en la actualidad, como lo recomiendan las guías vigentes y como se ve en la experiencia de los autores en este campo.

Reconocimientos

- Agradecimientos al doctor Luis Aristizábal V., médico especialista en emergencias, instructor de Reanimación cardiopulmonar y coordinador académico de Anestesiar, Asistencia Cardiovascular de Cedimed. Profesor de la Universidad EIA.
- Agradecimientos al tecnólogo Héctor F. Echavarría Gómez, coordinador de Tecnólogos en imágenes diagnósticas y TC de Cedimed.
- Agradecimientos al grupo de tecnólogos de TC de Cedimed.

Referencias

1. Mozaffarian D, Benjamin EJ, Go AS, et al. Executive summary: heart disease and stroke statistics 2016 update: a report from the American Heart Association. Circulation. 2016;133(4):447-54. https://doi.org/10.1161/CIR.000000000000036.
2. Amini M, Zayeri F, Salehi M. Trend analysis of cardiovascular disease mortality, incidence, and mortality-to-incidence ratio: results from Global Burden of Disease Study 2017. BMC Public Health. 2021;21(1). https://doi.org/10.1186/s12889-021-10429-0.
3. Abbafati C, Abbas KM, Abbasi M, et al. Global burden of 369 diseases and injuries in 204 countries and territories, 1990-2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. Lancet. 2020;396:1204-222. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30925-9.
4. Halfmann MC, Bockius S, Emrich T, et al. Ultrahigh-spatial-resolution photon-counting detector CT angiography of coronary artery disease for stenosis assessment. Radiology. 2024;310(2):e231956. https://doi.org/doi.org/10.1148/radiol.231956.
5. Leng S, Bruesewitz M, Tao S, et al. Photon-counting Detector CT: system design and clinical applications of an emerging technology. Radiographics. 2019;39:729-43. https://doi.org/10.1148/rg.2019180115.
6. Tridandapani S, Banait-Deshmane S, Aziz MU, et al. Coronary computed tomographic angiography: a review of the techniques, protocols, pitfalls, and radiation dose. J Med Imaging Radiat Sci. 2021;52:S1-11. https://doi.org/10.1016/j.jmir.2021.08.014.
7. Petersilka M, Bruder H, Krauss B, et al. Technical principles of dual source CT. Eur J Radiol 2008;68:362-8. https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2008.08.013.
8. Willemink MJ, De Jong PA, Leiner T, et al. Iterative reconstruction techniques for computed tomography part 1: technical principles. Eur Radiol. 2013; 23:1623-31. https://doi.org/10.1007/s00330-012-2765-y.

9. Halliburton SS, Tanabe Y, Partovi S, et al. The role of advanced reconstruction algorithms in cardiac CT. Cardiovasc Diagn Ther. 2017;7:527-38. https://doi.org/10.21037/cdt.2017.08.12.
10. Jiang H. Computed tomography: principles, design, artifacts, and recent advances. Bellingham: Society of Photo Optical; 2015.
11. Trattner S, Halliburton S, Thompson CM, et al. Cardiac-specific conversion factors to estimate radiation e□ective dose from dose-length product in computed tomography. JACC Cardiovasc Imaging. 2018;11:64-74. https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2017.06.006.
12. Stocker TJ, Deseive S, Leipsic J, et al. Reduction in radiation exposure in cardiovascular computed tomography imaging: results from the Prospective multicenter registry on radiation dose Estimates of cardiac CT angiography in daily practice. In 2017 (PROTECTION VI). Eur Heart J. 2018;39:3715-23. https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehy546.
13. Zuluaga SA. Cardiotomografía computada/coronariotomografía computada. Rev Colomb Radiol. 2006;17(1):1868-87.
14. Kopp AF, Schroeder S, Kuettner A, et al. Non-invasive coronary angiography with high resolution multidetector-row computed tomography: results in 102 patients. Eur Heart J. 2002;23:1714-25. https://doi.org/10.1053/euhj.2002.3264.
15. Becker CR, Knez A, Leber A, et al. Detection of coronary artery stenoses with multislice helical CT angiography. J Comput Assist Tomogr. 2002;26:750-55. https://doi.org/10.1097/00004728-200209000-00015.
16. Ferraro R, Latina JM, Alfaddagh A, et al. Evaluation and management of patients with stable angina: beyond the ischemia paradigm: JACC state-of-the-art review. J Am Coll Cardiol. 2020;76:2252-66. https://doi.org/10.1016/j.jacc.2020.08.078.
17. Farkouh ME, Domanski M, Sleeper LA, et al. Strategies for multivessel revascularization in patients with diabetes. N Engl J Med. 2012;367:2375-84. https://doi.org/10.1056/NEJMoa1211585.
18. Velázquez EJ, Lee KL, Jones RH, et al. Coronary artery bypass surgery in patients with ischemic cardiomyopathy. N Engl J Med. 2016;374:1511-20. https://doi.org/10.1056/NEJMoa1602001.
19. Perera D, Clayton T, O'Kane PD, et al. Percutaneous revascularization for ischemic left ventricular dysfunction. N Engl J Med. 2022;387:1351-60. https://doi.org/10.1056/NEJMoa2206606.
20. Knuuti J, Wijns W, Saraste A, et al. 2019 ESC guidelines for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes. Eur Heart J. 2020;41:407-77. https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehz425. doi: 10.1093/eurheartj/ehz425.
21. Lawton JS, Tamis-Holland JE, Bangalore S, et al. 2021 ACC/AHA/SCAI guideline for coronary artery revascularization: executive summary: a report of the American College of Cardiology/ American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. J Am Coll Cardiol. 2022;79:197-215. https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000001039.
22. Virani SS, Newby LK, et al. 2023 AHA/ACC/ACCP/ASPC/NLA/ PCNA guideline for the management of patients with chronic coronary disease: a report of the American Heart Association/American College of Cardiology Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. J Am Coll Cardiol. 2023;82:833-955. https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000001168.
23. Boden WE, Marzilli M, Crea F, et al. Evolving management paradigm for stable ischemic heart disease patients: JACC review topic of the week. J Am Coll Cardiol. 2023;81:505-14. https://doi.org/10.1016/j.jacc.2022.08.814.
24. Maron DJ, Hochman JS, Reynolds HR, et al. Initial invasive or conservative strategy for stable coronary disease. N Engl J Med. 2020;382:1395-407. https://doi.org/10.1056/NEJMoa1915922.
25. Hochman JS, Anthopolos R, Reynolds HR, et al. Survival after invasive or conservative management of stable coronary disease. Circulation. 2023;147:8-19. https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.122.062714.
26. Douglas PS, Hoffmann U. Anatomical versus functional testing for coronary artery disease. N Engl J Med. 2015;373:91. https://doi.org/10.1056/NEJMc1505594.
27. SCOT-HEART Investigators. CT coronary angiography in patients with suspected angina due to coronary heart disease (SCOT-HEART): an open label, parallel-group, multicenter trial. Lancet. 2015;385:2383-91. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(15)60291-4.
28. Bittencourt MS, Hulten E, Ghoshhajra B, et al. Prognostic value of nonobstructive and obstructive coronary artery disease detected by coronary computed tomography angiography to identify cardiovascular events. Circ Cardiovasc Imaging. 2014;7:282-9. https://doi.org/10.1161/CIRCIMAGING.113.001047.
29. Newby DE, Williams MC, Flapan AD, et al. Role of multidetector computed tomography in the diagnosis and management to patients attending the rapid access chest pain clinic, The Scottish computed Tomography of the heart (SCOT-HEART) trial: study protocol for randomized controlled trial. Trials 2012;13:184.
30. SCOT-HEART Investigators; Newby DE, Adamson PD, Berry C, et al. Coronary CT angiographyand 5-Year risk of myocardial infarction. N Engl J Med. 2018;379:924-33. https://doi.org/10.1056/NEJMoa1805971.
31. Adamson PD, Newby DE. The SCOT-HEART Trial. What we observed and what we learned. J Cardiovasc Comput Tomogr. 2019;13:54-8. https://doi.org/10.1016/j.jcct.2019.01.006.
32. Dodd JD, Kofoed KF, Dewey M, et al. CT or invasive coronary angiography in stable chest pain. N Engl J Med. 2022;387:376-80. https://doi.org/10.1056/NEJMc2206973.
33. Chang HJ, Lin FY, Gebow D, et al. Selective referral using CCTA versus direct referral for individuals referred to invasive coronary angiography for suspected CAD: A randomized, controlled, open-label trial. J Am Coll Cardiol Img. 2019;12(7_Part_2):1303-12.
34. Gulati M, Levy PD, Mukherjee D, et al. 2021 AHA/ACC/ASE/CHEST/ SAE/SCCT/SCMR guideline for the evaluation and diagnosis of chest pain: executive summary: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. Circulation. 2021;144:e368-e454. https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000001030.
35. Vrints C, Andreotti F, Koskinas KC, et al. 2024 ESC Guidelines for the management of chronic coronary syndrome. Developed by the task force for the management of chronic coronary syndromes of the European Society of Cardiology (ESC) Endorsed by the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS). Euro Heart J. 2024;00:1-123. https://doi.org/10.1093/ eurheartj/ehae177.
36. Lee SE, Chang HJ, Sung JM, et al. Effects of statins on coronary atherosclerotic plaques: The PARADIGM Study. JACC Cardiovasc Imaging. 2018;11(10):1475-84. https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2018.04.015.
37. Taylor CA, Fonte TA, Min JK. Computational fluid dynamics applied to cardiac computed tomography for noninvasive quantification of fractional flow reserve: scientific basis. J Am Coll Cardiol. 2013; 61:2233-41. https://doi.org/10.1016/j.jacc.2012.11.083.
38. Nørgaard BL, Leipsic J, Gaur S, et al. Diagnostic performance of noninvasive fractional flow reserve derived from coronary computed tomography angiography in suspected coronary artery disease: the NXT trial (Analysis of Coronary Blood Flow Using CT Angiography: Next Steps). J Am Coll Cardiol. 2014;63:1145-55. https://doi.org/10.1016/j.jacc.2013.11.043.
39. Douglas PS, Pontone G, Hlatky MA, et al. Clinical outcomes of fractional flow reserve by computed tomographic angiography-guided diagnostic strategies vs. usual care in patients with suspected coronary artery disease: the prospective longitudinal trial of FFR (CT): outcome and resource impacts study. Eur Heart J. 2015;36:3359-67. https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehv444.
40. Seitun S, De Lorenzi C, Cademartiri F, et al. CT myocardial perfusion imaging: a new frontier in cardiac imaging. Biomed Res Int. 2018; 2018:7295460. https://doi.org/10.1155/2018/7295460.
41. Pontone G, Baggiano A, Andreini D, et al. Stress computed tomography perfusion versus fractional flow reserve CT derived in suspected coronary artery disease: The PERFECTION Study. JACC Cardiovasc Imaging. 2019;12:1487-97. https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2018.08.023.
42. Linde JJ, Kelbæk H, Hansen TF, et al. Coronary CT angiography in patients with non-ST-segment elevation acute coronary syndrome. J Am Coll Cardiol. 2020;75:453-63. https://doi.org/10.1016/j.jacc.2019.12.012.
43. Knuuti J, Ballo H, Juarez-Orozco LE, et al. The performance of non-invasive tests to rule-in and rule-out significant coronary artery stenosis in patients with stable angina: a meta-analysis focused on post-test disease probability. Eur Heart J. 2018;39:3322. https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehy267.
44. Narula J, Chandrashekhar Y, Ahmadi A, 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(3):192-217. https://doi.org/10.1016/j.jcct.2020.11.001.
45. Cury RC, Leipsic J, Abbara S et al.CAD-RADS TM 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 Am Coll Cardiol Img. 2022;15(11):1974-2001. https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2022.07.002.

Correspondencia

Alejandro Zuluaga Santamaría
Universidad Pontificia Bolivariana
Campus Laureles, Circular 1.ª 70-01
azulsan88@gmail.com

Recibido para evaluación: 15 de noviembre de 2024
Aceptado para publicación: 10 de febrero de 2025